

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



**AJUSTE DE ECUACIONES DE VOLUMEN Y FUNCIONES DE
AHUSAMIENTO PARA *Pinus teocote* Schl. et. Cham Y *Pinus pseudostrobus* Lindl.
EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN**

TESIS DE MAESTRÍA

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

Por

JOSÉ JUAN TAPIA BARRERA

Linares, Nuevo León

Julio de 1998

TM

Z5991

FCF

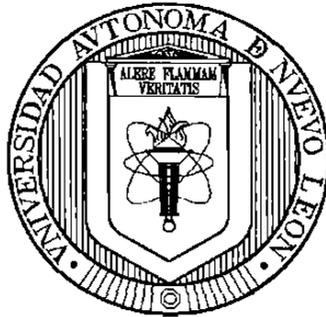
1998

T3



1020123055

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



**AJUSTE DE ECUACIONES DE VOLUMEN Y FUNCIONES DE
AHUSAMIENTO PARA *Pinus teocote* Schl. et. Cham Y *Pinus pseudostrobus* Lindl.
EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN**

TESIS DE MAestrÍA

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAestrÍA EN CIENCIAS FORESTALES

Por

JOSÉ JUAN TAPIA BARRERA

Linares, Nuevo León

Julio de 1998

TM
Z5001
FCF
'998
T3

0119-95860

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

**AJUSTE DE ECUACIONES DE VOLUMEN Y FUNCIONES DE
AHUSAMIENTO PARA *Pinus teocote* Schl. et. Cham Y *Pinus pseudostrobus* Lindl.
EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN**

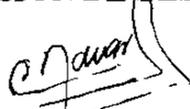
TESIS DE MAESTRÍA

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

Presenta

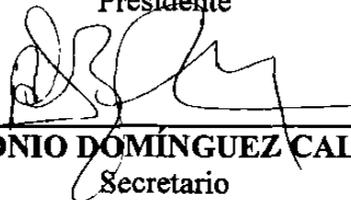
Ing. JOSÉ JUAN TAPIA BARRERA

COMISIÓN DE TESIS



Dr. JOSÉ DE JESÚS NÁVAR CHÁIDEZ

Presidente



Dr. ANTONIO DOMÍNGUEZ CALLEROS

Secretario

Dr. OSCAR A. AGUIRRE CALDERÓN

Vocal



FONDO
TESIS

El presente trabajo, esta dedicado a una mujer
que siendo joven, tiene la reflexión de una anciana,
y en la vejez trabaja con el vigor de la juventud.

A una mujer que si es ignorante,
descubre los secretos de la vida
con más aciertos que un sabio,
y que si es instruida, se acomoda
a la sencillez de los niños.

A una mujer que siendo pobre
se satisface con la felicidad de los que ama,
y siendo rica, daría con gusto sus tesoros
por no sufrir en su corazón
la herida de la ingratitud.

A una mujer que siendo vigorosa
se estremece con el llanto de un niño,
y siendo débil, se reviste a veces
con la bravura de un león.

A una mujer que mientras vive
pocas veces la podemos apreciar
porque a su lado todos los dolores
se olvidan, pero después de muerta
daríamos todo lo que somos y todo
lo que tenemos por mirarla de nuevo
un solo instante, por recibir de ella
un solo abrazo, por escuchar un solo
acento de sus labios.....

A mi Madre

MARÍA DEL SOCORRO BARRERA TREJO.

PAPÁ: Donde quiera que te encuentres, dentro de mí universo, estas conmigo.

HERMANOS: Por enseñarme que la vida no es fácil, gracias a su apoyo y comprensión llegaré hasta donde me lo proponga y sé que cuento siempre con ustedes, como este día tan especial; quiero brindarles este logro a *USTEDES*

Gracias por lo que soy
su Hermano.

AMIGOS: Gracias por permitir llevar a cabo mis proyectos, dándome la seguridad de que si tenía éxito, lo celebrarían junto conmigo, y que si fracasaba, me alentarían a volver a intentarlo.

Gracias por Todo.

PARA TI CON TODO MI AMOR: ?

Mil Gracias.

*“¡QUE COSA EXTRAORDINARIA ES EL
HOMBRE!, CUÁN NOBLES SUS RAZONES!
¡QUE INFINITAS SUS FACULTADES!, ¡QUE
EXPRESIVOS Y ADMIRABLES SU FORMA
Y MOVIMIENTOS!”*

AGRADECIMIENTOS:

A dios por haberme dado el Don de la vida, por haberme puesto en la familia indicada y por permitirme alcanzar una meta más en mi vida.

Al Consejo Nacional de la Ciencia y Tecnología (CONACyT) por otorgar los apoyos económicos durante el período de mis estudios de Maestría, sin los cuales no hubiera sido posible lograr mis objetivos.

Al Dr. José de Jesús Návar Cháidez por la dirección del presente trabajo de investigación, a quien le expreso mi agradecimiento de manera especial, por sus orientaciones y su amable colaboración sin las cuales, no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

Al Dr. Antonio Domínguez Calleros por su participación en el comité de tesis y del trabajo de investigación con comentarios, sugerencias y apoyos recibidos.

Al Dr. Oscar A. Aguirre Calderón por toda su disposición y apoyo en la realización de este trabajo, cada vez que se le requirió.

A la Administración de la Facultad de Ciencias Forestales y Comité de Postgrado por brindarme la oportunidad de continuar con una especialidad y por el apoyo que me brindaron para llevar a cabo el presente trabajo.

A los maestros investigadores que transmitieron sus conocimientos durante mi estancia de Maestría.

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

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

ÍNDICE

LISTA DE CUADROS.....	<i>i</i>
LISTA DE FIGURAS.....	<i>iii</i>
RESUMEN.....	<i>v</i>
ABSTRACT.....	<i>vii</i>
I. INTRODUCCIÓN.....	<i>1</i>
II. OBJETIVOS.....	<i>3</i>
2.1. Objetivo general.....	<i>3</i>
2.2. Objetivos específicos.....	<i>3</i>
2.3. Hipótesis.....	<i>4</i>
III. ANTECEDENTES.....	<i>5</i>
3.1. Modelos matemáticos.....	<i>5</i>
3.1.1. Ecuaciones de volumen.....	<i>6</i>
3.1.2. Funciones de ahusamiento.....	<i>11</i>
3.1.3. Determinación del volumen en árboles individuales.....	<i>16</i>
3.1.3.1. Cubicación absoluta.....	<i>19</i>
3.1.3.2. Cubicación relativa.....	<i>20</i>
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	<i>21</i>
4.1. Descripción general del área de estudio.....	<i>21</i>

4.1.1. Descripción física y biológica del área de estudio para <i>Pinus</i>	
<i>teocote</i>	21
4.1.1.1. Localización.....	21
4.1.1.2. Superficie.....	22
4.1.1.3. Clima.....	23
4.1.1.4. Geología.....	23
4.1.1.5. Orografía.....	23
4.1.1.6. Hidrografía.....	24
4.1.1.7. Estado forestal.....	24
4.1.1.8. Otras características físico-biológicas.....	25
4.1.2. Descripción física y biológica del área de estudio para <i>Pinus</i>	
<i>pseudostrobus</i>	26
4.1.2.1. Localización.....	26
4.1.2.2. Clima.....	27
4.1.2.3. Geología.....	28
4.1.2.4. Orografía.....	28
4.1.2.5. Vegetación.....	29
4.1.2.6. Otros rasgos.....	30
4.2. Descripción de las especies.....	31
4.2.1. <i>Pinus teocote</i> Schl. et Cham.....	31
4.2.2. <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	33
4.3. Metodología de la investigación.....	35
4.3.1. Generalidades.....	35
4.3.2. Medición de los árboles muestra.....	36

4.3.3. Determinación del volumen en cada árbol muestra.....	37
4.3.4. Ecuaciones de volumen y funciones de ahusamiento ajustadas. 38	
4.3.4.1. Ecuaciones que fueron utilizadas para estimar el volumen.....	38
4.3.1.2. Funciones utilizadas para describir el perfil de los árboles.....	39
4.3.4.3. Procedimiento estadístico.....	40
V. AJUSTE DE MODELO DE VOLUMEN Y FUNCIONES DE AHUSAMI- ENTO PARA <i>Pinus teocote</i> EN BOSQUES DE PINO DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL.....	43
5.1. Resumen.....	43
Abstract.....	45
5.2. Introducción.....	46
5.3. Materiales y métodos.....	48
5.3.1. Descripción general del área de estudio.....	48
5.3.1.1. Localización.....	48
5.3.1.2. Clima.....	48
5.3.1.3. Geología.....	49
5.3.1.4. Estado forestal.....	49
5.3.1.5. Descripción de la especie.....	49
5.3.2. Metodología.....	50
5.3.2.1. Ecuaciones de volumen y funciones de ahusamiento ajustados.....	51
5.3.3. Procedimiento estadístico.....	52

5.3.3.1. Características de los árboles muestra.....	54
5.4. Resultados y discusión.....	55
5.4.1. Comparación entre ecuaciones de volumen y ahusamiento.....	61
5.5. Conclusiones.....	66
5.6. Reconocimientos.....	66
5.7. Referencias bibliográficas.....	67
VI. AJUSTE DE MODELOS DE VOLUMEN Y FUNCIONES DE AHUSAMI-	
ENTO PARA <i>Pinus pseudostrobus</i> EN BOSQUES DE PINO DE LA	
SIERRA MADRE ORIENTAL DE NUEVO LEÓN MÉXICO.....	
6.1. Resumen.....	71
Abstract.....	72
6.2. Introducción.....	73
6.3. Materiales y métodos.....	76
6.3.1. Descripción general del área de estudio.....	76
6.3.1.1. Localización.....	76
6.3.1.2. Clima.....	77
6.3.1.3. Geología.....	77
6.3.1.4. Estado forestal.....	78
6.3.1.5. Descripción de la especie.....	79
6.3.2. Metodología.....	80
6.3.2.1. Modelos ajustados.....	80
6.3.3. Procedimiento estadístico.....	82
6.3.3.1. Características de los árboles muestra.....	84
6.4. Resultados y discusión.....	85

6.4.1. Comparación entre ecuaciones de volumen y ahusamiento.....	92
6.5. Conclusiones.....	95
6.6. Reconocimientos.....	95
6.7. Referencias bibliográficas.....	96
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....	101
7.1. Conclusiones generales.....	101
7.2. recomendaciones.....	105
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	110

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Especies forrojeras y no maderables de los predios “Rancho el 18” y “Las Anacuas” del municipio de Linares, Nuevo León.....	25
2. Especies aprovechables principalmente por la industria forestal del municipio de Linares, Nuevo León.....	25
3. Estadísticas de los árboles de <i>Pinus teocote</i> utilizados en el ajuste de Parámetros.....	55
4. Estadísticas de los árboles de <i>Pinus teocote</i> utilizados en la prueba de bondad de ajuste.....	55
5. Parámetros de los modelos de volumen para la especie <i>Pinus teocote</i> en una fracción de la Sierra Madre Oriental en el estado de Nuevo León.....	55
6. Estadísticos del coeficiente de regresión, error estándar y número de coeficientes para los ocho modelos de volumen ajustados a <i>Pinus teocote</i> en una fracción de la Sierra Madre Oriental del estado de Nuevo León.....	57
7. Estadísticos resultantes del ajuste de cinco funciones de ahusamiento para 110 árboles de la especie de <i>Pinus teocote</i> de una fracción de la Sierra Madre Oriental del sur de Nuevo León.....	58

8. Estadísticos resultantes de la prueba de bondad de ajuste de cinco funciones de ahusamiento a 20 árboles de la especie <i>Pinus teocote</i> de una fracción de la Sierra Madre Oriental del sur de Nuevo León.....	58
9. Comparación del volumen fustal de 20 árboles estimados por ecuaciones de volumen y ahusamiento.....	61
10. Estadísticas de los árboles de <i>Pinus pseudostrobus</i> utilizados en el ajuste de parámetros.....	84
11. Estadísticas de los árboles de <i>Pinus pseudostrobus</i> utilizados en la prueba de bondad de ajuste.....	84
12. Parámetros de los modelos de volumen para la especie <i>Pinus pseudostrobus</i> de una fracción de la Sierra Madre Oriental en el estado de Nuevo León.....	85
13. Estadísticos del coeficiente de regresión, error estándar y número de coeficientes para los ocho modelos de volumen ajustados a <i>Pinus pseudostrobus</i> en una fracción de la Sierra Madre Oriental del estado de Nuevo León.....	86
14. Estadísticos resultantes del ajuste de cinco funciones de ahusamiento para 110 árboles de la especie de <i>Pinus pseudostrobus</i> de una fracción de la Sierra Oriental del sur de Nuevo León.....	87
15. Estadísticos resultantes de la prueba de bondad de ajuste de cinco funciones de ahusamiento a 20 árboles de la especie <i>Pinus pseudostrobus</i> de una fracción de la Sierra Madre Oriental del sur de Nuevo León.....	87
16. Comparación del volumen fustal de 20 árboles estimados por ecuaciones de volumen y funciones de ahusamiento.....	91

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ubicación del área de estudio para <i>Pinus reocote</i>	22
2. Ubicación del área de estudio para <i>Pinus pseudostrobus</i>	27
3. Distribución de la especie <i>Pinus teocote</i>	33
4. Distribución de la especie <i>Pinus psuedostrobus</i>	35
5. Método de secciones absolutas (Kramer y Akca, 1987).....	37
6. Ajuste de cinco modelos de ahusamiento a los perfiles fustales de árboles de diferentes categorías diamétricas de <i>Pinus teocote</i>	50
7. Comparación de estimación de volumen para <i>Pinus teocote</i> de la Sierra Madre Oriental y Sierra Madre Occidental.....	63
8. Comparación gráfica de los volúmenes estimados con las ocho ecuaciones de volumen ajustadas para <i>Pinus teococte</i>	64
9. Curvas de la ecuación de Newnham reportada por Contreras (1997) en la Sierra Madre Occidental comparada con Tapia y Návar (1998), para la Sierra Madre Oriental.....	65
10. Ajuste de cinco modelos de ahusamiento a los perfiles fustales de árboles de diferentes categorías diamétricas de <i>Pinus pseudostrobus</i>	89

10. Ajuste de cinco modelos de ahusamiento a los perfiles fustales de árboles de diferentes categorías diamétricas de <i>Pinus pseudostobus</i> (continuación).....	90
11. Comparación de estimación de volumen por dos ecuaciones ajustadas independientemente para <i>Pinus pseudostrabus</i> en la Sierra Madre Oriental del estado de Nuevo León, México.....	93
12. Comparación gráfica de los volúmenes estimados con las ocho ecuaciones de volumen ajustadas para <i>Pinus pseudostrabus</i>	94
13. Comparación de volúmenes observados y los estimados por la ecuación de Spur para las especies <i>Pinus teocote</i> y <i>Pinus pseudostrabus</i>	106
14. Comparación de volúmenes observados y los estimados por la ecuación de Schumacher y Hall para <i>Pinus teocote</i> y <i>Pinus pseudostrabus</i>	107
15. Comparación del perfil de los árboles observados en las especies <i>Pinus teocote</i> y <i>Pinus pseudostrabus</i> para las categorías diamétricas de 15, 25, 35 y 45 cm respectivamente.....	108
16. Comparación de las curvas del perfil de los árboles estimadas por las funciones de Newnham y Kozak para <i>Pinus teocote</i> y <i>Pinus pseudostrabus</i> para las categorías diamétricas de 15, 25, 35 y 45 cm.....	109

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivos ajustar ocho ecuaciones de volumen y cinco funciones de ahusamiento para las especies de *Pinus teocote* Schl. et Cham. y *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el predio “Rancho el 18 y Las Anacuas”, los ejidos “Pablillo” y “Corona del Rosal”, ubicados en el municipio de Linares y Galeana en una fracción de la Sierra Madre Oriental del Estado de Nuevo León. Las mediciones de diámetro – altura a diferentes secciones del fuste, altura total, edad, grosor de corteza, grosor de albura, diámetro a la base, diámetro a 0.50 m, diámetro normal (1.3 m) y diámetro a cada metro a partir de 0.50 m, se realizó en árboles derribados en operaciones de manejo forestal. Se utilizaron 110 árboles para ajustar y 20 árboles para probar su bondad de ajuste de las ecuaciones de volumen y funciones de ahusamiento, con 2181 y 2338 pares de datos de diámetro – altura y 424 y 418 para *Pinus teocote* y *Pinus pseudostrobus* respectivamente.

Las ecuaciones de volumen que se ajustaron fueron las siguientes: 1) Spur, 2) Spur polinomial de segundo grado, 3) Spur polinomial de tercer grado, 4) Naslund, 5) Australiana, 6) Múltiple de tres parámetros, 7) Schumacher y Hall y 8) Spur logarítmica.

Las funciones de ahusamiento ajustadas fueron las siguientes: 1) Amidon, 2) Clutter, 3) Kozak, 4) Newnham y 5) Rustagi y Loveless.

Los parámetros estadísticos fueron ajustados en regresión lineal, polinomial y múltiple por medio de la técnica de cuadrados mínimos. Los estadísticos de comparación fueron: el coeficiente de determinación, error estándar estimado, parámetros de la regresión con significancia probabilística, la distribución, aleatoriedad y variancia común de los errores. Para ser estos comparables, los modelos transformados fueron regresados a sus dimensiones originales para estimar los estadísticos.

Los resultados mostraron que las ecuaciones de volumen polinomiales presentan los mejores estadísticos en el ajuste de los parámetros pero no en las pruebas de bondad de ajuste, los mejores estadísticos los presentaron los modelos de Schumacher y Hall y de Spur para ambas especies.

Para las funciones de ahusamiento los mejores estadísticos resultantes del ajuste y de la prueba de bondad de ajuste, se presentaron en los modelos de Newnham y Kozak para *Pinus teocote* y *Pinus pseudostrobus*, respectivamente.

Las ecuaciones de volumen mejor ajustadas a las especies no presentaron diferencias estadísticamente significativas en la estimación del volumen de los árboles prueba, tanto para ecuaciones locales como otras desarrolladas en el estado de Durango para *Pinus teocote*.

Por esta razón se recomienda uso de estas tecnologías matemáticas en los planes de manejo de los bosques de la Sierra Madre Oriental del estado de Nuevo León.

ABSTRACT

This study aimed to fit eight volume equations and five taper functions to the pine species *Pinus teocote* and *Pinus pseudostrobus* of the private property “Rancho el 18 and Las Anacuas” and the ejidos “Pablillo” and “Corona del Rosal”, located in the municipalities of Linares and Galeana in the eastern Sierra Madre of the State Nuevo León. Measurements of diameter – height different stem sections, age trees, and bark thickness, were conducted in fallen trees during harvesting operations in the area. To fit the volume equations and taper functions 110 trees of each species and to test their goodness of fit tests 20 trees were sampled, with 2181 and 2338 and 424 and 418 pairs of diameter – height data, respectively for *Pinus teocote* and *Pinus pseudostrobus*, respectively.

The volume equations fitted were the following: 1) Spur, 2) 2nd degree polynomial of Spur, 3) 3rd degree polynomial of Spur, 4) Naslund, 5) Australian, 6) Multiple of 3 parameters, 7) Schumacher and Hall y 8) Log transformed of Spur. The taper functions fitted were the following: 1) Amidon, 2) Clutter, 3) Kozak, 4) Newnham and 5) Rustagi and Loveless. Statistical parameters were fitted in lineal, polynomial and multiple regression by least square techniques. The statistics of comparison were: 1) the coefficient of the determination, the standard error, bias, and distribution, randomness

and common variance of error. To compare them, the transformed models were transformed back to their original dimensions to estimate the statistics.

The results showed that the polynomial volume equations had the best fitting statistics but in the goodness of fit tests the best statistics were showed by the models of schumacher and Hall and Spur. For the taper functions, the model Kozak and Newnham had consistently the best statistics for the stem profiles of *Pinus pseudostrobus* y *Pinus teocote*, respectively.

The volume equations wich best fitted observed total stem volumes did not show statistical differences in the estimation of volume of the test trees in comparison to the other volume models develop in other local forest stands as well as to another equation develop in the state of Durango for *Pinus teocote*.

For this reason, these mathematical technologies are recommended to elaborate forest managements plans of the eastern Sierra Madre of the state of Nuevo Leon.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La simulación con modelos matemáticos es la herramienta útil para la toma de decisiones en el manejo forestal sustentable. Los modelos de volumen, predicen el volumen de los árboles con corteza y sin corteza, este puede ser para volumen fuste limpio, volumen fuste total y volumen comercial. El ajuste de ecuaciones de volumen principalmente tienen como finalidad la construcción de tablas o tarifas de volumen. Estas constituyen el fundamento de los inventarios forestales y estos a su vez son el cimiento de la silvicultura y de los métodos de ordenación de montes. Las funciones de ahusamiento nos predicen el perfil diamétrico de los fustes de los árboles. Estas son la herramienta principal para determinar el perfil del fuste y volumen de cualquier sección del árbol, permitiendo un conocimiento objetivo de la distribución de los productos forestales. Estas determinan los árboles que cumplen con las especificaciones de la industria forestal, además de proveer información necesaria para optimizar el recurso forestal. Las funciones de ahusamiento cuando son ajustadas precisamente estiman el volumen con más exactitud que las ecuaciones de volumen.

Los modelos de volumen y funciones de ahusamiento se pueden definir como sinónimos de estimación de cantidad y calidad, de los productos derivados de los fustes de los

árboles de un bosque. Estas tecnologías matemáticas se han utilizado desde hace varias décadas en países con tradición forestal, mientras que en México estas herramientas han tardado en incorporarse al manejo forestal al nivel de la especie comercial y son utilizadas principalmente en los estados con presencia forestal. En el estado de Nuevo León existen ecuaciones desarrolladas para *Pinus hartwegii*, *P. teocote* y *P. pseudostrobus* que son principalmente las especies comerciales utilizados por la industria forestal. Las funciones de ahusamiento no se han aplicado convencionalmente a las especies comerciales del género *Pinus* del estado. Por esta razón el trabajo se enfoca principalmente al ajuste de ecuaciones de volumen y ahusamiento para las especies de *Pinus teocote* Schl. et Cham y *Pinus pseudostrobus* Lindl. representativas de la región con una amplia distribución en la República Mexicana. Esta información es clave para el desarrollo de planes de manejo de los bosques del estado.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Obtener los parámetros estadísticos de las ecuaciones de volumen y funciones de ahusamiento, que nos permitan determinar el volumen fustal y el perfil de los árboles para *Pinus teocote* y *Pinus pseudostrobus* de una fracción de la Sierra Madre Oriental, como una alternativa para la cuantificación del volumen forestal y la distribución de productos derivados de los árboles como herramientas útiles en el manejo forestal.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

2.2.1. Ajustar ocho ecuaciones de volumen a árboles de la especie *Pinus teocote*.

2.2.1.1. Probar la bondad de ajuste de los ocho modelos aplicados a la especie *Pinus teocote*.

2.2.2. Ajustar ocho ecuaciones de volumen a árboles de la especie *Pinus pseudostrobus*.

2.2.2.1. Probar la bondad de ajuste de los ocho modelos aplicados a la especie *Pinus teocote*.

2.2.3. Ajustar cinco funciones de ahusamiento a los perfiles fustales de árboles de la especie *Pinus teocote* y probar su bondad de ajuste.

2.2.4. Ajustar cinco funciones de ahusamiento a los perfiles fustales de árboles de la especie *Pinus pseudostrobus* y probar su bondad de ajuste.

2.3. HIPÓTESIS

2.3.1. Hipótesis nula.

No existen diferencias en la predicción de los volúmenes fustales totales y los perfiles fustales de árboles entre las especies *Pinus teocote* y *Pinus pseudostrobus*.

Si H_0 : es correcta, entonces sólo un modelo de volumen y una función de ahusamiento son necesarios en la predicción de los volúmenes y perfiles fustales. Si H_0 : es falsa, entonces los árboles de cada especie poseen un modelo único para predecir los parámetros discutidos.

CAPÍTULO III

ANTECEDENTES

3.1. MODELOS MATEMÁTICOS

El manejo de los bosques depende actualmente del uso de tecnologías matemáticas para predecir eventos de interés para el silvicultor. Dentro de éstas se encuentran los modelos de volumen y funciones de ahusamiento, útiles en los inventarios de recursos forestales. La FAO (1980) define a los modelos matemáticos como ecuaciones y gráficos que nos muestran relaciones cuantitativas entre las variables. En general, en la actividad forestal no se utiliza más de dos variables; el diámetro y la altura del árbol.

Existen investigaciones con modelos estadísticos de regresión, en uno de las cuales Martín (1984) determina que no solo es decisivo el modelo para el buen desempeño de este. La validación de éstos, la cual puede ser realizada con una prueba de bondad de ajuste, es decir, utilizar una parte de la muestra donde se pruebe los resultados del modelo y se observe la variación de los parámetros estadísticos, forma una parte integral en la selección del mejor modelo.

3.1.1. Ecuaciones de volumen.

El volumen o masa de un árbol puede definirse como una función dependiente del diámetro y altura, es decir, a mayor incremento de diámetro o altura mayor volumen y puede expresarse en: pie-tabla, metro cúbico, pie cúbico, etc, dependiendo de la clase de producto requerido. De tal forma que en la industria forestal se conocen diferentes tipos de volumen: volumen aprovechable, volumen bruto, volumen comercial, volumen industrial, volumen neto, volumen potencial, volumen de ramas, volumen total y volumen de troza.

El volumen industrial, es el volumen potencialmente útil de la madera en rollo sin deducción de pérdidas debidas a la utilización de tipos de corta y procesos de manufacturación. Es igual a la suma de los volúmenes de las trozas, más otros volúmenes aprovechables. El volumen de troza, es el volumen neto de un árbol considerado apropiado para elaboración de chapa, trozas de aserrío, trozas para durmientes, pilotes y postes. Este volumen se puede usar también para madera, pasta, tableros de partículas y otros usos industriales (Padilla, 1987).

El volumen calculado para el fuste total o parcial de los árboles, por ecuaciones de volumen depende principalmente de dos variables el diámetro normal, medido a 1.3 m y la altura total del árbol. Estas ecuaciones se pueden utilizar aún cuando se incluyen ramas, tocón con corteza y sin corteza. Actualmente se ha pensado en la probabilidad que se incluyan las raíces y hojas en la estimación de la biomasa total.

El ajuste de las ecuaciones se realiza normalmente por medio de técnicas de regresión, donde la variable dependiente es el volumen y las variables independientes el diámetro a 1.3 m y la altura total (Cluter *et al.*, 1983).

La funcionalidad y versatilidad de las ecuaciones de volumen han permitido el desarrollo de una gran cantidad de estas, como ejemplo: Jiménez (1988) cita un ajuste de más de 50 que utiliza para la realización de tablas y tarifas de volumen en las especies *P. teocote* y *P. pseudostrobus*.

De tal manera que para el presente trabajo solo se han seleccionado, las siguientes ocho ecuaciones más populares en el manejo forestal: ecuación de Spurr aritmética, logarítmica, polinomial de segundo grado y polinomial de tercer grado, ecuación de Naslund, ecuación Australiana, ecuación múltiple de tres parámetros y la ecuación de Schumacher y Hall.

Barrena *et al.* (1986) y Barrena (1988) detallan un procedimiento para la elaboración de tablas de volumen, las cuales tienen como objeto seleccionar de un conjunto de modelos, la ecuación que mejor estime el volumen de los árboles, considerando los modelos de transformación logarítmica y los modelos ponderados.

De las investigaciones donde se observa el ajuste de las ecuaciones de volumen para diferentes especies podemos citar las siguientes:

Bauer y Gillespie (1990) generan ecuaciones de volumen locales y generales para el volumen del fuste total incluyendo ramas, de *Swietenia macrophylla* Mahagoni. Las ecuaciones desarrolladas utilizaron datos de 133 árboles de 16 plantaciones con edad de 20 años.

Tandug (1992) presentó ecuaciones para 23 especies de rodales naturales y 6 para especies de plantaciones en 7 regiones de las Filipinas.

Un grupo de ecuaciones fue presentado por Martínez *et al.* (1992) para la determinación de volumen con corteza de las principales especies forestales de España. Las ecuaciones utilizan tres parámetros diámetro a la altura del pecho, altura total y diámetro a 4 m de altura del tocón. Los parámetros fueron tomados de varias especies de pino, encino y de *Fagus*.

Bi (1994) desarrolló y validó ecuaciones de volumen para seis especies de eucalipto en Nueva Gales del sur. Utilizó datos de 1900 árboles, combinando la variable volumen sin corteza.

Pillsbury y Pryor (1994) desarrollaron ecuaciones de volumen locales y estándar para encino en rodales densos de las montañas de San Bernardino. Estas ecuaciones fueron comparadas con otras desarrolladas con anterioridad para el lugar, y las desarrolladas en este estudio tuvieron el mismo valor predictivo que las anteriores.

Wong y Blackett (1994) midieron 3488 árboles de 61 especies de 7 reservas representativas de todos los tipos de bosques encontrados en la región alta de Ghana. De los pares de datos para las ecuaciones de volumen desarrollaron un parámetro simple para un modelo de potencia basado en el dap. El modelo fue ajustado usando una transformación logarítmica.

Pohjonen (1991) utilizó las variables logarítmicas del dap y la altura para las ecuaciones de volumen, determinando resultados adecuados en la estimación del volumen de *Juniperus procera*. Las mediciones fueron tomadas en el Parque Nacional de Menagesha, en los bosques forestales de la parte alta de Etiopía. El error estándar relativo del volumen estimado fue bajo (10 a 12 %).

Leech *et al.* (1991) analizaron por medio de componentes principales diferentes ecuaciones de volumen. En las ecuaciones que desarrollaron, utilizan los datos de 3727 árboles pertenecientes a 110 especies del inventario realizado en Bago Yoma en la región de Myanmar.

Lynch (1995) desarrolló un método de predicción de volumen para árboles individuales usando dos mediciones de los diámetros menores a 1.3 m y las mediciones de altura. Una forma de la ecuación es lineal con respecto al volumen entre las dos mediciones de los diámetros; como se describe en la fórmula de Smalian y puede ser arreglada dentro de la suma de las dos ecuaciones, una lineal con respecto al cuadrado más alto de la forma del diámetro más bajo y la otra lineal con respecto al cuadrado más bajo de la

forma del diámetro más bajo. Esta tecnología facilita el trabajo de la cubicación de árboles individuales

Lappi (1991) ajustó ecuaciones de volumen y altura con parámetros aleatorios. Este método se presentó usando una muestra ajustada de alturas y diámetros; altura/diámetro y volumen/diámetro determinando las ecuaciones de los árboles de cada rodal. El método fue utilizado para rodales de *Pinus sylvestris* en rodales del sur y centro de Finlandia, las ecuaciones de la altura/diámetro y volumen/diámetro se asume que contienen los parámetros aleatorios de cada rodal.

Flores (1995) presentó el diseño de una ecuación de volumen de fuste para *Cedrela odorata* en el valle del río Manu. De los modelos evaluados, encontró que la ecuación con variables D , D^2 , H , DH , ponderadas estimaron mejor el comportamiento del volumen y la ecuación seleccionada fue una ecuación múltiple donde se incluyó el D , D^2 , H y DH .

Contreras (1997) ajustó ecuaciones para la estimación de volumen rollo total árbol, fuste con o sin corteza, fuste y tocón y fuste y ramas para las especies de *Pinus teocote* y *Pinus durangensis* en el Ejido Vencedores del Estado de Durango. El encontró que los diferentes volúmenes pueden ser estimados con mayor precisión con diferentes modelos. Finalmente recomendó utilizar la ecuación de Schumacher y Hall.

Otras investigaciones son las de Morton *et al.* (1990) para *Picea glauca*; Kozak y Omule (1992) donde estimaron el volumen del tocón sin corteza y la más reciente de Fowler (1997) quien manejó ecuaciones de volumen individuales para árboles de pino rojo.

3.1.2. Funciones de ahusamiento.

El ahusamiento de los árboles se puede definir como un coeficiente de estrechamiento del fuste en relación con el incremento de altura, además que este puede ser caracterizado por funciones matemáticas (Gray, 1956).

Daniel *et al.* (1983) define que la forma del fuste esta determinada por las especies y las características fisico-abióticas, presentándose estos dos tipos en coníferas y latifoliadas. Las coníferas presentan una forma del fuste recta debido a la selección que ejercen los factores genéticos, abióticos y bióticos. Los segundos se presentan en especies que desarrollan más pronto sus ramas y normalmente la forma del fuste de los árboles es bifurcada o polifurcada, limitando su aprovechamiento.

El diámetro normal y la altura total no son suficientes para describir completamente la forma de los árboles. El interés de tener una fórmula para la curva del perfil de los árboles es facilitar el cálculo del volumen de la parte del fuste comprendida entre dos alturas. En la actualidad estas técnicas para definir la forma del árbol son utilizadas en el ámbito mundial para la obtención de productos maderables derivados del fuste.

Olsen *et al.* (1991) utilizaron un programa de computación para evaluar la ayuda del operador Hahn Harvester para determinar la corta de los árboles de *Douglas fir*. El programa requiere entradas del diámetro de árboles a intervalos de 6 m. Los diámetros son estimados por el movimiento entero del perfil por mediciones a 4.6 m del ápice y los diámetros restantes por ecuaciones de ahusamiento. Las ecuaciones de ahusamiento generadas por análisis de regresión de las medidas de los primeros 8 árboles predice el 90 % de los diámetros, estos están dentro de 1.3 cm de los diámetros actuales. El programa incrementa el valor total de las trozas en 7.5 %.

Maguire y Hann (1990) desarrollaron una ecuación de ahusamiento polinomial segmentada en *Pseudotsuga menziesii*, para predecir la doble corteza pensando en cualquier altura a nivel del pecho. Suponiendo de conformidad que es un neoloide truncado, las predicciones son dentro de la altura del diámetro normal. Las ecuaciones facilitan la estimación del diámetro sin corteza, mediciones de diámetro con corteza y también se puede calcular la biomasa cuando se ha estimado completamente la existencia del diámetro sin corteza, con las ecuaciones desarrolladas para esta región.

Thomas y Parresol (1991) describen los numerosos modelos aprobados para estimar el perfil del árbol en las décadas más recientes, la mayoría se han concentrado simplemente en las coníferas aumentando la complejidad de las expresiones matemáticas. El uso de las ecuaciones de trigonometría provee expresiones simples de ahusamiento, estas son flexibles y se ajustan a las formas generales de las coníferas. Los datos de ahusamiento de los árboles delgados y no delgados derribados de *Pinus elliottii* var. *Elliottii*, *Quercus phillies* y *Liquidambar styraciflua* de algunos rodales fueron usados para examinar las

funciones de las ecuaciones trigonométricas. La comparación de los nuevos modelos de trigonometría comparados con los polinomiales segmentados aprobados y desarrollados en 1976, indicaron que estas funciones son igual de precisas y tienen ventajas en términos de parsimonia.

Oderwald y Rayamajhi (1991) presentan un método usando ecuaciones de ahusamiento para estimar el volumen y masa de árbol en inventarios forestales. Los coeficientes de las ecuaciones de ahusamiento son estimados de pares de altura-diámetro de una muestra de árboles. Usando datos de 18 árboles de *Quercus rubra*, *Quercus velutina*, *Quercus coccinea* y de *Quercus alba* en bosques de los Appalaches en Virginia, el cuadrado del error medio de las ecuaciones de ahusamiento estima rangos de 0.05 a 0.43 m³ por árbol, mientras que en las ecuaciones de regresión los rangos son de .022 a 0.99 m³ por árbol.

Corona y Ferrara (1992) ilustraron el uso de un programa STIMASS con el cual se pueden calcular las tablas de volumen del fuste utilizando un exponente en conjunto con ecuaciones de ahusamiento para determinar el volumen comercial.

Newnham (1992) probó la función de ahusamiento de la forma variable con datos de 5074 árboles. Comparó los resultados con las pruebas realizadas con los modelos de la variable exponencial y el modelo polinomial segmentado. El modelo de la forma variable fue el mejor para la estimación de los perfiles diamétricos.

Muhairwe *et al.* (1994) agregaron variables como: clases de copa, clase de sitio y la edad al diámetro normal dentro de la misma ecuación de ahusamiento de la variable

exponencial de Kozak. Los efectos de la adición de estas variables en la parte exponencial de la ecuación de ahusamiento incrementaron la precisión en la predicción de los perfiles fustales aunque no en una forma significativa.

Algunos otros ejemplos son de: Gal y Bella (1994) quienes probaron nuevas funciones para el perfil del fuste de 12 especies en Alta, Edmonton; Kozak y Smith (1993) realizaron una evaluación estándar para sistemas de estimación de ahusamiento y la más reciente de Kozak (1997) es la determinación de los defectos de multicorrelación y autocorrelación en la variable exponencial en funciones de ahusamiento.

En el ámbito nacional encontramos trabajos de Torres *et al.* (1993) donde comparó funciones de ahusamiento para ocho especies con la técnica de cuadrados mínimos ordinarios y cuadrados mínimos generalizados. Rentería (1995) estima el volumen comercial con modelos de ahusamiento en *Pinus cooperi*. Zepeda *et al.* (1997) presentaron ecuaciones de ahusamiento con corteza y sin corteza para tres especies del estado de Chihuahua. Contreras (1997) ajusta cuatro modelos de ahusamiento a los perfiles fustales de *Pinus teocote* y *Pinus durangensis*. Uno de los más recientes es donde Návar *et al.* (1997) ajustan siete modelos de ahusamiento a los perfiles fustales de *Pinus hartwegii* en el nordeste de México y prueba la bondad de ajuste de estos con una fuente adicional de datos.

Entre otras investigaciones podemos observar aquellas en las cuales se utilizan ecuaciones compatibles con funciones de ahusamiento y de volumen como las que se citan a continuación:

Rustagi (1991) con una simple medición de la forma del fuste, provee los principios geométricos y deriva las bases para la compatibilidad de ecuaciones de volumen y del perfil fustal. Los parámetros correspondientes a la altura y diámetro de los árboles que proveen estas ecuaciones son comparados por regresión lineal, estas ecuaciones predicen el factor de forma cilíndrico.

Bailey (1994) ajusta la ecuación de volumen por el factor de forma constante generalizada en forma logarítmica de Schumacher y Hall y tuvo su base lógica en geometría de sólidos. La ecuación presenta la modalidad de la predicción directa del volumen a cualquier sección de altura.

Burkhart y Gregoire (1994) detallaron los procedimientos estadísticos para predicción de volumen en árboles, ecuaciones directas de volumen, predicción de volumen con ecuaciones de ahusamiento, evaluación de la calidad de sitio, índices de sitio, medición de densidad de rodales, predicción de producción del incremento, incremento al nivel de rodal e incorporación de variaciones estocásticas.

McTague (1992) generó ecuaciones de volumen total y funciones que predicen la altura con el diámetro cuadrado de Hohenadl y la forma de clase de Girardson construidos usando datos de 54 árboles de *Pinus ponderosa* desarrollados en el Bosque Nacional de Arizona. Las muestras seccionadas dentro de una longitud de la altura total del árbol correspondiente al 10 %.

Shiver y Brister (1992) evalúan en orden las mejores estrategias de manejo forestal, las ecuaciones desarrolladas utilizaron datos de 63 rodales de *Eucaliptus saligna* introducidos para una área de Nandi Hills, Kenya. Las ecuaciones de volumen total del árbol, el volumen comercial y funciones de ahusamiento fueron desarrolladas. Se elaboraron ecuaciones con las cuales se predice el incremento a cualquier diámetro requerido, el índice de sitio y el incremento de área basal a nivel del rodal.

Yamamoto (1994) presentó un sistema simple de estimación de volumen basado en ecuaciones compatibles del perfil del fuste y ecuaciones de volumen. Este sistema mostró reducción del error en la predicción del volumen cuando se compara con otras ecuaciones.

Flewelling y Raynes (1993) utilizaron un sistema de tres ecuaciones condicionadas para describir el ahusamiento completo de los árboles de *Tsuga heterophylla*. Los atributos del sistema fueron predecir como funciones empíricas el diámetro a la altura del pecho y la altura total. Estas han permitido por una parte un rango de predicción del perfil del fuste para cualquier medida sin riesgo ilógico en la predicción del perfil del fuste. El ajuste fue por regresiones multivariadas no lineales donde las variables dependientes son diámetros sin corteza con doce mediciones a diferente altura para cada árbol muestra.

3.1.3. Determinación del volumen en árboles individuales.

La obtención de datos durante los inventarios (observaciones de árboles en pie y derribados) solamente proveerá volúmenes aceptables para fines específicos. La

determinación del volumen requerido, depende del número de mediciones. Si observamos las diferentes partes de un árbol (tallo, ramas) no son sólidos de forma geoméricamente conocida (cilindros, conos, etc.). Lo importante es medir el diámetro a diferentes alturas de cada una de ellas y ajustar estas secciones a formas geométricas conocidas.

La exactitud en la estimación depende lógicamente del número de mediciones de diámetros. Las mediciones son más fáciles de realizar en árboles derribados. Por esta razón se calibran las ecuaciones de volumen.

El cálculo del volumen del fuste utilizando los cuerpos geométricos representa un trabajo complicado cuando la figura geométrica que presenta la sección inferior del fuste de los árboles es un neoloide truncado, después una parte cilíndrica, antes de finalizar paraboloides apolónico y finalmente la sección apical presentada por un cono. La variación de dichas formas a diferentes secciones del fuste depende en ocasiones de factores abióticos y bióticos.

Para una mayor facilidad y rapidez se utiliza la cubicación seccional para determinar el volumen de un árbol. Considerando las secciones j de un árbol, con diámetro a la altura $i = d_i$, diámetro a la longitud media de la troza = d_{hi} , diámetro promedio = \bar{d} y diámetro = d_{i+1} . El volumen total, V_{TOT} , de un fuste se estima por medio de:

1.- Fórmula de Huber (1828).

a) volumen de la sección j del árbol.

$$V_j = \left[\frac{\pi}{4} * (d_{hi})^2 * l_i \right]$$

b) volumen total del árbol.

$$V_{TOT} = \sum_{j=1}^n \left[\frac{\pi}{4} * (d_{hi})^2 * l_i \right]$$

2.- Fórmula de Smalian (1804)

a) volumen de la sección j del árbol.

$$V_j = \left[\frac{\pi}{4} * \left(\frac{d_i + d_{i+1}}{2} \right)^2 * l_i \right]$$

b) volumen total del árbol.

$$V_{TOT} = \sum_{j=1}^n \left[\frac{\pi}{4} * \left(\frac{d_i + d_{i+1}}{2} \right)^2 * l_i \right]$$

3.- Fórmula de Newton (1849)

a) volumen de la sección j del árbol.

$$V_j = \left[\frac{\pi}{4} * \left(\frac{d_i + 4\bar{d} + d_{i+1}}{6} \right)^2 * l_i \right]$$

b) volumen total del árbol.

$$V_{TOT} = \sum_{j=1}^n \left[\frac{\pi}{4} * \left(\frac{d_i + 4\bar{d} + d_{i+1}}{6} \right)^2 * l_i \right]$$

Donde:

V_j = volumen de troza (m^3), V_{TOT} = volumen total (m^3), d_{i+1} = diámetro mínimo (m), d_{hi} = diámetro a media longitud de troza (m), \bar{d} = diámetro promedio (m), d_i = diámetro máximo (m), l = longitud (m).

La determinación exacta del volumen por secciones se utiliza principalmente para fines científicos donde se desea conocer con exactitud el volumen de una troza. Para los fines que aquí se persiguen se hará una breve descripción de los dos principales tipos: cubicación absoluta y cubicación relativa.

3.1.3.1. Cubicación absoluta.

Para la aplicación de esta metodología, el fuste se divide en trozas de igual longitud absoluta. La masa o el volumen de las secciones se cúbica con la fórmula de Huber, Smalian o Newton, volumen de la última sección y su cálculo se efectúa por separado mediante la fórmula del cono.

Fórmula del cono:

$$V = \pi * r^2 * \left(\frac{1}{3} \right) * l$$

3.1.3.2. Cubicación relativa.

Bajo este método el individuo se divide en cinco secciones de igual longitud relativa. El volumen de las secciones se cubica de acuerdo a la fórmula de Huber. Las secciones 2, 3 y 4 las cuales se presentan una forma paraboloides y se calculan con la fórmula de Huber. La sección inferior y superior no pueden ser calculadas mediante la fórmula de Huber porque el error sería elevado, por lo cual se subdivide. La sección inferior en cinco fracciones y la superior en 2 fracciones de igual magnitud, de ésta manera el error se disminuye considerablemente.

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

El estado de Nuevo León cuenta con una superficie forestal de 5'410,850 ha de las cuales se tiene 428,400 ha de bosque mixto de pino-encino.

4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1.1. Descripción física y biológica del área de estudio para *Pinus teocote*.

4.1.1.1. Localización.

El predio particular “Rancho el 18 y Las Anacuas” se localiza en el sistema montañoso llamado “Sierra Madre Oriental” y se encuentra entre las coordenadas 99° 43’ y 99° 49’ de longitud oeste y 24° 41’ y 24° 50’ de latitud norte (Figura 1). El predio se localiza dentro de la región hidrológica RH 25, cuenca hidrológica “D” y sub-cuenca hidrológica “e”.

4.1.1.2. Superficie.

La superficie total es de 4019 ha divididas de la forma siguiente:

- a) Superficie arbolada 1,286 ha.
- b) Superficie arbolada aprovechable 781 ha.
- c) Superficie no arbolada 493 ha.
- d) Superficie de agostadero 2,240 ha.

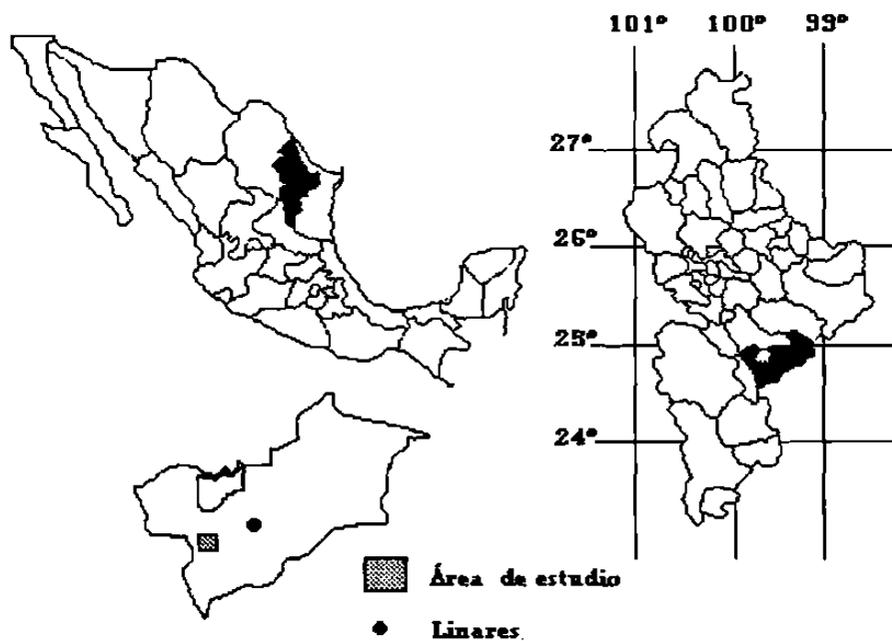


Figura 1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO PARA *Pinus teocote*.

4.1.1.3. Clima.

De acuerdo al sistema de clasificación de Köppen modificado por Enriqueta García (1987) el predio esta comprendido dentro del grupo de climas templados C, sub-grupo de climas semicalidos (A) C (Wo) y tipos semicalidos sub-húmedos con lluvias en verano con un porciento de lluvia invernal entre 5 y 10.2 mm. Se presenta una condición de pequeña temporada menos lluviosa, dentro de la estación de lluvias llamada canícula (junio-julio) o también conocida como sequía de medio verano. La precipitación media anual es de 800 - 1000 mm y una frecuencia de granizadas. La temperatura media anual de 20 - 22° C.

4.1.1.4. Geología.

La geología del predio consiste en lutitas y calizas del cretасico superior (Ks) y cretасico inferior (Ki). Las rocas son del tipo sedimentario y vulcanoso sedimentario.

4.1.1.5. Orografía.

El predio se encuentra a 22.5 Km rumbo sudoeste de Linares. Las alturas sobre el nivel del mar fluctúan entre 700 y 2,200 metros. Las principales elevaciones de la zona son: "Sierra El Gabacho" con 2,200 msnm. La topografía general del predio es muy accidentada con pendientes que fluctúan entre el 35 y 70 % y algunas pequeñas áreas planas de uso pecuario.

4.1.1.6. Hidrografía.

La región hidrológica a la que corresponde el predio en cuestión es RH 25, cuenca hidrológica "D" y sub-cuenca hidrológica "e". Los escurrimientos fluctúan entre 50 y 100 mm la permeabilidad de acuerdo a las cartas de INEGI (1983) esta considerada como alta en materiales consolidados.

4.1.1.7 Estado forestal.

Por su ubicación geográfica, esta zona presenta diversas condiciones de vegetación que va desde el matorral sub-montano, chaparral, masas puras de encino y bosque de pino encino.

Las especies forrajeras y no maderables para uso domestico que existen en el predio particular "Rancho el 18" y "Las Anacuas" se observan en el Cuadro 1. Estas y otras especies forman el grueso de los estratos bajos y sirven como cobertura del suelo, formadores del mismo y hábitat natural de la fauna del predio.

La vegetación arbolada aprovechable de estos bosques esta compuesta por masas puras de pino, encino y rodales mezclados de pino-encino distribuidas en el predio, las especies aprovechables se enlistan en el Cuadro 2.

CUADRO 1

ESPECIES FORRAJERAS Y NO MADERABLES DEL PREDIO "RANCHO EL 18 Y LAS ANACUAS" DEL MUNICIPIO DE LINARES, NUEVO LEÓN.

Nombre científico	Nombre común	Uso
<i>Acacia farnesiana</i>	Huizache	Forrajero, combustible
<i>Opuntia spp.</i>	Nopal	Forrajero
<i>Celtis pallida</i> Torr	Granjeno	Forrajero
<i>Prosopis juliflora</i>	Mezquite	Forrajero
<i>Mimosa spp.</i>	Uña de gato	Combustible
<i>Carya spp.</i>	Nogal cimarron	Forrajero
<i>Populus spp.</i>	Alamo	Retenedor de suelo
<i>Platanus occidentalis.</i>	Alamillo	Retenedor de suelo
<i>Tagetes lucida</i>	Yerbanis	Domestico
<i>Vitis spp.</i>	Uva silvestre	Domestico
<i>Boutelowa spp.</i>	Navajita	Forrajero

CUADRO 2

ESPECIES APROVECHABLES PRINCIPALMENTE POR LA INDUSTRIA FORESTAL DEL MUNICIPIO DE LINARES, NUEVO LEÓN.

Nombre científico	Nombre común
<i>Pinus teocote</i>	Pino chino
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Pino real o pino blanco
<i>Quercus canbyi</i>	Encino duraznillo
<i>Quercus prinopsis</i>	Encino blanco
<i>Quercus cupreata</i>	Roble

4.1.1.7. Otras características físico-biológicas.

Suelos. Los tipos de suelos encontrados en el predio son litosol y rendzina, como suelo secundario encontrando en menor porcentaje el regosol calcarico de textura media.

Erosión. En el inventario efectuado no se encontró presencia de erosión hídrica o eólica, en ninguna de sus formas (laminar o canalillo).

Agricultura. No es un predio destinado a la producción de productos agrícolas y solo una pequeña parte es sembrada con maíz (*Zea maiz*) para autoconsumo de los trabajadores del rancho.

4.1.2. Descripción física y biológica del área de estudio para *Pinus pseudostrobus*.

4.1.2.1. Localización.

El estudio para *Pinus pseudostrobus* fue realizado en el Ejido forestal “Pablillo” y Ejido “Corona del Rosal”, los cuales se localizan en la zona sur de Nuevo León, siendo parte del sistema orográfico de la vertiente del golfo de la Sierra Madre Oriental, la cual corre desde sus límites con la del Eje Neovolcánico en sentido paralelo a la costa del Golfo de México, en la subprovincia de la vegetación que corresponde al bosque templado frío. Sus coordenadas geográficas son: 24° 27' 45” y 24° 32' 32” de latitud norte y los 99° 54' 21” y 100° 01' 17” de longitud occidental para el Ejido Corona del Rosal y para el Ejido Pablillo 24° 31' 04” y 24° 39' 04” latitud norte y 94° 54' 37” y 100° 05' 04” (Figura 2).

4.1.2.2. Clima.

Debido a las condiciones fisiográficas de la zona, se presenta una variedad de climas que va desde los semicálidos subhúmedos en las grandes depresiones, hasta los semifríos subhúmedos en las partes más altas; sin embargo el clima predominante; según la clasificación de Köppen modificada por García (1987) es el siguiente: $C(w_2)(b')a$. Este se define como un clima templado semiseco o semihúmedo, con régimen de lluvias en verano, el cual es fresco, largo y extremo; $A(C)(w_2)$. Clima semicálido subhúmedo con lluvias todo el año; $C(w_2)(x')$. Clima templado subhúmedo con lluvias en verano, $C(E)(w_2)(x')$. Clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano. La precipitación media anual es de 700 mm a 900 mm. El porcentaje de lluvia invernal es mayor al 10.2 % de la anual y la temperatura media anual es desde los $16^\circ C$ a $18^\circ C$.

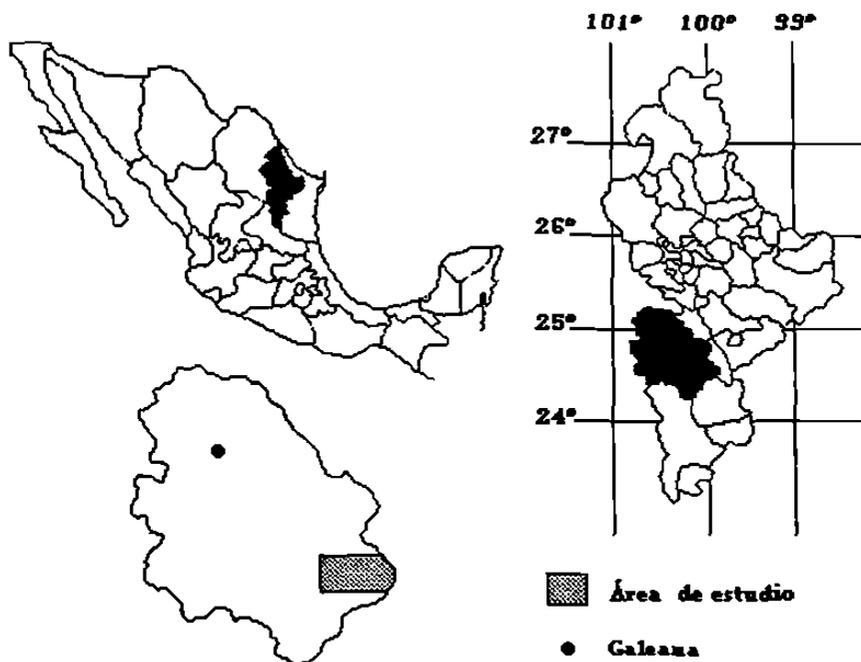


Figura 2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO PARA *Pinus pseudostrobus*.

Los vientos dominantes provienen del Sureste “Región de las Huastecas” costa oriental y son los que originan las lluvias principalmente. Dadas las condiciones topográficas de la región, la lluvia se origina en forma orográfica, esto es por el choque de aire húmedo con las montañas y con menor frecuencia la convectiva.

4.1.2.3. Geología.

Estos estratos son de antiguas rocas sedimentarias marinas (del cretácico y del jurásico superior) entre las que predominan las calizas y en segundo término las arsénicas y arcillosas. La subprovincia dentro de la cual se localiza el predio, es la gran sierra plegada, en ella dominan las capas plegadas de calizas con predominantes ejes estructurales de anticlinales y sinclinales, una gran falla inversa corre sobre los bordes orientales de la sierra en tanto se extienden más o menos paralelas a aquellas y a los ejes estructurales, también hay afloramiento de yesíferos paralelos en el mismo sentido particularmente del lado occidental de la sierra y fosforitas. En la litología superficial predominan ampliamente las rocas lutitas originados en el Cretáceo Superior, con espesor de las capas delgado y fracturamiento intenso, intemperismo profundo e impermeabilidad baja.

4.1.2.4. Orografía.

Estos ejidos se ubican en el Municipio de Galeana, N.L., en el km. 100 de la carretera Linares - Doctor Arroyo, las zonas elevadas de la sierra sobrepasan generalmente los 2000 m.s.n.m. y llegan cerca de los 3000 m principalmente en el “Cerro el Infiernillo”. La

topografía del predio es variable con pendientes ligeras hasta un 70 % y con la existencia de pequeñas áreas planas.

4.1.2.5. Vegetación.

Los tipos de vegetación más importantes dentro del área de estudio, tanto por la extensión que ocupan como por su importancia económica, se han podido diferenciar de acuerdo a las especies predominantes en ellos. El matorral presenta un estrato superior con altura mayores de 3 m de altura: *Diospyros texana* (Chapote), *Pithecellobium pallens* (Tenaza), *Quercus graciliformis* Aff. (Duraznillo), *Quercus polymorpha* (Encino), *Acacia farnesiana* (Huizache), *Prosopis glandulosa* (Mezquite), un estrato medio con árboles con altura que van de 1.5 - 3 m de altura: *Zanthoxylum fagara* (Colima), *Randia aculeata* (Crucillo), *Acacia rigidula* (Chaparro prieto), *Cordia boissieri* (Anacahuita), *Pithecellobium pallens* (Tenaza), *Condalia hookeri* (Brasil). El pastizal presenta un estrato rasante y otro herbáceo. En áreas arboladas presentan pastos amacollados y cespitosos; en terrenos abruptos y rocosos los macollos son altos, mientras que en terrenos planos presentan zacates cespitosos y bajos. Las gramíneas son predominantes en las áreas abiertas. Los géneros más importantes son *Bouteloua*, *Heteropogon*, *Lycurus*, *Andropogon*, *Setaria*, *Muhlenbergia*, *Aristida* y *Trachypogon*. En las áreas perturbadas, las gramíneas son predominantes, perennes y de hábitos amacollados. Los géneros de mayor frecuencia son: *Muhlenbergia*, *Bouteloua*, *Aristida*, *Lycurus*, *Stipa*, *Heteropogon*, *Elyonorus* y *Andropogon*, los géneros: *Karwinskia humboldtiana*, *Salvia llotaeiflora*, *Bouteloua trifida*, *Eragrostis palmeri*, *Panicum hallii*, *Aristida sp.*,

Sporobolus sp., *Cenchrus incertus* y el estrato herbáceo muy diversificado en época de lluvias. Predominan las compuestas y las gramíneas. El estrato arbustivo poco diversificado en terrenos cubiertos por el estrato alto y en terrenos abiertos se presentan *Arctostaphylos pungens*, *Ceanothus coeruleus*, *Agave asperrima*, *Agave Lechuguilla*, *Opuntia Robusta*, *Quercus sp.* (Encinillo arbustivo), *Rhus virens* (Lantrisco), *Mimosa spp.* (Uña de gato).

Las principales especies que se encuentran en el estrato superior arbóreo son: asociación *Pinus pseudostrobus* - *Quercus spp.*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote*. *P. ayacahuite* var *brachyptera*, *P. arizonica*, *P. cembroides*, *P. hartwegii*, *Pseudotsuga menziesii* var *glauca* y *Quercus sideroxyla*; estrato inferior: *P. culminicola*, *Arbutus glandulosa*, *Quercus crassifolia*, *Alnus acuminata*, *Juniperus deppeana* var *robusta*. El bosque es irregular incoetáneo con poca mezcla de especies; la altura dominante de los árboles alcanza hasta 22 m, y diámetros de 50-60 cm; se presenta en exposiciones norte, en suelos someros, oscuros, pedregosos y con abundante materia orgánica.

4.1.2.6. Otros rasgos.

Suelo. El área de estudio presenta diferentes tipos de suelos de acuerdo a la clasificación FAO-UNESCO modificada por DETENAL (1979), en los que sobresale regosol combinado con cambisol, entre los que se encuentran: a) Litosoles, b) Cambisoles, c) Regosoles y d) Suelos aluviales.

4.2. Descripción de las especies

4.2.1. *Pinus teocote* Schl. et Cham.

Este pino tiene una amplia zona de distribución y presenta por lo mismo, muchas variaciones, tanto en sus conos como en sus hojas. Algunas formas del sur tienen semejanza con el *Pinus lawsoni* y algunas del norte con el *Pinus arizonica*.

Se le conoce comúnmente como Pino Chino u ocote. Árbol por lo común de 10 a 20 m, pero varía entre los 8 y 25 m; de copa redondeada e irregular, ramas desigualmente distribuidas con follaje denso y erguido; corteza de color grisáceo por fuera y algo naranja o amarillento por dentro, delgada al principio y después áspera y rugosa dividida en grandes placas longitudinales. El tronco emite ocasionalmente retoños, asemejándose en esto al *Pinus leiophylla*.

Hojas en grupos de tres, por rareza dos o cuatro en algunos fascículos, por lo general de 10 a 15 cm, fuertes y tiesas, anchas y hasta cerca de 2 milímetros, por excepción delgadas de bordes aserrados, su color es verde brillante, comúnmente con tinte amarillento, con estomas en las tres caras. Las vainas son persistentes de 5 a 8 milímetros en los fascículos adultos, de 10 a 15 en los jóvenes, escamosas y de color castaño oscuro.

Conos ovoides u ovoide cónicos, rara vez subcilíndricos de 4 a 6.5 cm, a veces 7, simétricos o casi simétricos, por lo común reflejados en cortos pedúnculos de 5 a 8 mm,

pero a veces de 10 a 12 y en ocasiones subsésiles o sésiles. Por lo general son pronto caedizos de color moreno algo lustroso a veces con tinte ocre o rojizo, se encuentran por pares, pero a veces solitarios o en grupos de tres o cuatro.

La madera es fuerte y de buena calidad y se usa para construcciones y como combustible. Produce abundante trementina (Martínez, 1948).

Como se dijo antes, es una especie muy variable según el terreno, la latitud y otras condiciones del medio, por lo que es difícil citar un patrón tipo de la especie. Generalmente se encuentra en alturas que varían de 1400 a 3000 msnm desde 15° 00' hasta 25° 10' de latitud Norte y 91° 30' a 108° 00' de longitud Oeste. En México desde el sur de Chihuahua a lo largo de la Sierra Madre Occidental hasta Chiapas y en la Sierra Madre Oriental desde el sur de Coahuila hasta Hidalgo y Puebla. Por consiguiente, su zona de vegetación comprende Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Sinaloa, Durango, Zacatecas, Nayarit, San L. Potosí, Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, México, Distrito Federal, Puebla, Tlaxcala, Veracruz, Guerrero, Oaxaca, y Chiapas (Figura 3). Se han tenido reportes de Guatemala (Eguiluz, 1977).

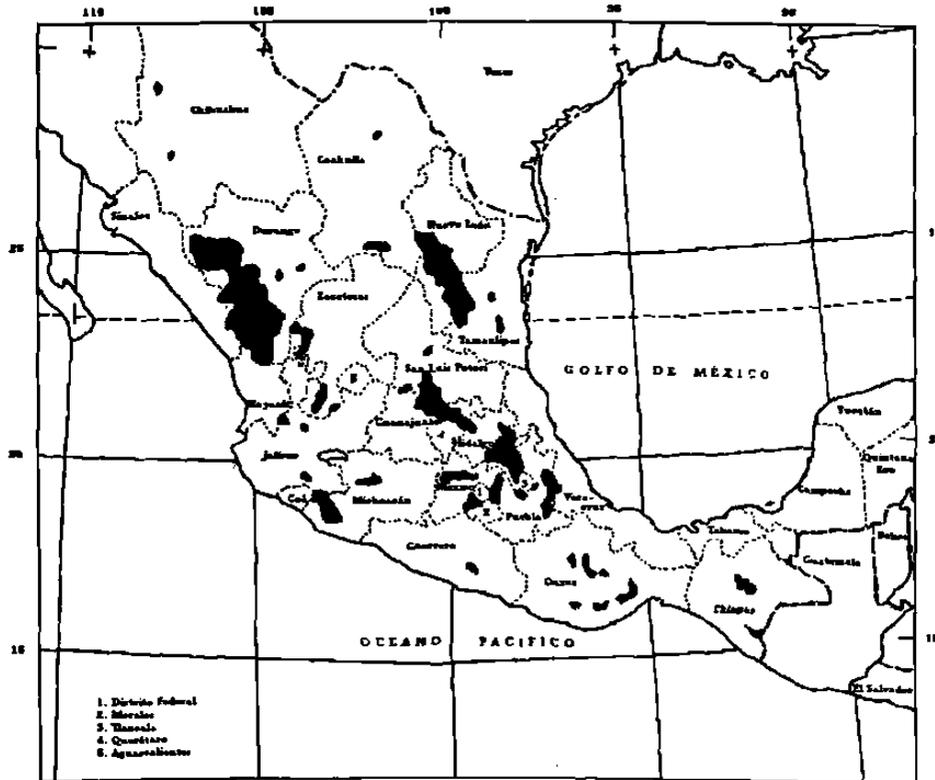


Figura 3. DISTRUBUCIÓN DE LA ESPECIE *Pinus teocote*.

4.2.1. *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Esta especie es variable, al grado que hay diferencias a veces notables aún en una misma localidad. Sus características generales son: 5 hojas delgadas, cono ovoide, ramillas con tinte ceniciento en sus partes tiernas, entrenudos largos, base de las bracteas alargadas y espaciadas, poco salientes y como sumergidas en la ramilla, corteza casi lisa durante mucho tiempo en los árboles jóvenes. Tiene parentesco con algunas formas del *P. montezumae*, al grado que en ocasiones es difícil encontrar las diferencias. Según esto el

Pinus pseudostrobus queda con una forma y cuatro variedades: *Pinus pseudostrobus* Lindl. con una forma: *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. Oaxacana Martínez, *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. Apulsencis Martínez, *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. Coatepecensis Martínez, *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. Estevezi Martínez (Martínez, 1948). Este es representativo de la riqueza de pináceas mexicanas, comúnmente se le conoce como pino blanco es un árbol de 30 a 40 m de altura, ocasionalmente 45 m, se han visto en Michoacán con diámetros de mas de 1 m entre árboles con un rango de 40-80 m (Perry, 1991). Las hojas en grupos de 5, de 17 a 24 cm de largo, muy delgadas, triangulares y flexibles, de color verde intenso, a veces con ligero tinte amarillento o glauco, finamente aserradas, con los dientesillos uniformes. Vainas persistentes, anilladas de 12 a 15 mm (a veces hasta 20) de color castaño oscuro, algo brillantes. Conillos oblongos largamente pedunculados, oscuros, con gruesas escamas provistas de puntas romas. Conos ovoides o largamente ovoides de 8 a 10 cm, a veces más, de color café claro, amarillentos o de morenos, extendidos muy levemente encorvados un poco asimétricos, generalmente por pares, no pronto caedizos, sobre pedúnculos de 10 a 15 mm (excepcionalmente hasta 23) y a veces casi sésiles. Frecuentemente el pedúnculo queda en la ramilla conservando algunas escamas basales. Produce abundante trementina y la madera es dura y resistente. Suele encontrarse en climas templados y frecuentemente se ve asociado al *P. montezumae*, con el que tiene estrecho parentesco. Su distribución primaria es en México y se ha extendido hasta Guatemala. En México se encuentra en los estados de Jalisco, Michoacán, México, Durango, Distrito Federal Morelos, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca, Guerrero, Chiapas y Nuevo León ver Figura 4. Su

habitat se encuentra entre los 1600 a 3200 msnm y los árboles más altos entre los 2000 y 2400 m.



Figura 4. DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE *Pinus pseudostrobus*.

4.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.3.1. Generalidades.

La información obtenida de las observaciones, es uno de los pasos más importantes en la investigación, una condición básica para la determinación exacta del volumen de un árbol

consiste en un levantamiento correcto de datos. Los errores repercuten en la precisión de los resultados que se obtengan.

Para la selección de los árboles - muestra, se utilizaron rodales en los cuales existen aprovechamiento y planes de manejo. Para este trabajo no se consideró necesario representar la distribución de las diferentes categorías diamétricas, sin embargo, desde el punto de vista estadístico puede hacerse sin dificultad cuando se cuenta con información previa para calcular la variación existente en cada categoría diamétrica.

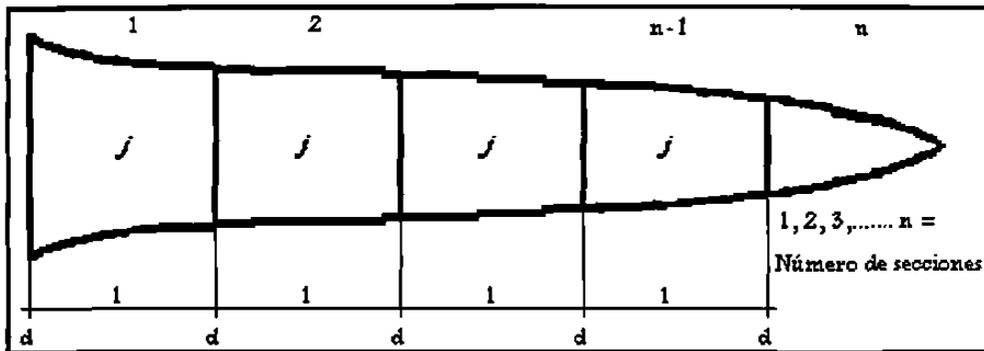
4.3.2. Medición de los árboles - muestra.

Para los objetivos de esta investigación se utilizaron árboles derribados por sus propietarios y personal técnico de la Facultad de Ciencias Forestales. La cantidad de árboles mínima necesaria estimada por Tapia y Návar (1997), para el ajuste de los modelos de volumen y funciones de ahusamiento fue de 100 a 140 arboles. Utilizándose 130 árboles de *Pinus teocote* y 130 de *Pinus pseudostrobus* para el presente trabajo, no se consideran más árboles ya que de ser así la investigación crecerá en costo y tiempo por las necesidades de extracción de la madera. Y por otro lado los estadísticos de los modelos no sufren cambios significativos.

Los parámetros obtenidos en el campo para cada uno de los árboles muestra son los siguientes: edad, altura del tocón, grosor de albura, grosor de corteza, diámetro de la base, diámetro a 0.50 m, diámetro a 1.30 m, diámetro a cada 1 m a partir de 0.50 m y altura total.

4.3.3. Determinación de volumen en cada árbol - muestra.

La estimación del volumen fue en forma convencional por el método de secciones absolutas por la facilidad de su desarrollo y la optimización del tiempo utilizado. Este método consiste en dividir el fuste en trozas de igual longitud (Figura 5). Una vez obtenida la información necesaria de las secciones se realiza el cálculo del volumen, en el paquete computacional Lotus o Excel de Microsoft a través de la fórmula descrita por Smalian y para la sección final (ápice), se efectúa por separado por la fórmula del cono.



**Figura 5. MÉTODO DE SECCIONES ABSOLUTAS
(Kramer y Akca, 1987).**

Fórmula de Smalian (1804).

a) volumen para una sección del árbol.

$$V_j = \left[\frac{\pi}{4} * \left(\frac{d_i + d_{i+1}}{2} \right)^2 * l_j \right]$$

b) volumen total del árbol.

$$V_{TOT} = \sum_{j=1}^n \left[\frac{\pi}{4} * \left(\frac{d_i + d_{i+1}}{2} \right)^2 * l_i \right]$$

c) volumen de la última sección.

$$V = \pi * r^2 * \left(\frac{1}{3} \right) * l$$

donde:

V_j = volumen de troza (m^3), V_{TOT} = volumen total (m^3), d_{i+1} = diámetro mínimo (m), d_{hi} = diámetro a media longitud de troza (m), \bar{d} = diámetro promedio (m), d_i = diámetro máximo (m), l = longitud (m), r = radio de la troza

4.3.4. Ecuaciones de volumen y funciones de ahusamiento ajustadas.

4.3.4.1. Ecuaciones que fueron utilizadas para estimar el volumen:

1. Ecuación de Spurr (1952).

$$V = \beta_0 + \beta_1 * D^2 H$$

2. Ecuación de Spurr en forma polinomial de segundo grado.

$$V = \beta_0 + \beta_1 * D^2 H + \beta_2 * (D^2 H)^2$$

3. Ecuación de Spurr polinomial de tercer grado.

$$V = \beta_0 + \beta_1 * D^2 H + \beta_2 * (D^2 H)^2 + \beta_3 * (D^2 H)^3$$

4. Ecuación de Naslund.

$$V = \beta_0 + \beta_1 * H + \beta_2 * D H + \beta_3 * D^2 H$$

5. Ecuación Australiana.

$$V = \beta_0 + \beta_1 * D^2 + \beta_2 * H + \beta_3 * D^2 H$$

6. Ecuación múltiple de tres parámetros.

$$V = \beta_0 + \beta_1 * D^2 H + \beta_2 * H + \beta_3 * D H^2$$

7. Ecuación de Schumacher y Hall.

$$LV(V) = LN(\beta_0) + \beta_1 * LN(D) + \beta_2 * LN(H)$$

$$V = \exp^{(\beta_0 + \beta_1 * (LD) + \beta_2 * (LH))}, V = \alpha D^{\beta_1} H^{\beta_2}$$

8. Ecuación de Spurr logarítmica.

$$LV(V) = LN(\beta_0) + \beta_1 * LN(D^2 H)$$

$$V = \exp^{(\beta_0 + \beta_1 * (LD^2 H))}, V = \alpha (D^2 H)^{\beta_1}$$

donde:

V = volumen en m³, D = diámetro a la altura del pecho (dap), diámetro normal o a 1.3 m, H = altura total, exp = exponencial, L = logaritmo, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = parámetros estadísticos

4.3.4.2. Funciones utilizadas para describir el perfil de los árboles:

1. Amidon (1984).

$$d = \beta_0 \frac{D(H-h)}{H-1.3} + \beta_1 \frac{(H^2 - h^2)(h-1.3)}{H^2}$$

2. Clutter (1980).

$$d = \beta_1 * D^{\beta_2} * H^{\beta_3} (H-h)^{\beta_4}$$

3. Kozak (1988).

$$\ln(d) = f(\ln(X_k), Z, \ln(Z), \exp^Z, \sqrt{Z}, \frac{D}{H})$$

4. Modificado de la forma variable de Newnham (1992).

$$\ln\left(\frac{d}{D}\right) = f\left(X, \ln(X), \frac{D}{H}, \frac{\frac{D}{H}}{\sqrt{h}}, \frac{H}{\sqrt{h}}\right)$$

5. Rustagi y Loveless (1991).

$$d = (\beta_0 + \beta_1 D) \left[\frac{H-h}{H_a} \right]^{\beta_2}$$

donde:

d = diámetro del fuste a la altura h (m), h = Altura del fuste sobre el tocón (m), $X = (H-h)/(H-1.30$ m) (sin dimensiones), $X_k = (1-Z^{-1/2})/(1-P^{-1/2})$ (sin dimensiones), $Z = h/H$ (sin dimensiones), $H_a = H-1.30$ m, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = parámetros estadísticos

4.3.4.3. Procedimiento estadístico.

En el ajuste de las ecuaciones de volumen y funciones de ahusamiento se utilizaron 110 árboles, proporcionando 2181 y 2338 pares de datos de diámetro y altura de *Pinus teocote* y *Pinus pseudostrobus* respectivamente, con los cuales se estimaron los parámetros estadísticos de los ocho modelos de volumen y de las cinco ecuaciones de ahusamiento. Para el ajuste, se utilizó la técnica de cuadrados mínimos en regresión lineal, intrínsecamente lineal, múltiple, polinomial y no lineal. Para las ecuaciones que necesitaron transformaciones, los parámetros estadísticos se calcularon con las transformaciones necesarias, pero el coeficiente de determinación (r^2) y el error estándar (EEE) se estimaron con los volúmenes regresados a sus dimensiones originales. En los

modelos de volumen para Spur logarítmico y Schumacher y Hall, en las funciones de ahusamiento para Newnham, Kozak y Clutter.

La prueba de bondad de ajuste se realizó para los modelos de volumen y ahusamiento, con los datos de diámetro-altura del 15 % de la muestra correspondientes a 20 árboles, que fueron seleccionados al azar de los 130 medidos, a través del sesgo promedio, r^2 y el EEE. Estos estadísticos se estimaron como sigue:

$$\text{Sesgo promedio} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n}$$

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

$$EEE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - p} \right]^{\frac{1}{2}}$$

donde: Y_i es el valor observado o la variable dependiente, \bar{Y} promedio de los datos observados y \hat{Y} es el valor predicho. Finalmente se graficaron los errores para observar su distribución, aleatoriedad y variancia común y tener una mayor certidumbre en la selección de los modelos. La determinación del mejor modelo resultó de la ponderación de los diferentes parámetros, los cuales se califican por orden de importancia y fueron los siguientes: r^2 , EEE, sesgo promedio, distribución de los errores en función de la altura y el diámetro, la normalidad de los errores para el 85 y 15 %, el número de los coeficientes

de las regresiones así como el valor de su probabilidad y finalmente la observación de las tablas resultantes de volumen. Para las funciones de ahusamiento, se utilizó principalmente el r^2 , EEE y el sesgo, otros parámetros como el número de variables, gráficas de la distribución del error en función de la altura para el 85 y 15 %, histogramas para determinar la normalidad de los errores y finalmente la graficación de los datos observados contra los predichos para diferentes categorías diamétricas.

Para comparar los volúmenes observados y predichos por las funciones de volumen y de ahusamiento, el volumen calculado por sección y árbol, fue determinado por el método de secciones absolutas para ser consistentes en la comparación.

CAPÍTULO V

AJUSTE DE MODELOS DE VOLUMEN Y FUNCIONES AHUSAMIENTO PARA *Pinus teocote* EN BOSQUES DE PINO DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL

FITTING VOLUME EQUATIONS AND TAPER FUNCTIONS TO THE SPECIES *Pinus teocote* IN PINE FORESTS OF THE EASTERN SIERRA MADRE

Juan Tapia¹ y José Návar²

¹ Estudiante de Maestría en Ciencias Forestales. Email, JOTAPIA@MASTER.CIC.UANL.MX

y ² Profesor investigador, Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Km. 145 Carretera Nacional Linares, N. L. 67700 México. Email; JNAVAR@CCR.DSI.UANL.MX

5.1. RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivos ajustar ocho modelos de volumen y cinco funciones de ahusamiento y comparar su bondad de ajuste, para la especie *Pinus teocote*

Schl. *et* Cham. del predio “Rancho el 18 y Las Anacuas”, situados en la Sierra Madre Oriental. Las mediciones de diámetro y altura a diferentes secciones del fuste se realizaron en árboles derribados en operaciones de manejo forestal. Para el ajuste de las funciones de volumen y ahusamiento se utilizaron 2181 pares de datos diámetro-altura correspondientes a 110 árboles y para la bondad de ajuste de 424 pares de datos de 20 árboles seleccionados al azar. Los modelos de volumen fueron ajustados con los datos de 110 árboles y su bondad probada con los 20 árboles de la muestra de los datos. Los modelos y funciones fueron ajustadas, por medio de la técnica de regresión lineal, intrínsecamente lineal, polinomial, múltiple. Las pruebas de bondad de ajuste consistieron en comparar los estadísticos: coeficiente de determinación, el error estándar y el sesgo, incluyendo la distribución, normalidad y variancia común de los errores. Los resultados mostraron que los modelos que predicen mejor el volumen y el perfil diamétrico fueron el de Schumacher y Hall y el de Newnham, respectivamente. Los modelos de volumen predicen mejor el volumen que las funciones de ahusamiento para 20 árboles utilizados en las pruebas de bondad de ajuste. Los modelos de volumen desarrollados para la misma especie en otros rodales de la Sierra Madre Oriental y Occidental no mostraron diferencias estadísticamente significativas con los modelos desarrollados en este reporte.

Palabras clave: *Pinus teocote* Schl. *et* Cham., modelos de volumen, funciones de ahusamiento, Sierra Madre Oriental.

ABSTRACT

This research had as objectives to fit eight volume equations and five taper functions and to compare the goodness of fit of these models to observed volumes and stem profiles of the species *Pinus teocote* Schl. et Cham. of the private property "El Rancho el 18 and Las Anacuas", located in the eastern Sierra Madre. Diameter at different stem sections were measured from fallen trees during harvesting operations. To fit the taper and volume functions, 1281 pairs of data of 110 trees were used. To test the goodness of fit, 424 pairs of data from 20 trees randomly selected were used. The model parameters were estimated by least square techniques in linear, non-linear, polynomial, and multiple regression techniques. Tests of goodness of fit consisted in comparing the statistics: coefficient of determination, standard error and skewness, including the error distribution, randomness and common variance. The results showed that the models of Schumacher and Hall and Newnham described better stem volumes and stem profiles of the studied species, respectively. The volume models described better volume of the 20 randomly selected trees than the taper functions. Volume models developed for the same species in other forest stands of the eastern and western Sierra Madre did not deviated from the model developed in this study.

Key Words: *Pinus teocote* Schl. et Cham., volume models, taper functions, eastern Sierra Madre.

5.2. INTRODUCCIÓN

La determinación de volumen y la distribución de productos forestales por medio de ecuaciones de volumen y funciones de ahusamiento, es una de las principales herramientas utilizadas por el manejador de bosques en la elaboración de planes de manejo e inventarios forestales. Estas tecnologías matemáticas se han utilizado desde hace varias décadas, mientras que en México estas herramientas han tardado en incorporarse al manejo forestal al nivel de la especie comercial.

Las ecuaciones volumen que se han ajustado son bastantes, Jiménez (1988, 1990) reporta la utilización de 50 de éstas, en la elaboración de tablas de volumen para *Pinus pseudostrobus* y *Pinus teocote* en una fracción de la Sierra Madre Oriental y la aplicación de un modelo matemático para la elaboración de tablas y tarifas de volumen con *Pinus pseudostrobus*. En Durango, Márquez *et al.* (1995) ajusta ecuaciones de volumen para el género *Pinus* y Herrera (1995) elabora tablas de volumen y tarifas para *Pinus hartwegii* en el Cerro Potosí, Galeana, Nuevo León. También se han ajustado modelos de volumen para *Pinus cembroides* en la Sierra de Arteaga, Coahuila (Navarro *et al.*, 1997). Para *Pinus rudis* en el Cerro Potosí Baca *et al.* (1997) realizaron tablas de regeneración utilizando modelos matemáticos, y más recientemente para *Pinus teocote* en la sierra Madre Occidental (Contreras, 1997) del estado de Durango.

Las funciones de ahusamiento también se han ajustado a varias especies de coníferas del país. Niembro (1992) utiliza tres funciones para determinar la forma externa de la especie

de *Pinus hartwegii* del Noreste del estado de Nuevo León. Torres *et al.* (1993) prueba varios modelos para ocho especies forestales del estado de México. Jiménez (1994) también utiliza tres funciones para determinar la forma externa de *Pinus hartwegii* en el Noreste de México. Rentería (1995) estima el volumen comercial de *Pinus cooperi* mediante modelos de ahusamiento en el estado de Durango. De los Santos (1995) ajusta el modelo compatible de volumen-ahusamiento de Bailey para *Pinus cooperi* y *Pinus patula* y Návar *et al.* (1997) para *Pinus hartwegii*. Zepeda *et al.* (1997) prueba varias funciones para las especies de *Pinus arizonica*, *Pinus durangensis* y *Pinus engelmani* en la Sierra Madre Occidental del estado de Chihuahua.

Para la especie de *Pinus teocote* se han probado modelos de volumen para la Sierra Madre Oriental (Jiménez, 1988) y en Durango para la Sierra Madre Occidental (Contreras, 1997). Esta especie por poseer una plasticidad ecológica muy amplia y por su importancia económica merece una mayor atención local. Para contar con información confiable para el desarrollo de los planes de manejo sustentables en de los bosques del Noreste de México.

Los objetivos de este trabajo fueron: 1) ajustar y probar la bondad de ajuste de ocho modelos de volumen y cinco funciones de ahusamiento y 2) observar las diferencias con *Pinus teocote* de otros rodales de la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental.

5.3. MATERIALES Y MÉTODOS

5.3.1. Descripción general del área de estudio.

5.3.1.1. Localización.

El estudio se realizó en el predio particular “El 18 y Las Anacuas”, el cual se localizan en el sistema montañoso llamado Sierra Madre Oriental y se encuentra entre las coordenadas 99° 43’ y 99° 49’ de longitud Oeste y 24° 41’ y 24° 50’ de latitud Norte. El predio se encuentra a 22.5 km. de Linares, Nuevo León. Las alturas sobre el nivel del mar fluctúan entre 700 y 2,200 m. Las principales elevaciones de la zona son: “Sierra El Gabacho” con 2,200 msnm, con topografía muy accidentada, pendientes que fluctúan entre el 35 y 70 % y algunas pequeñas áreas planas de uso pecuario.

5.3.1.2. Clima.

De acuerdo al sistema de clasificación de Köppen modificado por Enriqueta García (1987), el predio esta comprendido dentro del grupo de climas templados C, sub-grupo de climas semicalidos (A) C (Wo) y tipos semicalidos sub-húmedos con lluvias en verano con un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2 mm. La precipitación media anual es de 800 - 1000 mm y una frecuencia alta de granizadas. La temperatura media anual es de 20° C a 22° C.

5.3.1.3. Geología.

La geología del predio consiste en lutitas y calizas del cretácico superior (Ks) y cretácico inferior (Ki). Las rocas son del tipo sedimentario y vulcanoso sedimentario. Los tipos de suelos encontrados en el predio son litosol y rendzina, como suelo secundario encontrando en menor porcentaje el regosol calcarico de textura media.

5.3.1.4. Estado forestal.

Por su ubicación geográfica, esta zona presenta diversas condiciones de vegetación: matorral sub-montano, chaparral, masas puras de encino y bosque de pino encino. La vegetación arbolada aprovechable esta compuesta por masas arboladas de bosque de pino encino y masas puras de encino distribuidas en el predio, las especies aprovechables son las siguientes: *Pinus teocote*, *Pinus pseudostrobus*, *Quercus canbyi*, *Quercus prinopsis* y *Quercus cupreata*.

5.3.1.5. Descripción de la especie.

Se le conoce comúnmente como pino chino u ocote y es un árbol por lo común de 10 a 20 m, pero varía entre los 8 y 25 m; de copa redondeada e irregular, ramas desigualmente distribuidas con follaje denso y erguido; corteza de color grisáceo por fuera y algo naranja o amarillento por dentro, delgada al principio y después áspera y rugosa dividida en grandes placas longitudinales. El tronco emite ocasionalmente retoños, asemejándose

en esto al *Pinus leiophylla*. La madera es fuerte y de buena calidad y se usa para construcciones, como combustible y productor de trementina (Martínez, 1948). Su distribución es muy amplia y generalmente se encuentra en alturas que varían de 1400 a 3000 msnm desde 15° 00' hasta 25° 10' de altitud Norte y 91° 30' a 108° 00' de longitud Oeste. En México desde el Sur de Chihuahua a lo largo de la Sierra Madre Occidental hasta Chiapas y en la Sierra Madre Oriental desde el Sur de Coahuila hasta Hidalgo y Puebla.

5.3.2. Metodología.

Para cumplir los objetivos de esta investigación se midieron los diámetros a diferentes secciones de la altura de árboles derribados en operaciones de extracción por sus propietarios y personal técnico de la Facultad de Ciencias Forestales. El número de árboles muestreados fue de 130 porque Tapia y Nívar (1997) estimaron que un mínimo de 100 a 140 árboles sería necesario para el ajuste de los modelos de volumen y ecuaciones de ahusamiento. La variable diámetro fue medida a la base del fuste, a 0.50 m, a 1.30 m, a 1.50 y desde aquí hasta la parte distal a cada 0.50 m. Otras variables medidas fueron: edad, altura del tocón, grosor de albura, grosor de corteza y altura total. El volumen total se calculó a través de la fórmula descrita por Smalian en 1824.

5.3.2.1. Ecuaciones de volumen y Funciones de ahusamiento ajustados.

Los modelos de volumen ajustados fueron los siguientes:

1. Ecuación de Spurr (1952).

$$V = \beta_0 + \beta_1 * D^2 H$$

2. Ecuación de Spurr en forma polinomial de segundo grado.

$$V = \beta_0 + \beta_1 * D^2 H + \beta_2 * (D^2 H)^2$$

3. Ecuación de Spurr en forma polinomial de tercer grado.

$$V = \beta_0 + \beta_1 * D^2 H + \beta_2 * (D^2 H)^2 + \beta_3 * (D^2 H)^3$$

4. Ecuación de Naslund.

$$V = \beta_0 + \beta_1 * H + \beta_2 * D H + \beta_3 * D^2 H$$

5. Ecuación Australiana.

$$V = \beta_0 + \beta_1 * D^2 + \beta_2 * H + \beta_3 * D^2 H$$

6. Ecuación múltiple de tres parámetros.

$$V = \beta_0 + \beta_1 * D^2 H + \beta_2 * H + \beta_3 * D H^2$$

7. Ecuación de Schumacher y Hall (1933).

$$V = \text{Exp}((\beta_0) + \beta_1 * \text{LN}(D) + \beta_2 * \text{LN}(H))$$

8. Ecuación de Spurr logarítmica.

$$V = \text{Exp}((\beta_0) + \beta_1 * \text{LN}(D^2 H))$$

donde:

V = volumen (m³), D = diámetro a la altura del pecho (dap), diámetro normal o a 1.3 m, H = altura total (m), LN = logaritmo natural, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = parámetros estadísticos

Los modelos para describir el perfil diamétrico de los árboles fueron los siguientes:

1. Amidon (1984).

$$d = \beta_0 \frac{D(H-h)}{H-1.3} + \beta_1 \frac{(H^2 - h^2)(h-1.3)}{H^2}$$

2. Clutter (1980).

$$d = \beta_1 * D^{\beta_2} * H^{\beta_3} (H-h)^{\beta_4}$$

3. Kozak (1988).

$$\ln(d) = f(\ln(X_k), Z, \ln(Z), \exp^Z, \sqrt{Z}, \frac{D}{H})$$

4. Modificado de la forma variable de Newnham (1992).

$$\ln\left(\frac{d}{D}\right) = f(X, \ln(X), \frac{D}{H}, \frac{D}{\sqrt{h}}, \frac{H}{\sqrt{h}})$$

5. Rustagi y Loveless (1991).

$$d = (\beta_0 + \beta_1 D) \left[\frac{H-h}{H_a} \right]^{\beta_2}$$

donde:

d = diámetro del fuste a la altura h (m), h = Altura del fuste sobre el tocón (m), $X = (H-h)/(H-1.30$ m) (sin dimensiones), $X_k = (1-Z^{-1/2})/(1-P^{-1/2})$ (sin dimensiones), $Z = h/H$ (sin dimensiones), $H_a = H-1.30$ m, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = parámetros estadísticos

5.3.3. Procedimiento estadístico

En el ajuste de las ecuaciones de volumen y funciones de ahusamiento se utilizaron 110 árboles de *Pinus teocote* y 2181 datos de diámetro y altura, con los cuales se estimaron

los parámetros estadísticos de los ocho modelos de volumen y de las cinco ecuaciones de ahusamiento. Para el ajuste se utilizó la técnica de cuadrados mínimos en regresión lineal, intrínsecamente lineal, múltiple, polinomial y no lineal. Para las ecuaciones que necesitaron transformaciones, los parámetros estadísticos se calcularon con las transformaciones necesarias, pero el coeficiente de determinación (r^2) y el error estándar (EEE) se estimaron con los volúmenes y los diámetros regresados a sus dimensiones originales.

La prueba de bondad de ajuste se realizó para los modelos de volumen y ahusamiento, con los datos de diámetro-altura del 15 % de la muestra correspondientes a 20 árboles, que fueron seleccionados al azar de los 130 medidos, a través del sesgo promedio, r^2 y el EEE. Estos estadísticos se estimaron como sigue:

$$\text{Sesgo promedio} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \tilde{Y}_i)}{n}$$

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \tilde{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

$$\text{EEE} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \tilde{Y}_i)^2}{n - p} \right]^{\frac{1}{2}}$$

donde: Y_i es el valor observado o la variable dependiente, \bar{Y} promedio de los datos observados y \tilde{Y} es el valor predicho. Finalmente se graficaron los errores para observar su distribución, aleatoriedad y variancia común y tener una mayor certidumbre en la selección de los modelos. La determinación del mejor modelo resultó de la ponderación

de los diferentes parámetros, los cuales se califican por orden de importancia y fueron los siguientes: r^2 , EEE, sesgo promedio, distribución de los errores en función de la altura y el diámetro del 85 y 15 %, la normalidad de los errores también para el 85 y 15 %, el número de los coeficientes de las regresiones así como el valor de su probabilidad y finalmente la observación de las tablas de volumen resultantes. Para las funciones de ahusamiento, se utilizó principalmente el r^2 , EEE y el sesgo, otros parámetros como el número de variables, gráficas de la distribución del error en función de la altura para el 85 y 15 %, histogramas para determinar la normalidad de los errores y finalmente la graficación de los datos observados contra los predichos para diferentes categorías diamétricas.

Para comparar los volúmenes observados y predichos por las funciones de volumen y de ahusamiento, el volumen calculado por sección y árbol a través del método de secciones absolutas para ser consistentes en la comparación.

5.3.3.1. Características de los árboles muestra.

Los estadísticos de los parámetros dasométricos de los árboles, separados en 85 % y 15 % respectivamente se presentan en el Cuadro 3 y Cuadro 4. Donde se observa que no existen diferencias significativas en sus estadísticas de sus principales atributos dasométricos.

CUADRO 3.

ESTADÍSTICAS DE LOS ÁRBOLES DE *Pinus teocote* UTILIZADOS EN EL AJUSTE DE PARÁMETROS .

Número de Árboles	ESTADÍSTICOS	DIÁMETRO (m)	ALTURA (m)	EDAD (años)	VOLUMEN (m ³)
110	Promedio	0.248	17.053	54.136	0.473
Datos 85%	Des. Estándar	0.068	2.720	13.019	0.292
2181	Sesgo	0.451	-0.152	-0.034	0.849

CUADRO 4.

ESTADÍSTICAS DE LOS ÁRBOLES DE *Pinus pseudostrobus* UTILIZADOS EN LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE.

Número de Árboles	ESTADÍSTICOS	DIÁMETRO (m)	ALTURA (m)	EDAD (años)	VOLUMEN (m ³)
20	Promedio	0.268	18.435	56.200	0.568
Datos 15%	Des. Estándar	0.061	2.570	9.774	0.287
424	Sesgo	-0.156	-0.110	-0.503	0.609

5.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los parámetros generados para cada uno de los modelos de volumen se presentan en el Cuadro 5.

CUADRO 5.

PARÁMETROS DE LOS MODELOS DE VOLUMEN PARA LA ESPECIE *Pinus teocote* DE UNA FRACCIÓN DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN.

Número	M O D E L O S
1	$V=0.033415+0.370801*D^2H$
2	$V=-0.019597+0.464355*D^2H-0.029014*(D^2H)^2$
3	$V=0.007783+0.390594*D^2H+0.020041*(D^2H)^2-0.008867*(D^2H)^3$
4	$V=0.055580-0.019208*H+0.138061*DH+0.122902*D^2H$
5	$V=-0.077589+1.542530*D^2+0.006597*H+0.283258*D^2H$
6	$V=0.135616+0.302189*D^2H-0.009802*H+0.001885*DH^2$
7	$V=Exp((-0.600417)+2.008682*LN(D)+0.894068*LN(H))$
8	$V=Exp((-0.912448)+0.984238*LN(D^2H))$

De los modelos utilizados los que presentaron un mejor ajuste fueron: 2, 3 y 4 con los r^2 más altos y los EEE más bajos. El r^2 y EEE entre los modelos no muestran diferencias notorias (Cuadro 6). En la prueba de bondad de ajuste los mejores modelos fueron 1, 7 y 8, a diferencia de los observados en la prueba de ajuste discutida anteriormente. El menor sesgo lo presentan los modelos 2, 3, y 4 para el 85 % y los modelos 1, 7, y 8, para el 15 %. Estos números son consistentes para el 85 y el 15 % de la información.

Los errores se distribuyeron más aleatoriamente y más normalmente en contra del diámetro y altura en los modelos del 1 al 6 y ligeramente dispersos en los modelos 7 y 8. Las tablas de volumen generadas, las cuales son la herramienta práctica del resultado de estas investigaciones, para los modelos 2, 3, 4, 5 y 6 presentaron valores negativos y en ocasiones muy altos. Considerando la ponderación de los parámetros, los estadísticos de ajuste y bondad de ajuste, características de los errores y las tablas de volumen generadas se concluye que el modelo 7, de Schumacher y Hall, resulta en el modelo más adecuado para predecir los volúmenes fustales para la especie estudiada. Este modelo ha sido también recomendado por Contreras (1997) para estimar además volúmenes rolo total árbol, volumen fuste y ramas, volumen fuste y tocón, con y sin corteza para *Pinus teocote*. Este es también el modelo utilizado por el Inventario Nacional Forestal en sus actividades de evaluación de los recursos forestales de la Nación (SARH, 1994).

CUADRO 6.

ESTADÍSTICOS DEL COEFICIENTE DE REGRESIÓN, ERROR ESTÁNDAR Y NÚMERO DE COEFICIENTES PARA LOS OCHO MODELOS DE VOLUMEN AJUSTADOS A *Pinus teocote* EN UNA FRACCIÓN DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN.

Modelo Volumen Fustal	85 % muestra			15 % muestra	
	R ²	EEE	Nº de β	R ²	EEE
1 $V=\beta_0+\beta_1*D^2H$	0.9622	0.05680	2	0.9505	0.05037
2 $V=\beta_0+\beta_1*D^2H+\beta_2*(D^2H)^2$	0.9676	0.05263	2	0.9651	0.05674
3 $V=\beta_0+\beta_1*D^2H+\beta_2*(D^2H)^2+\beta_3*(D^2H)^3$	0.9679	0.05236	1	0.9668	0.05699
4 $V=\beta_0+\beta_1*H+\beta_2*DH+\beta_3*D^2H$	0.9677	0.05248	3	0.9630	0.06022
5 $V=\beta_0+\beta_1*D^2+\beta_2*H+\beta_3*D^2H$	0.9625	0.05659	1	0.9685	0.05553
6 $V=\beta_0+\beta_1*D^2H+\beta_2*H+\beta_3*DH^2$	0.9626	0.05653	1	0.9701	0.05410
7 $V=\text{Exp}((\beta_0)+\beta_1*\text{LN}(D)+\beta_2*\text{LN}(H))$	0.9585	0.06001	3	0.9720	0.05077
8 $V=\text{Exp}((\beta_0)+\beta_1*\text{LN}(D^2H))$	0.9598	0.06921	2	0.9245	0.08109

Nº β=parámetros con valores de probabilidad estadísticamente significativa ($P>t<0.05$).

Funciones de ahusamiento. Las funciones que se ajustaron mejor los perfiles fustales fueron: 1) Newnham y 2) Rustagi y Loveless porque presentaron los valores de r^2 más altos, los errores estándar más bajos y los sesgos menores (Cuadro 7). Las funciones que presentaron mejor bondad de ajuste fueron: 1) Newnham y 2) Amidon, las cuales presentaron valores de r^2 altos, valores del error estándar bajos y ambos con sesgos diferentes. Es decir, el modelo de Amidon subestima y el modelo de Newnham sobrestima el diámetro de los árboles. Este sesgo no posee un valor absoluto muy grande, y se encuentra entre 0.15 y 0.036 cm como promedio para los modelos, respectivamente (Cuadro 8). A este respecto, la ecuación de Rustagi y Loveless presentó un menor valor del sesgo pero un valor menor del r^2 y un valor mayor del error estándar.

CUADRO 7.

ESTADÍSTICOS RESULTANTES DEL AJUSTE DE CINCO FUNCIONES DE AHUSAMIENTO PARA 110 ÁRBOLES DE LA ESPECIE *Pinus teocote* DE UNA FRACCIÓN DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL DE NUEVO LEÓN.

MODELOS	VARIABLES	SESGO PROM.	R ²	EEE
Amidon	02	0.00139969	0.942842	0.022720
Clutter	04	0.00274428	0.939763	0.023329
Kozak	11	0.00278938	0.937301	0.023180
Newnham	16	-0.00099421	0.973540	0.015505
Rustagi y Loveless	03	0.00000403	0.944593	0.022374

CUADRO 8.

ESTADÍSTICOS RESULTANTES DE LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE CINCO FUNCIONES DE AHUSAMIENTO A 20 ÁRBOLES DE LA ESPECIE *Pinus teocote* DE UNA FRACCIÓN DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL DE NUEVO LEÓN.

MODELOS	VARIABLES	SESGO PROM.	R ²	EEE
Amidon	02	0.00156957	0.976218	0.014756
Clutter	04	0.00424889	0.942817	0.022865
Kozak	11	0.00232996	0.944366	0.022345
Newnham	16	-0.00036189	0.978027	0.014391
Rustagi y Loveless	03	0.00096236	0.975831	0.014858

Los modelos de Newnham y de Kozak predicen las curvas sigmoidales de los perfiles diamétricos adecuadamente, mientras que el resto de los modelos simulan curvas cuadráticas sencillas (FIGURA 6). Los árboles con diámetros mayores que 40 cm presentan un ahusamiento mayor en la base del fuste y ninguno de los dos primeros modelos simula correctamente este comportamiento y generalmente subestiman el diámetro a la base del tocón. Los diámetros distales de los fustes predichos por el modelo de Newnham se aproximan al 0 absoluto pero no convergen a este valor y generalmente sobrestiman el diámetro en este punto. Los errores de todos los modelos se distribuyeron

aleatoria y normalmente, con las máximas frecuencias en el 0 y mostraron variancia común. El modelo de Newnham, consistente con las observaciones de Contreras (1997) para la misma especie pero en la Sierra Madre Occidental, se ajustó mejor a los perfiles diamétricos de la especie *Pinus teocote* de la Sierra Madre Oriental. A este respecto, no se han realizado otros trabajos para ajustar ahusamiento a esa especie en otros rodales del estado de Nuevo León.

Los volúmenes fustales observados de los 20 árboles utilizados en la prueba de bondad de ajuste, y estimados por las ecuaciones de ahusamiento y por las ecuaciones de volumen se presentan en el Cuadro 9.

Los modelos de ahusamiento no predicen tan precisamente los volúmenes observados de los 20 árboles, como la hacen los modelos de volumen, en contraste con lo observado por Navar et al. (1997) para *Pinus hartwegii*. El modelo de Amidon es el que más se aproxima, mientras que el modelo de Kozak el que menos se aproxima a los volúmenes totales observados. El modelo de Newnham sobrestima el volumen fustal total por 0.10 m³ y presenta una variación mayor en los volúmenes estimados que la mostrada por los árboles muestra. Los modelos de volumen, en especial el de Schumacher y Hall, predicen más adecuadamente los volúmenes fustales totales, promedio y sus variaciones.

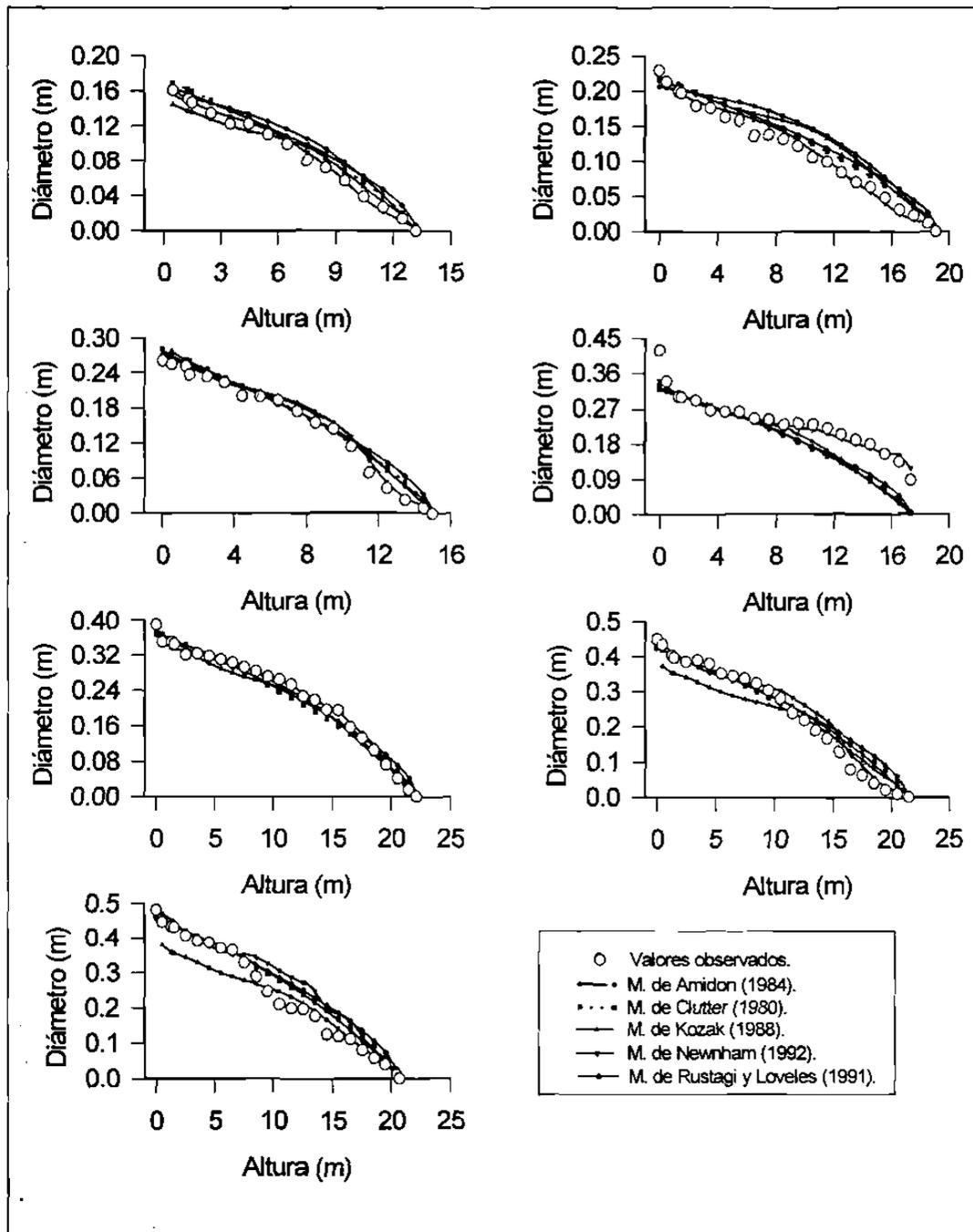


Figura 6. AJUSTE DE CINCO MODELOS DE AHUSAMIENTO A LOS PERFILES FUSTALES DE ÁRBOLES DE DIFERENTES CATEGORÍAS DIÁMETRICAS DE *Pinus teocote*.

CUADRO 9.

COMPARACIÓN DEL VOLUMEN FUSTAL DE 20 ÁRBOLES ESTIMADOS POR ECUACIONES DE VOLUMEN Y AHUSAMIENTO.

Nº	H _(m)	D _(m)	VO	VA1	VA2	VA3	VA4	VA5	M1	M6	M7	M8
1	18.10	0.256	0.466	0.479	0.463	0.485	0.463	0.468	0.473	0.474	0.473	0.475
2	17.40	0.202	0.387	0.304	0.284	0.283	0.299	0.286	0.296	0.294	0.283	0.286
3	13.00	0.250	0.249	0.315	0.335	0.317	0.320	0.334	0.334	0.333	0.335	0.327
4	16.10	0.270	0.463	0.458	0.465	0.466	0.480	0.468	0.468	0.464	0.474	0.470
5	16.85	0.280	0.504	0.515	0.518	0.520	0.544	0.523	0.523	0.519	0.531	0.528
6	18.00	0.157	0.166	0.210	0.180	0.153	0.151	0.182	0.197	0.189	0.176	0.180
7	20.40	0.308	0.723	0.764	0.731	0.737	0.759	0.748	0.750	0.762	0.763	0.769
8	16.60	0.183	0.240	0.224	0.214	0.197	0.213	0.215	0.239	0.235	0.223	0.225
9	15.45	0.204	0.262	0.266	0.262	0.253	0.253	0.262	0.271	0.270	0.260	0.259
10	20.15	0.319	0.816	0.800	0.774	0.759	0.814	0.792	0.793	0.801	0.810	0.814
11	22.80	0.193	0.347	0.409	0.327	0.342	0.291	0.335	0.348	0.357	0.329	0.341
12	16.50	0.348	0.771	0.745	0.773	0.661	0.863	0.783	0.774	0.756	0.807	0.793
13	21.50	0.310	0.722	0.823	0.773	0.787	0.757	0.795	0.799	0.819	0.810	0.820
14	19.40	0.280	0.613	0.609	0.583	0.610	0.617	0.593	0.597	0.603	0.602	0.606
15	21.30	0.365	1.133	1.083	1.050	0.914	1.188	1.084	1.085	1.096	1.116	1.120
16	21.40	0.353	1.140	1.027	0.989	0.896	1.115	1.020	1.022	1.036	1.047	1.054
17	18.50	0.212	0.353	0.356	0.328	0.339	0.312	0.332	0.341	0.342	0.330	0.334
18	17.70	0.247	0.425	0.438	0.424	0.443	0.435	0.428	0.433	0.434	0.431	0.433
19	16.95	0.300	0.668	0.587	0.594	0.579	0.637	0.601	0.599	0.592	0.613	0.608
20	21.60	0.335	0.920	0.947	0.901	0.863	0.958	0.928	0.932	0.951	0.951	0.959
Total			11.37	11.36	10.97	10.61	11.47	11.18	11.28	11.33	11.37	11.4
Promedio			0.568	0.568	0.548	0.530	0.573	0.559	0.564	0.566	0.568	0.570
Desviación Estándar			0.287	0.270	0.264	0.240	0.305	0.274	0.270	0.275	0.285	0.286

VO = Volumen observado, VA1 = Amidon, VA2 = Clutter, VA 3 = Kozak, VA4 = Newnham, VA5 = Rustagi y Loveless, M1 = Spurr, M6 = Múltiple de tres parámetros, M7 = Schumacher y Hall, M8 = Spurr logarítmica

5.4.1. Comparación entre ecuaciones de volumen y ahusamiento.

Contreras (1997) reporta para la especie *Pinus teocote* de la Sierra Madre Occidental del estado de Durango que el modelo que mejor se ajusta a los volúmenes fustales, fuste+tocon, fuste+ramas y fuste+tocon+ramas con y sin corteza fue el de Schumacher y Hall (1933), con la siguiente ecuación: $V = \exp(-0.479389 + 2.00804 * (LND) + 0.858299 * (LNH))$ con $r^2 = 0.97$ y $EEE = 0.1057$. El modelo de Schumacher y Hall reportado en este estudio fue el siguiente: $V = \text{Exp}(0.600417 + 2.008682 * (LND) + 0.894068 * (LNH))$, con un

$r^2=0.95$ y un $EEE=0.06001$. Los modelos no presentan diferencias estadísticamente significativas en su intercepta ($P F= 0.55$) ni tampoco en sus pendientes ($P F=0.647$)(Figura 7).

La ecuación de Spurr ha sido también reportada para *Pinus teocote* en la sierra Madre Occidental de Durango por Contreras (1997) como: $V=0.0501+0.3566*D^2H$ ($r^2=0.97$ y $EEE=0.106$). Mientras que Jiménez (1988) determina que el mejor modelo para la especie de *Pinus teocote*, para otras localidades de la Sierra Madre Oriental, fue el de Spurr, con la siguiente ecuación: $V=0.008752+0.39*D^2H$ ($r^2=0.99$, $EEE=0.08788$). El modelo ajustado de Spurr de esta investigación fue la siguiente: $V=0.033415+0.370801 D^2H$ ($r^2=0.9626$, $EEE=0.05680$). El análisis de covarianza no mostró diferencias estadísticamente significativas entre las interceptas ($P F=0.43$) ni tampoco entre las pendientes ($P F =0.567$), así como en sus parámetros y errores estándar. Las similitudes entre estos últimos modelos se pueden observar en la Figura 7. La comparación gráfica entre las ecuaciones de este trabajo no presentan diferencias significativas, tal como lo podemos ver en la Figura 8.

Los perfiles diámetros de los árboles muestreados en esta fracción de la Sierra Madre Oriental, trabajados por el modelo de Newnham de 16 parámetros, tienden a mostrar un menor ahusamiento en la base del fuste y una mayor cilindricidad hasta un metro antes de la porción distal del fuste en comparación con los perfiles observados por Contreras (1997) para la misma especie localizada en la Sierra Madre Occidental por el modelo de Newnham de 11 parámetros (Figura 9). Esto puede posiblemente explicarse por la menor

competencia a que se encuentran sometidos los árboles estudiados para este reporte de investigación. A este respecto, Larson (1963) demostró que las diferencias del perfil diamétrico se deben parcialmente al tamaño de la copa viva que se distribuye en el fuste y el tamaño de las ramas.

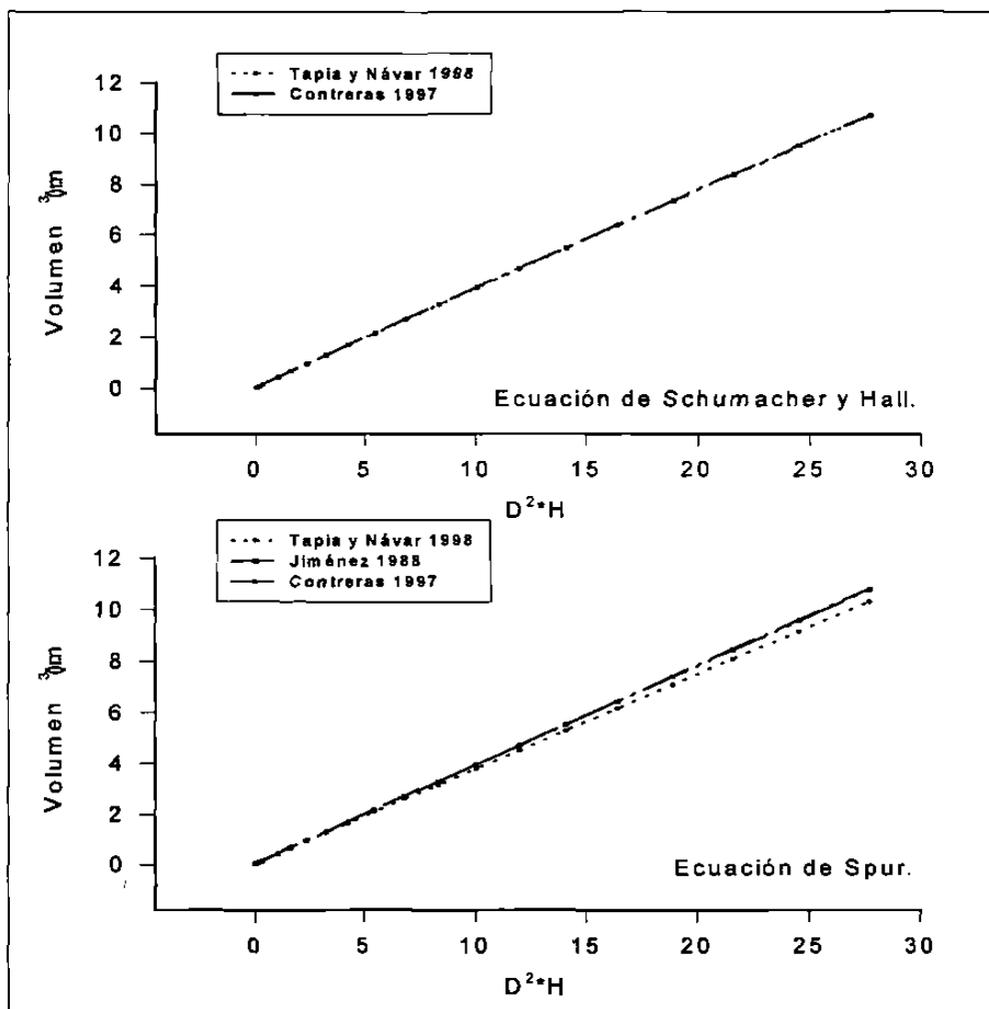


Figura 7. COMPARACIÓN DE ESTIMACIÓN DE VOLUMEN PARA *Pinus teocote* DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL Y SIERRA MADRE OCCIDENTAL.

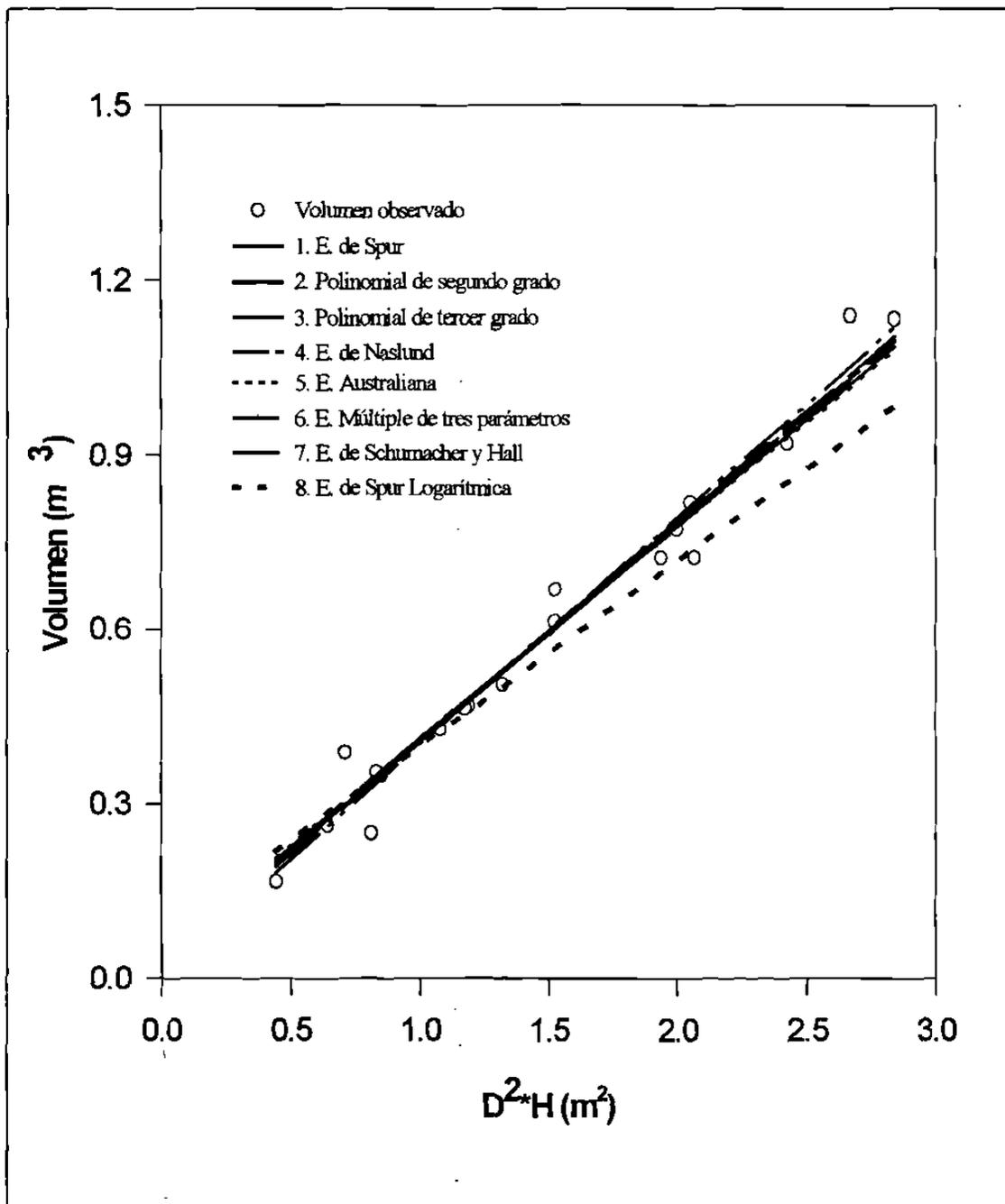


Figura 8. COMPARACIÓN GRÁFICA DE LOS VOLÚMENES ESTIMADOS CON LAS OCHO ECUACIONES DE VOLUMEN AJUSTADAS PARA *Pinus teocote*.

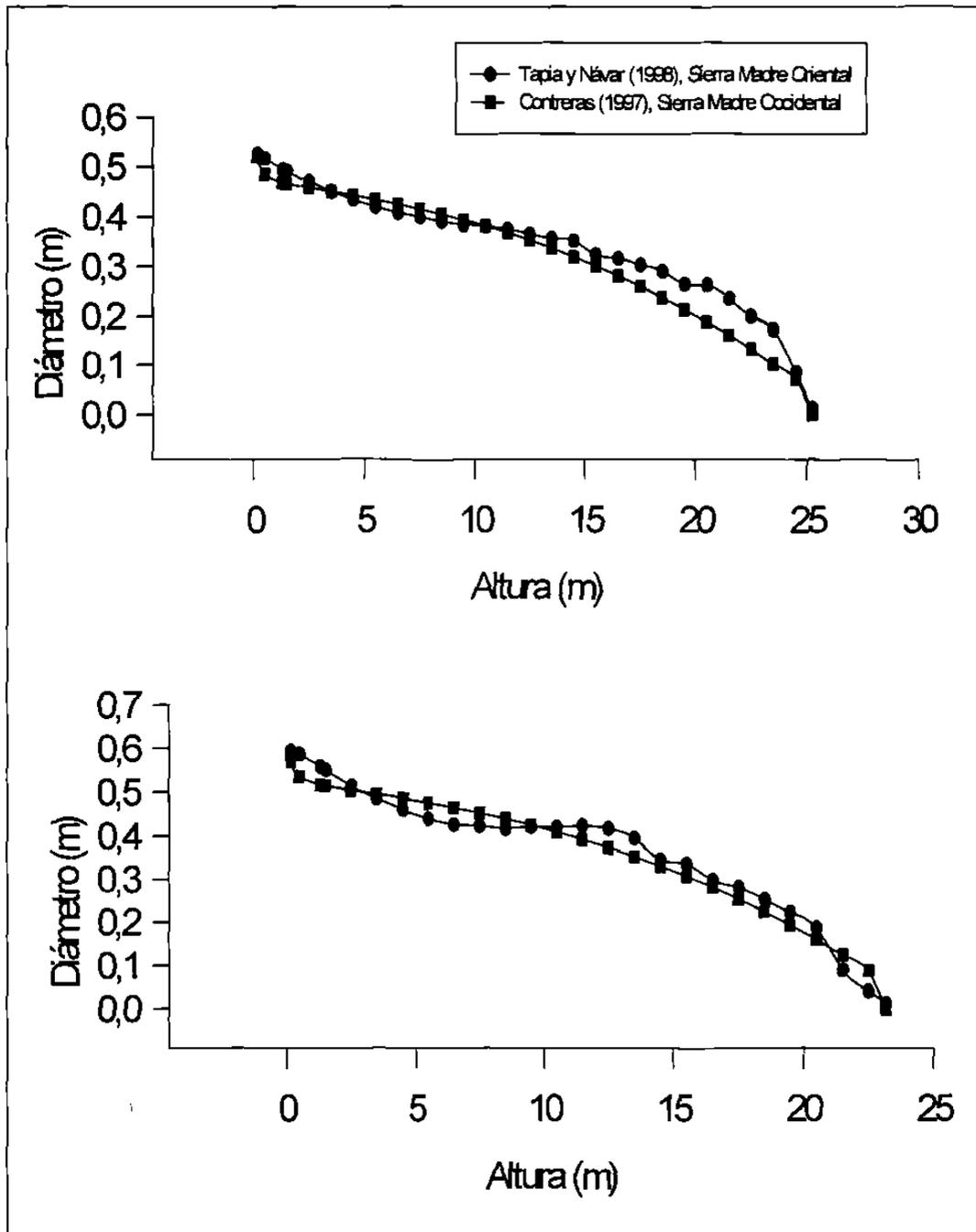


Figura 9. CURVAS DE LA ECUACIÓN DE NEWNHAM REPORTADA POR CONTRERAS (1997), EN LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL COMPARADA CON TAPIA Y NÁVAR (1998), PARA LA SIERRA MADRE ORIENTAL.

5.5. CONCLUSIONES

Se ajustaron y probaron por bondad de ajuste 8 ecuaciones de volumen y 5 funciones de ahusamiento a 110 y 20 árboles de la especie *Pinus teocote* localizada en la Sierra Madre Oriental. Los modelos que recomendados para estimar volúmenes fustales totales y comerciales para la especie estudiada y que pueden ser utilizados para el Norte de México son el de Scumacher y Hall principalmente y después el de Spurr. El primero presentó parámetros similares a ecuaciones de volúmenes ajustadas para bosques de la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental. El segundo modelo también presenta parámetros similares, pero subestima ligeramente el volumen fustal total. La ecuación de ahusamiento de Newnham describe los perfiles con menor cambio de diámetro en la base del fuste, mayor cilindridad hasta un metro de la parte distal del fuste y otro cambio drástico en diámetro en esta parte final del fuste.

5.6. RECONOCIMIENTOS

Los autores de este reporte de investigación desean hacer patente su agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por los apoyos otorgados a través del proyecto de investigación 2452P N para la realización de este trabajo, al Técnico Forestal Roque Felix Cervantes Soto, a los alumnos de cuarto semestre de licenciatura Miguel Angel Aguilar Charles y Francisco Javier Sánchez Ortiz por la ayuda en el derribo y la toma de datos necesarios para esta investigación.

5.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amidon, E. L. 1984. A general taper functional form to predic bole volume for five mixed conifer especies in California. For. Sci. 30:166-171.
- Baca, H., S. Valenzuela, L. M. Torres y E. H. Comejo. 1997. Tabla de volúmenes para regeneración de *Pinus rudis* en el Cerro Potosí. III Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Hacia nuevos paradigmas. Linares, Nuevo León. 122 p.
- Clutter, J. L. 1980. Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. For. Sci. 26: 117-120.
- Contreras-Aviña, J. C. 1997. Ecuaciones de volumen y ahusamiento para *Pinus durangensis* Mart. Y *Pinus teocote* Schl. et Cham. Del Ejido Vencedores, San Dimas, Durango. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestal. U. A. N. L. 78 p.
- De los Santos-Pozadas, H. M., J. R. Valdez-Lazalde y M. Rodriguez-Aguilar. 1995. Uso de un modelo compatible volumen-ahusamiento de Bailey en dos especies mexicanas de pinos. II Congreso de Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Desarrollo sustentable redifiniendo el papel de los recursos forestales. Montesillo, México. 91 p.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª Ed. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México 246 p.

- Herrera-Moncivais, Verónica. 1995. Elaboración de una tabla y tarifa de volumen para *Pinus hartwegii* Lindl en el Cerro Potosí, Galeana, Nuevo León. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León. 51 p.
- Jiménez Pérez, J. 1988. Elaboración de tablas y tarifas de volumen para fuste limpio de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus teocote* Schl et Cham. en una fracción de la sierra Madre Oriental en el Noreste de México. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León. 99 p.
- Jiménez Pérez, J. 1990. Aplicación de un modelo matemático para elaborar tablas y tarifas de volumen. Un ejemplo con *Pinus pseudostrobus*. Rep. Científico No. 16 Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León. 48 p.
- Jiménez, J., O. Aguirre, M. Niembro, J. Nívar y A. Domínguez. 1994. Determinación de la forma externa de *Pinus hartwegii* Lindl en el Noreste de México. Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. España. 3: 175-182.
- Kozak, A. 1988. A variable-exponent taper equation. Can. J. For. Res. 18:1363-1368.
- Larson, P. R. 1963. Stem form development of forest trees. For. Sci Monograf. 5.
- Márquez-Linares, M. A., J. Soto-Rodríguez y J. C. Contreras-Aviña. 1995. Tablas de volúmenes para árboles del género *Pinus* en el Ejido Vencedores San Dimas, Durango. II Congreso de Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Desarrollo sustentable redifiniendo el papel de los recursos forestales. Montesillo, México. 91 p.
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. 2ª ed. Editorial Botas. México. 61 p.

- Návar J., P. A. Dominguez-Calleros, J. C. Contreras-Aviña y C. Estrada M. 1997. Ajuste de siete modelos de ahusamiento a los perfiles fustales de *Pinus hartwegii* Lindl. del Nordeste de México. *Agrociencia* 31: 73-81.
- Navarro, M. S. A., S. Valencia. L. M. Torres y E. H. Cornejo. 1997. Elaboración y validación de una tabla de volúmenes para *Pinus cembroides* en la Sierra Arteaga, Coahuila. III Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Hacia nuevos paradigmas. Linares, Nuevo León. 122 p.
- Newnham, R.M. 1992. Variable-form taper functions for four Alberta tree species. *Can. J. For. Res.* 22: 210-223.
- Niembro-Barroso, M. 1992. Estimación de la forma externa del árbol mediante tres funciones de ahusamiento (Un ejemplo con *Pinus hartwegii* Lindl). Tesis profesional. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León. 46 p.
- Rentería-Anima, J. B., H. Ramírez-Maldonado y F. J. Zamudio-Sánchez. 1995. Estimación de volumen comercial de *Pinus cooperi* blanco mediante modelos de ahusamiento en Durango. II Congreso de Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Desarrollo sustentable redifiniendo el papel de los recursos forestales. Montesillo, México. 91 p.
- Rustagi, K. P. and Loveless. R. S., 1991. Compatible variable-form volume and stem profile equations for *Douglas-fir*. *Can. J. For. Res.* 21:143-151.
- Schumacher, F. X.. and F. D. S. Hall. 1933. Logarithmic expression of timber-tree volume. *J. Agr. Res.* 47:719734.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1994. Inventario nacional forestal periódico. Memoria Nacional. Subsecretaría forestal y de fauna silvestre. México, D. F. 81 p.

Spurr, S. H. 1952. Forest Inventory. The Ronald Press Company. New York. 476 p.

Tapia, J. y J. Návar. 1997. Observaciones preliminares sobre la determinación del número de datos mínimos para la estimación de funciones de ahusamiento y volumen para *Pinus durangensis* y *Pinus teocote*. III Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Hacia nuevos paradigmas. Linares, Nuevo León. 122 p.

Torres-Rojo, J. M., S. O. Magaña T. y G. A. Valles G. 1993. Funciones de ahusamiento para 8 especies Forestales del Estado de México. I Congreso Mexicano de Recursos Forestales, Resumen de Ponencias. Saltillo, Coahuila. 109 p.

Zepeda-Bautista, M. y A. Dominguez-Pereda. 1997. Ecuaciones de ahusamiento para tres especies de pino, del ejido "El largo", Chihuahua. III Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Hacia nuevos paradigmas. Linares, Nuevo León. 122 p.

CAPÍTULO VI

AJUSTE DE MODELOS DE VOLUMEN Y FUNCIONES AHUSAMIENTO PARA *Pinus pseudostrobus* EN BOSQUES DE PINO DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL DE NUEVO LEÓN, MÉXICO.

FITTING VOLUME EQUATIONS AND TAPER FUNCTIONS TO THE SPECIES *Pinus pseudostrobus* IN PINE FORESTS OF THE EASTERN SIERRA MADRE OF THE STATE OF NUEVO LEÓN, MÉXICO

Juan Tapia¹ y José Návar²

¹ Estudiante de Maestría. en Ciencias Forestales. Email, JOTAPIA@MASTER.CIC.UANL.MX
y ² Profesor investigador, Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Km 145 Carretera
Nacional Linares, N. L. 67700 México. Email; JNAVAR@CCR.DSI.UANL.MX

6.1. RESUMEN

Los objetivos del presente trabajo fueron ajustar ocho modelos de volumen, cinco funciones de ahusamiento y comparar su bondad de ajuste, para la especie *Pinus pseudostrobus* Lindl. de los ejidos “Pablillo” y “Corona del Rosal”, situados en la Sierra

Madre Oriental de Nuevo León, México. Las mediciones de diámetro a diferentes secciones del fuste fueron realizadas en árboles derribados en operaciones de extracción forestal. Para el ajuste de las funciones de volumen y ahusamiento se utilizaron 2338 pares de datos diámetro - altura correspondientes a 110 árboles y para la bondad de ajuste de 418 pares de datos de 20 árboles seleccionados al azar. Los modelos y funciones fueron ajustadas, por medio de la técnica de cuadrados mínimos en regresión lineal, intrínsecamente lineal, polinomial y múltiple. Las pruebas de bondad de ajuste consistieron en comparar los estadísticos; coeficiente de determinación, el error estándar y el sesgo, incluyendo la distribución, aleatoriedad y variancia común de los errores. Los resultados mostraron que los modelos que predicen mejor el volumen y el perfil diamétrico fueron los de Schumacher y Hall y de Kozak, respectivamente. Los modelos de volumen no predicen tan adecuadamente el volumen, como la función de ahusamiento de Kozak para los 20 árboles utilizados en las pruebas de bondad de ajuste. Por esta razón se recomienda el uso de esta función de ahusamiento en la estimación de volúmenes a cualquier sección de los árboles de *Pinus pseudostrobus* Lindl. del Nordeste de México.

Palabras clave: *Pinus pseudostrobus* Lindl., modelos de volumen, funciones de ahusamiento, Sierra Madre Oriental.

ABSTRACT

The objectives of this study were to fit eight volume equations, to fit five taper functions and to compare their goodness of fit in stems of *Pinus pseudostrobus* Lindl. of the ejidos

Pablillo and Corona del Rosal, located in the western Sierra Madre of the state of Nuevo León, México. Diameter measurements at different stem sections were conducted in trees harvested during forest management operations. To fit the volume equations and taper functions, 2338 pairs of data (diameter-height) corresponding to 110 trees and to test their goodness fit, 418 pairs of data corresponding to 20 trees randomly selected were used. Volume equations and taper functions were fitted by least square techniques in linear, polynomial and multiple regression techniques. Goodness of fit tests consisted on comparing the statistics coefficient of determination, standard error and bias, including the error distribution, randomness and common variance. The results showed that the models that predict better total volume and diameter at any stem section were Schumacher y Hall and Kozak, respectively. Volume models do not predict as accurately total volume as it does the taper functions of Kozak for the 20 trees used for goodness of fit tests. For these reasons, we recommend the use of this taper function to estimate volume at any stem section of trees of the specie *Pinus pseudostrabus* Lindl. of northeastern Mexico.

Key Words: *Pinus pseudostrabus* Lindl., volume models, taper functions, eastern Sierra Madre.

6.2. INTRODUCCIÓN

La simulación con modelos matemáticos es la herramienta útil para la toma de decisiones en el manejo forestal sustentable. Los modelos de volumen, predicen el volumen de los árboles con corteza y sin corteza, este puede ser para volumen fuste

limpio, volumen fuste total y volumen comercial, además de ser el método principal en la construcción de tablas o tarifas de volumen. Por otro lado las funciones de abusamiento nos predicen el perfil de los fustes de los árboles y principalmente los diámetros para determinar la distribución de los productos forestales, además de estimar el volumen en ocasiones de manera más precisa que las ecuaciones de volumen.

Jiménez (1998 y 1990) ajustó ecuaciones de volumen para *Pinus pseudostrobus*, y elaboró tablas y tarifas de volumen para fuste limpio de esta especie y *Pinus teocote* en una fracción de la Sierra Madre Oriental y un modelo matemático para la elaboración de tablas y tarifas de volumen con *Pinus psudostrobus*. A nivel nacional, Márquez *et al.* (1995) ajustó ecuaciones de volumen para las especies del género *Pinus*. Herrera (1995) realizó una tabla y una tarifa de volumen para *Pinus hartwegii* en Nuevo León con ecuaciones de volumen. Navarro *et al.* (1997) calibró y validó una tabla de volumen para *Pinus cembroides* en el Estado de Coahuila. Para *Pinus rudis* en el Cerro Potosí, Baca *et al.* (1997) realiza una tabla de volumen para regeneración. Para *Pinus teocote* en la Sierra Madre Occidental, Contreras (1997) también ajustó ecuaciones de volumen. En investigaciones internacionales podemos observar los trabajos de Barrena *et al.* (1986) y Barrena (1988) donde seleccionaron un conjunto de modelos, considerando los de transformación logarítmica y los modelos ponderados. Bi (1994) evaluó ecuaciones para seis especies de Eucalipto en Nueva Gales del Sur. Pillsbury y Pryor (1994) desarrollaron ecuaciones de volumen en las montañas de San Bernardino. Wong y Blackett (1994) probaron modelos de volumen en bosques de la región alta de Ghana. Pohjonen (1991) utilizó ecuaciones de volumen y en el desarrollo de tablas para *Juniperus procera* en la parte alta de Etiopía, etc.

Las funciones de ahusamiento que se han ajustado a especies de género *Pinus* de la Sierra Madre Oriental son: Niembro (1992) quien utilizó tres funciones para determinar la forma externa de *Pinus hartwegii*, Jiménez *et al.* (1994) también ajustó tres funciones para determinar la forma externa de *Pinus hartwegii*, Návar *et al.* (1997) ajustó siete funciones de ahusamiento a *Pinus hartwegii* y Tapia y Návar (en Rev.) ajustaron cinco funciones de ahusamiento a *Pinus teocote*. A nivel nacional contamos con los trabajos de: Torres *et al.* (1993) quienes probaron varios modelos para ocho especies forestales del Estado de México. Rentería (1995) estima volumen por medio de ecuaciones de ahusamiento en *Pinus cooperi* en el estado de Durango. De los Santos (1995) utilizó el modelo de Bailey para determinar el volumen de *Pinus cooperi* y *Pinus patula*. Zepeda *et al.* (1997) utilizaron las funciones de ahusamiento para las especies de *Pinus arizonica*, *Pinus durangensis* y *Pinus engelmani* en la Sierra Madre Occidental del estado de Chihuahua. Internacionalmente, Maguire y Hann (1990) desarrollaron una ecuación de ahusamiento polinomial para *Pseudotsuga menziensis*. Oderwald y Rayamajhi (1991) utilizan un método para estimar volumen con funciones de ahusamiento en encinos. De las funciones que son compatibles con volumen y ahusamiento podemos citar los trabajos de Rustagi (1991), Bailey (1994), Burkhart y Gregoire (1994).

Existen trabajos de investigación sobre tablas y tarifas de volúmenes pero no han explorado las funciones de ahusamiento convencionalmente desarrolladas para coníferas, ni tampoco ha quedado establecido cuales de estas técnicas son más eficientes en la estimación de volúmenes de cualquier sección del fuste de *Pinus pseudostrobus*. Tampoco se han probado las ecuaciones de volumen a fuentes independientes de datos

para probar la bondad de ajuste en *Pinus pseudostrobus*. Por lo anterior siendo esta una especie de las más importantes de la industria forestal de la región, es necesario contar con ecuaciones que nos den información confiable para desarrollar planes de manejo sustentables de los bosques del nordeste de México.

Los objetivos de este trabajo fueron: 1) ajustar ocho modelos de volumen, 2) cinco funciones de ahusamiento y 3) probar la bondad de ajuste con una fuente independiente de datos de la especie *Pinus pseudostrobus* del nordeste de la Sierra Madre Oriental.

6.3. MATERIALES Y MÉTODOS

6.3.1. Descripción física y biológica del área de estudio.

6.3.1.1. Localización.

El estudio fue realizado en el Ejido forestal "Pablillo" y Ejido "Corona del Rosal", ubicados en la zona sur del Estado de Nuevo León y son parte del sistema orográfico de la vertiente del golfo de la Sierra Madre Oriental. Los ejidos se ubican en el Municipio de Galeana, N.L., en el Km 100 de la carretera Linares - Doctor Arroyo, sus coordenadas geográficas son: 24° 27' 45" y 24° 32' 32" de latitud norte y los 99° 54' 21" y 100° 01' 17" de longitud occidental para el Ejido Corona del Rosal y para el Ejido Pablillo 24° 31' 04" y 24° 39' 04" latitud norte y 94° 54' 37" y 100° 05' 04", las zonas elevadas de la sierra sobrepasan generalmente los 2000 msnm y alcanzan algunos puntos los 3000 m.

6.3.1.2. Clima.

Debido a las condiciones fisiográficas de la zona, se presenta una variedad de climas que va desde los semicálidos subhúmedos en las grandes depresiones, hasta los semifríos subhúmedos en las partes más altas, sin embargo, los climas predominantes según la clasificación de Köppen modificada por García (1987) son semiseco o semihúmedo (C(w₂)(b')a), semicálido subhúmedo (A(C)(w₂)), templado subhúmedo (C(w₂)(x')) y semifrío subhúmedo (C(E)(w₂)(x')) con un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2%. La temperatura media anual es desde los 16° C a 18° C y la precipitación media anual es de 700 mm a 900 mm.

6.3.1.3. Geología.

La estratigrafía pertenece a antiguas rocas sedimentarias marinas del cretácico y del jurásico superior entre las que predominan las calizas y en segundo término las arsénicas y arcillas. La subprovincia dentro de la cual se localiza el predio, es la gran sierra plegada, en ella dominan las capas plegadas de calizas con ejes estructurales de anticlinales y sinclinales, una gran falla inversa corre sobre los bordes orientales de la sierra en tanto se extienden más o menos paralelas a aquellas y a los ejes estructurales, también hay afloramiento de yesíferos paralelos en el mismo sentido particularmente del lado occidental de la sierra y fosforitas. El área de estudio presenta diferentes tipos de suelos de acuerdo a la clasificación FAO-UNESCO modificada por DETENAL (1979), dentro de los que sobresalen los regosoles, cambisoles, litosoles y rendzinas.

6.3.1.4. Estado forestal.

Los tipos de vegetación dominantes más importantes del área de estudio son: los matorrales, pastizales y bosque de coníferas. Las especies del matorral submontano presentes son: *Diospyros texana* (Chapote), *Pithecellobium pallens* (Tenaza), *Quercus canbyi* (Duraznillo), *Quercus polymorpha* (Encino), *Acacia farnesiana* (Huizache) y *Prosopis glandulosa* (Mezquite), en el estrato medio *Zanthoxylum fagara* (Colima), *Randia aculeata* (Crucillo), *Acacia rigidula* (Chaparro prieto), *Cordia boissieri* (Anacahuíta), *Pithecellobium pallens* (Tenaza), y *Condalia hookeri* (Brasil). En terrenos cubiertos por el estrato alto y en terrenos abiertos se presentan: *Arctostaphylos pungens*, *Ceanothus coeruleus*, *Agave asperrima*, *Agave lechuguilla*, *Opuntia robusta*, *Quercus* sp. (Encinillo arbustivo), *Rhus virens* (Lantrisco), *Mimosa* sp. (Uña de gato). El pastizal se encuentra representado por los géneros: *Bouteloua*, *Heteropogon*, *Lycurus*, *Andropogon*, *Setaria*, *Muhlenbergia*, *Aristida*, *Trachypogon*, *Muhlenbergia*, *Bouteloua*, *Aristida*, *Lycurus*, *Stipa*, *Heteropogon*, *Elyonorus* y *Andropogon*, y las especies *Karwinskia humboldtiana*, *Salvia llotaeiflora*, *Bouteloua trifida*, *Eragrostis palmeri*, *Panicum hallii*, *Aristida* sp., *Sporobolus* sp., *Cenchrus incertus*.

El bosque es irregular incoetáneo con poca mezcla de especies; la altura dominante de los árboles alcanza hasta 22 m, y diámetros de 50-60 cm; se presenta en exposiciones norte, en suelos someros, oscuros, pedregosos y con abundante materia orgánica. Las especies que se presentan son: rodales puros de *Pinus pseudostrabus* y rodales mixtos con *Pinus teocote*. *P. ayacahuite* var *brachyptera*, *P. arizonica*, *P. cembroides*, *P. hartwegii*,

Pseudotsuga menziesii var *glauca* y asociación *Pinus pseudostrobus* - *Quercus spp*, y *Quercus sideroxyla*; en segundo término: *P. culminicola*, *Arbutus glandulosa*, *Quercus crassifolia*, *Alnus acuminata*, *Juniperus deppeana* var *robusta*

6.3.1.5. Descripción de la especie.

Esta especie es variable, al grado que hay diferencias a veces notables aún en una misma localidad. Tiene parentesco con algunas formas del *P. montezumae*, al grado que en ocasiones es difícil encontrar las diferencias. (Martínez, 1948). Este es representativo de la riqueza de pináceas mexicanas, comúnmente se le conoce como pino blanco y es un árbol de 30 a 40 m de altura, ocasionalmente 45 m, se han visto en Michoacán con diámetros de más de 1 m entre árboles con un rango de 40 - 80 cm (Perry 1991). Produce abundante trementina y la madera es dura y resistente. Suele encontrarse en climas templados y frecuentemente se ve asociado al *P. montezumae*, con el que tiene estrecho parentesco. Su distribución primaria es en México y se ha extendido hasta Guatemala. En México se encuentra en los estados de Durango, Jalisco, Michoacán, México, Distrito Federal, Morelos, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca, Guerrero, Chiapas y Nuevo León. Su hábitat se encuentra entre los 1600 a 3200 msnm y los árboles más altos entre los 2000 y 2400 m. Con lluvia promedio de 800 a 1500 mm anuales.

6.3.2. Metodología

Para cumplir con los objetivos de esta investigación se midieron los diámetros a diferentes secciones de la altura de árboles derribados en operaciones de extracción por sus propietarios. El número mínimo necesario para ajustar ecuaciones de volumen y ahusamiento de árboles establecido fue de 130 por Tapia y Návar (1997). La variable diámetro fue medida a la base del fuste, a 0.50 m, a 1.30 m, a 1.50 y desde aquí hasta la parte distal a cada 0.50 m. Otras variables medidas fueron: edad, altura del tocón, grosor de albura, grosor de corteza y altura total. El método utilizado fue el de secciones absolutas y el volumen se calculó a través de la fórmula descrita por Smalian.

6.3.2.1. Modelos ajustados.

Los modelos de volumen ajustados fueron los siguientes:

1. Ecuación de Spurr (1952).

$$V = \beta_0 + \beta_1 * D^2 H$$

2. Ecuación de Spurr en forma polinomial de segundo grado.

$$V = \beta_0 + \beta_1 * D^2 H + \beta_2 * (D^2 H)^2$$

3. Ecuación de Spurr en forma polinomial de tercer grado.

$$V = \beta_0 + \beta_1 * D^2 H + \beta_2 * (D^2 H)^2 + \beta_3 * (D^2 H)^3$$

4. Ecuación de Naslund.

$$V = \beta_0 + \beta_1 * H + \beta_2 * D H + \beta_3 * D^2 H$$

5. Ecuación Australiana.

$$V = \beta_0 + \beta_1 * D^2 + \beta_2 * H + \beta_3 * D^2 H$$

6. Ecuación múltiple de tres parámetros.

$$V = \beta_0 + \beta_1 * D^2 H + \beta_2 * H + \beta_3 * D H^2$$

7. Ecuación de Schumacher y Hall (1933).

$$V = \text{Exp}^{(\beta_0 + \beta_1 * \text{LN}(D) + \beta_2 * \text{LN}(H))}$$

8. Ecuación de Spurr logarítmica.

$$V = \text{Exp}^{(\beta_0 + \beta_1 * \text{LN}(D^2 H))}$$

donde:

V = volumen (m^3), D = diámetro a la altura del pecho (dap), diámetro normal o a 1.3 m, H = altura total (m),
 LN = logaritmo natural, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = parámetros estadísticos

Los modelos para describir el perfil diamétrico de los árboles fueron los siguientes:

1. Amidon (1984).

$$d = \beta_0 \frac{D(H-h)}{H-1.3} + \beta_1 \frac{(H^2 - h^2)(h-1.3)}{H^2}$$

2. Clutter (1980).

$$d = \beta_1 * D^{\beta_2} * H^{\beta_3} (H-h)^{\beta_4}$$

3. Kozak (1988).

$$\ln(d) = f(\ln(X_k), Z, \ln(Z), \exp^Z, \sqrt{Z}, \frac{D}{H})$$

4. Modificado de la forma variable de Newnham (1992).

$$\ln\left(\frac{d}{D}\right) = f\left(X, \ln(X), \frac{D}{H}, \frac{D}{\sqrt{h}}, \frac{H}{\sqrt{h}}\right)$$

5. Rustagi y Loveless (1991).

$$d = (\beta_0 + \beta_1 D) \left[\frac{H-h}{H_a} \right]^{\beta_2}$$

donde:

d = diámetro del fuste a la altura h_i (m), h = Altura del fuste sobre el tocón (m), $X = (H-h)/(H-1.30)$ m (sin dimensiones), $X_k = (1-Z^{-1/2})/(1-P^{-1/2})$ (sin dimensiones), $Z = h/H$ (sin dimensiones), $H_a = H-1.30$ m y β_1 , β_2 , β_3 y β_4 = parámetros estadísticos.

6.3.3. Procedimiento estadístico

Para el ajuste de los parámetros estadísticos de las ecuaciones de volumen y funciones de ahusamiento se utilizaron 2338 datos de diámetro y altura correspondientes a 110 árboles, por medio de la técnica de cuadrados mínimos en regresión lineal, intrínsecamente lineal, múltiple y polinomial y no lineal. Para las ecuaciones que necesitaron transformaciones, los parámetros estadísticos se calcularon con las transformaciones necesarias, pero el coeficiente de determinación (r^2) y el error estándar (EEE) se estimó con los volúmenes o diámetros regresados a sus dimensiones originales.

La prueba de bondad de ajuste se realizó con los datos de diámetro-altura del 15 % de la muestra correspondientes a 20 árboles, que fueron seleccionados al azar de los 130 medidos, a través del sesgo promedio, r^2 y el EEE. Estos estadísticos se estimaron como sigue:

$$\text{Sesgo promedio} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \tilde{Y}_i)}{n}$$

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \tilde{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

$$EEE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \tilde{Y}_i)^2}{n - p} \right]^{\frac{1}{2}}$$

donde: Y_i es el valor observado o la variable dependiente, \bar{Y} promedio de los datos observados y \tilde{Y} es el valor predicho. Finalmente se graficaron los errores para observar su distribución, aleatoriedad y variancia común y tener una mayor certidumbre en la selección de los modelos. La determinación del mejor modelo de volumen resultó de la ponderación de los diferentes parámetros, los cuales se califican por orden de importancia y fueron los siguientes: r^2 , EEE, sesgo promedio, distribución, aleatoriedad y variancia común de los errores en función de la altura y el diámetro del 85 y 15 %, el número de los coeficientes de las regresiones así como el valor de su probabilidad y finalmente la observación de las tablas de volumen resultantes. Para las funciones de ahusamiento, se utilizó principalmente el r^2 , EEE y el sesgo, otros parámetros como el número de variables, gráficas de la distribución del error en función de la altura para el 85 y 15 %, histogramas para determinar la normalidad de los errores y finalmente la graficación de los datos observados contra los predichos para diferentes categorías diamétricas.

Para comparar los volúmenes observados y predichos por las funciones de volumen y de ahusamiento, el volumen calculado por sección y árbol fue determinado por el método

de secciones absolutas utilizando la fórmula de Smalian para ser consistentes en la comparación.

6.3.3.1. Características de los árboles muestra.

Los estadísticos de los parámetros dasométricos de los árboles para el 85 % y 15 % respectivamente se presentan en el Cuadro 10 y Cuadro 11. Donde se observa que no existen diferencias significativas en sus estadísticas de sus principales atributos dasométricos.

CUADRO 10.

ESTADÍSTICAS DE LOS ÁRBOLES DE *Pinus pseudostrobus* UTILIZADOS EN EL AJUSTE DE PARÁMETROS.

Número de árboles	ESTADÍSTICOS	DIÁMETRO (m)	ALTURA (m)	EDAD (años)	VOLUMEN (m ³)
110	Promedio	0.3835	18.4954	75.170	1.1775
Datos 85%	Des. Estándar	0.0910	2.3144	16.550	0.6145
2338	Sesgo	0.4208	0.2551	0.255	0.7105

CUADRO 11.

ESTADÍSTICAS DE LOS ÁRBOLES DE *Pinus pseudostrobus* UTILIZADOS EN LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE.

Número de árboles	ESTADÍSTICOS	DIÁMETRO (m)	ALTURA (m)	EDAD (años)	VOLUMEN (m ³)
20	Promedio	0.4148	18.0950	81.200	1.2971
Datos 15%	Des. Estándar	0.1003	2.2182	14.260	0.6590
418	Sesgo	0.5161	-0.5948	-0.626	0.8225

6.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los parámetros generados para cada uno de los modelos de volumen se presentan en el Cuadro 12.

CUADRO 12.

**PARÁMETROS DE LOS MODELOS DE VOLUMEN PARA LA ESPECIE
Pinus pseudostrobus DE UNA FRACCIÓN DE LA SIERRA MADRE
ORIENTAL EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN.**

Número	M O D E L O S
1	$V=0.057656+0.378922*D^2H$
2	$V=-0.114915+0.499892*D^2H-0.016496*(D^2H)^2$
3	$V=0.128277+0.227408*D^2H+0.065153*(D^2H)^2-0.006887*(D^2H)^3$
4	$V=-0.011764-0.023597*H+0.142643*DH+0.202333*D^2H$
5	$V=-0.579522+3.263218*D^2+0.036363*H+0.195458*D^2H$
6	$V=-0.175092+0.371763*D^2H+0.015346*H-0.000218*DH^2$
7	$V=Exp((-1.344765)+1.930219*LN(D)+1.122547*LN(H))$
8	$V=Exp((-0.910444)+0.990467*LN(D^2H))$

De los modelos utilizados los que presentaron un mejor ajuste fueron: 2, 3 y 4 con los r^2 más altos y los EEE más bajos. El r^2 y EEE los cuales entre los modelos no muestran diferencias notorias (Cuadro 13). En la prueba de bondad de ajuste los mejores modelos fueron 4, 5 y 6, a diferencia de los observados en la prueba de ajuste discutida anteriormente. El menor sesgo lo presentan los modelos 1, 3, y 4 para el 85 % y los modelos 2, 6, y 7, para el 15 %.

Los errores se distribuyeron consistentemente en forma aleatoria y normalmente con dispersiones pequeñas para todos los volúmenes. Las tablas de volumen generadas son la herramienta práctica del resultado de estas investigaciones, los modelos 2, 3, 4, 5 y 6 presentaron valores negativos y en ocasiones muy altos. Considerando la ponderación de

los parámetros, los estadísticos de ajuste y bondad de ajuste, características de los errores y las tablas de volumen generadas se concluye que el modelo 7, de Schumacher y Hall, resulta en el modelo mas adecuado para predecir los volúmenes fustales para la especie estudiada. Este es también el modelo utilizado por El Inventario Nacional Forestal en sus actividades de evaluación de los recursos forestales de la Nación (SARH, 1994) y ha sido también recomendados para las especies *Pinus teocote* y *Pinus durangensis* (Tapia y Návar, en Rev. y Contreas y Návar en Rev.).

CUADRO 13.

ESTADÍSTICOS DEL COEFICIENTE DE REGRESIÓN, ERROR ESTÁNDAR Y NÚMERO DE COEFICIENTES PARA LOS OCHO MODELOS DE VOLUMEN AJUSTADOS A *Pinus pseudostrobus* EN UNA FRACCIÓN DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN.

Modelo Volumen Fustal	85 % muestra			15 % muestra	
	R ²	EEE	N° de β	R ²	EEE
1 $V=\beta_0+\beta_1*D^2H$	0.9499	0.13753	2	0.9635	0.12932
2 $V=\beta_0+\beta_1*D^2H+\beta_2*(D^2H)^2$	0.9569	0.12759	3	0.9659	0.12856
3 $V=\beta_0+\beta_1*D^2H+\beta_2*(D^2H)^2+\beta_3*(D^2H)^3$	0.9620	0.11981	3	0.9485	0.16291
4 $V=\beta_0+\beta_1*H+\beta_2*DH+\beta_3*D^2H$	0.9530	0.13325	2	0.9685	0.12245
5 $V=\beta_0+\beta_1*D^2+\beta_2*H+\beta_3*D^2H$	0.9523	0.13427	4	0.9670	0.13034
6 $V=\beta_0+\beta_1*D^2H+\beta_2*H+\beta_3*DH^2$	0.9504	0.13684	1	0.9684	0.12747
7 $V=Exp((\beta_0)+\beta_1*LN(D)+\beta_2*LN(H))$	0.9501	0.13850	3	0.9645	0.13124
8 $V=Exp((\beta_0)+\beta_1*LN(D^2H))$	0.9492	0.13904	2	0.9578	0.13897

N° β=parámetros con valores de probabilidad estadísticamente significativa ($P>t<0.05$).

Funciones de ahusamiento.

Las funciones que se ajustaron mejor los perfiles fustales fueron: Kozak y Newnham porque presentaron los valores de r^2 más altos, los errores estándar más bajos y los menores sesgos (Cuadro 14). Las funciones que presentaron mejor bondad de ajuste

fueron también Kozak y Amidon, las cuales presentaron valores de r^2 altos, valores del error estándar bajos y ambos con sesgos también bajos. Es decir, el modelo de Amidon y Newnham sobrestiman, mientras que los valores estimados por el modelo de Kozak son más exactos. Este último no posee un sesgo con valor absoluto muy grande, y se encuentra entre 0.049 y 0.37 cm como promedio para los modelos, respectivamente (Cuadro 15). En la prueba de bondad de ajuste se puede observar los comportamientos similares en valores de las r^2 los cuales para los modelos prácticamente son iguales. El mismo comportamiento se presenta para el EEE, pero no así para el sesgo.

CUADRO 14.

ESTADÍSTICOS RESULTANTES DEL AJUSTE DE CINCO FUNCIONES DE AHUSAMIENTO PARA 110 ÁRBOLES DE LA ESPECIE *Pinus pseudostrobus* DE UNA FRACCIÓN DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL DEL SUR DE NUEVO LEÓN.

MODELOS	VARIABLES	SESGO PROM.	R^2	EEE
Amidon	02	0.00132362	0.9580	0.028636
Clutter	04	-0.00027653	0.9596	0.028095
Kozak	10	0.00115091	0.9994	0.003053
Newnham	17	-0.00151321	0.9759	0.021778
Rustagi y Loveless	03	-0.00382901	0.9593	0.028188

CUADRO 15.

ESTADÍSTICOS RESULTANTES DE LA PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE CINCO FUNCIONES DE AHUSAMIENTO A 20 ÁRBOLES DE LA ESPECIE *Pinus pseudostrobus* DE UNA FRACCIÓN DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL DEL SUR DE NUEVO LEÓN.

MODELOS	VARIABLES	SESGO PROM.	R^2	EEE
Amidon	02	0.00049566	0.9678	0.027091
Clutter	04	-0.03776618	0.9655	0.028139
Kozak	10	-0.00376099	0.9686	0.025982
Newnham	17	-0.00833602	0.9659	0.028100
Rustagi y Loveless	03	-0.00814147	0.9614	0.029751

Los modelos de Newnham y de Kozak predicen las curvas sigmoidales de los perfiles diamétricos adecuadamente, mientras que el resto de los modelos simulan curvas cuadráticas sencillas (Figura 10). Árboles con diámetros mayores que 40 cm presentan un ahusamiento mayor en la base del fuste y ninguno de los dos primeros modelos simula correctamente este comportamiento y generalmente subestiman el diámetro a la base del tocón. Los errores de todos los modelos se distribuyeron aleatoria y normalmente, con las máximas frecuencias en el 0 y mostraron variancia común. El modelo de Newnham subestima los diámetros en los árboles con categorías diamétricas menores a 35 cm, mientras que para categorías mayores los sobrestima. El modelo que más se ajusta a las categorías diamétricas inferiores como superiores es el de Kozak para este caso, el resto de los modelos subestiman los diámetros cercanos a la base de los árboles.

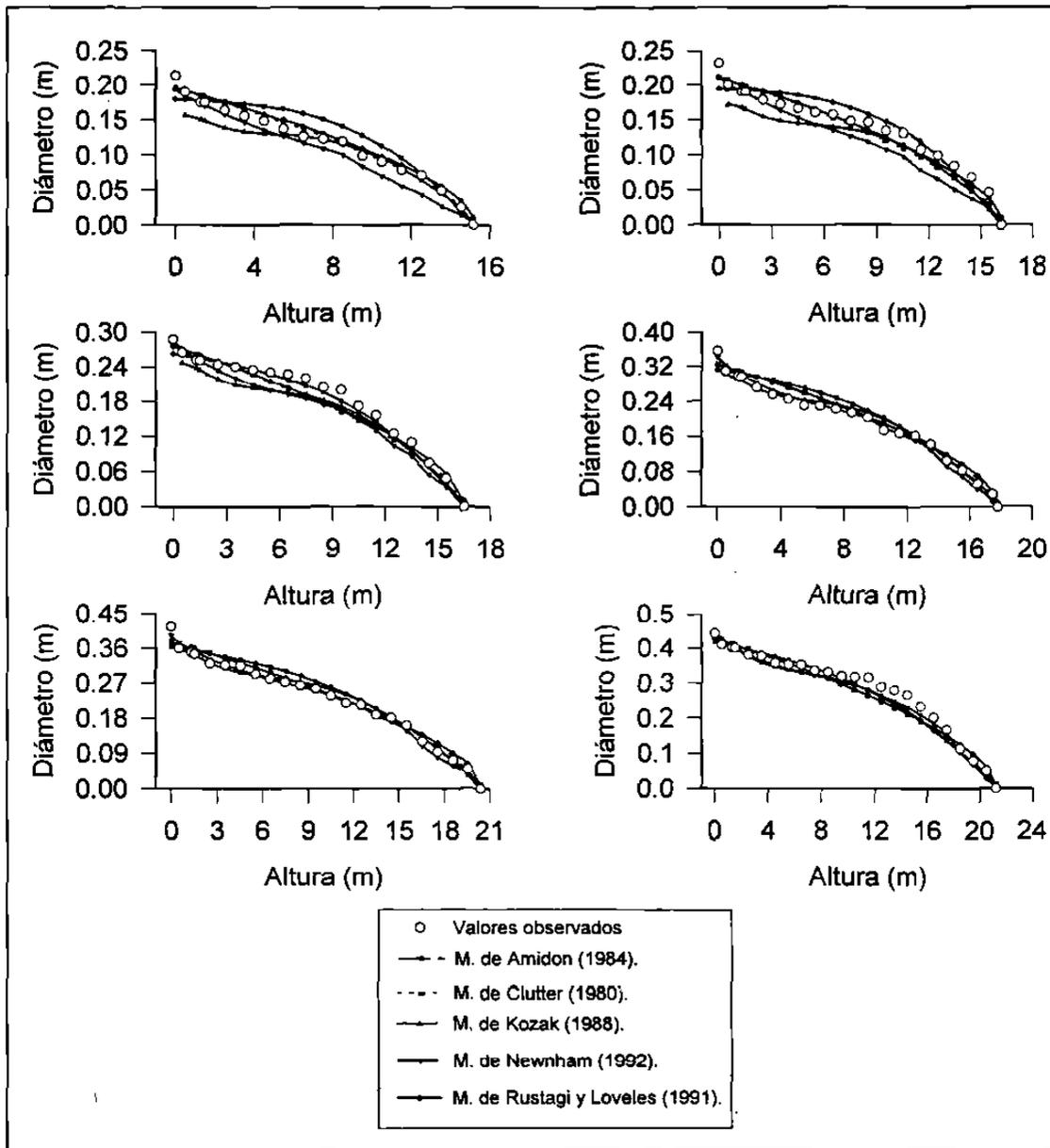


Figura 10. AJUSTE DE CINCO MODELOS DE AHUSAMIENTO A LOS PERFILES FUSTALES DE ÁRBOLES DE DIFERENTES CATEGORÍAS DIAMÉTRICAS DE *Pinus pseudostrobus*.

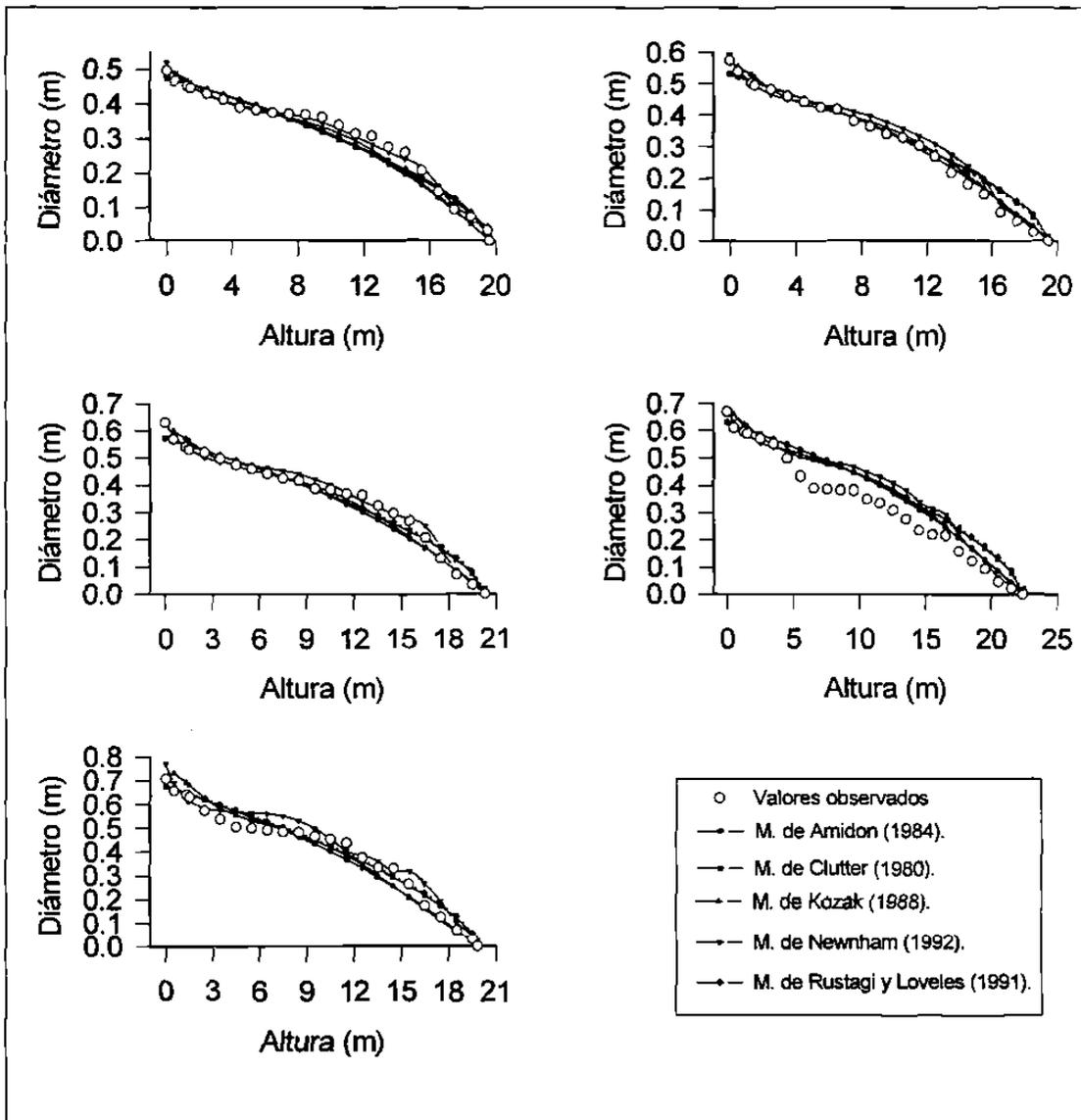


Figura 10. AJUSTE DE CINCO MODELOS DE AHUSAMIENTO A LOS PERFILES FUSTALES DE ÁRBOLES DE DIFERENTES CATEGORÍAS DIAMÉTRICAS DE *Pinus pseudostrobus* (continuación).

Los volúmenes fustales observados de los 20 árboles utilizados en la prueba de bondad de ajuste, y estimados por las ecuaciones de ahusamiento y por las ecuaciones de volumen se presentan en el Cuadro 16.

CUADRO 16.

COMPARACIÓN DEL VOLUMEN FUSTAL DE 20 ÁRBOLES ESTIMADOS POR ECUACIONES DE VOLUMEN Y FUNCIONES DE AHUSAMIENTO.

Nº	H(M)	D(m)	VO	VA1	VA2	VA3	VA4	VA5	M1	M2	M7	M8
1	15.30	0.263	0.3889	0.4579	0.4394	0.3835	0.3920	0.4558	0.4587	0.3956	0.4229	0.4256
2	18.50	0.440	1.4986	1.4079	1.4253	1.3697	1.5179	1.4531	1.4148	1.4639	1.4133	1.4236
3	19.20	0.498	1.7706	1.8314	1.8757	1.8046	1.9748	1.9123	1.8620	1.8914	1.8712	1.8875
4	17.80	0.594	2.1648	2.3168	2.4283	2.3774	2.6747	2.5176	2.4375	2.3740	2.4154	2.4830
5	19.80	0.640	2.9588	2.9815	3.1238	2.9378	3.3855	3.2096	3.1307	2.8543	3.1436	3.1986
6	17.10	0.384	0.9320	1.0097	1.0142	0.9692	1.0428	1.0402	1.0131	1.0407	0.9948	1.0056
7	18.00	0.370	1.0048	1.0061	0.9961	0.9353	0.9939	1.0143	0.9914	1.0168	0.9809	0.9830
8	13.50	0.392	0.7043	0.8052	0.8263	0.8531	0.8177	0.8766	0.8437	0.8511	0.7939	0.8289
9	17.30	0.336	0.8410	0.8114	0.7956	0.7352	0.7988	0.8127	0.7977	0.7985	0.7789	0.7808
10	20.10	0.356	1.2032	1.0812	1.0368	0.9501	1.0362	1.0415	1.0229	1.0515	1.0306	1.0158
11	17.00	0.329	0.6982	0.7658	0.7508	0.6920	0.7255	0.7685	0.7549	0.7491	0.7333	0.7361
12	18.15	0.389	1.1633	1.1087	1.1053	1.0465	1.1432	1.1256	1.0984	1.1336	1.0905	1.0944
13	18.30	0.530	2.2772	1.9399	2.0102	1.9581	2.1380	2.0663	2.0055	2.0189	1.9995	2.0362
14	20.45	0.447	1.5361	1.6310	1.6286	1.5403	1.6341	1.6423	1.6060	1.6523	1.6305	1.6221
15	15.40	0.233	0.3802	0.3766	0.3511	0.2915	0.3152	0.3644	0.3745	0.2915	0.3372	0.3370
16	20.90	0.389	1.1750	1.3200	1.2781	1.1852	1.2135	1.2808	1.2560	1.3011	1.2777	1.2586
17	14.10	0.383	0.7396	0.8084	0.8272	0.8341	0.8407	0.8713	0.8414	0.8485	0.7971	0.8264
18	19.40	0.500	1.8307	1.8667	1.9101	1.8341	2.0050	1.9454	1.8954	1.9215	1.9078	1.9222
19	20.40	0.398	1.2597	1.3311	1.3020	1.2152	1.2890	1.3089	1.2821	1.3282	1.2995	1.2857
20	21.20	0.425	1.4165	1.5627	1.5353	1.4380	1.4919	1.5398	1.5086	1.5574	1.5401	1.5211
Total			25.943	26.420	26.660	25.351	27.430	27.247	26.595	26.539	26.458	26.672
Promedio			1.2972	1.3210	1.3330	1.2675	1.3715	1.3624	1.3298	1.3270	1.3229	1.3336
Desviación estándar			0.6590	0.6442	0.6841	0.6605	0.7632	0.7013	0.6796	0.6512	0.6923	0.7057

VO = Volumen observado por la fórmula de Smalian, VA1 = Amidon, VA2 = Clutter, VA3 = Kozak, VA4 = Newnham, VA5 = Rustagi y Loveless, M1 = Spurr, M2 = Ecuación de Spurr polinomial de segundo grado, M7 = Schumacher y Hall, M8 = Spurr logaritmica

De las funciones de ahusamiento anteriormente probadas, el modelo de Kozak predice mejor el volumen que las ecuaciones de volumen, las demás funciones de ahusamiento (Cuadro 16) sobrestiman el volumen observado en los 20 árboles muestra, desde 0.477 m³ hasta 1.487 m³. Existiendo similitud en lo observado por Nívar *et al.* (1997) en *Pinus*

hartwegii, Jiménez *et al.* (1994) y Niembro (1992) solo determinan la forma del fuste y no calculan volumen. Para las ecuaciones de volumen, en especial el de Schumacher y Hall predice más adecuadamente el volumen fustal total, promedio y su variación y en segundo término la ecuación de Spurr aritmética.

6.4.1. Comparación entre ecuaciones de volumen y ahusamiento.

Jiménez (1988) reportó la mejor ecuación para determinar el volumen para la especie de *Pinus pseudostrobus*, para otras localidades de la Sierra Madre Oriental, como: $V=0.980931(\pi/4(d/100)^2h*f)$ y donde $f=0.49245+56.323559*(1/d^2h)-11.51448*(1/d^2)+1.34783*(1/d)$ con $r^2=0.9948$ y $EEE=0.152$. El modelo ajustado de Schumacher y Hall para esta investigación fue la siguiente: $V=\exp(-1.344765)+1.930219*LN(D)+1.122547*LN(H)$ con $r^2=0.9501$ y $EEE=0.13850$). El análisis de covarianza no mostró diferencias estadísticamente significativas entre las interceptas ($P F=0.28$) ni tampoco entre las pendientes ($P F =0.36$), con respecto a los parámetros de r^2 y errores estándar, se observa que en el modelo de Jiménez son mayores esto se debe a la utilización del modelo modificado que utiliza. Las similitudes entre estos últimos modelos se pueden observar en la Figura 11. La comparación gráfica entre las ecuaciones de volumen para esta investigación no presentan diferencias significativas en la determinación del volumen, esto se puede observar en la Figura 12.

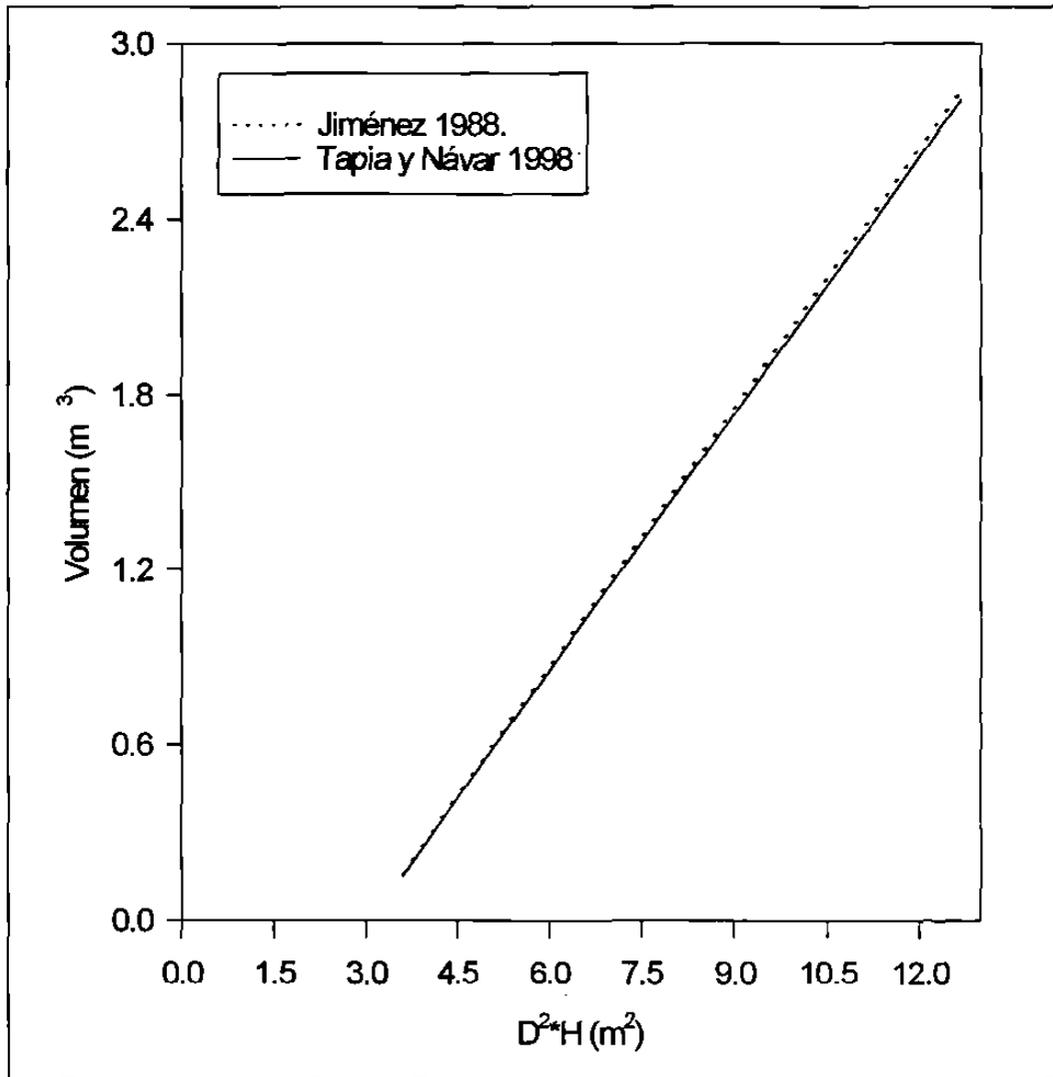


Figura 11. COMPARACIÓN DE ESTIMACIÓN DE VOLUMEN POR DOS ECUACIONES AJUSTADAS INDEPENDIENTEMENTE PARA *Pinus pseudostrobus* EN LA SIERRA MADRE ORIENTAL DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN MÉXICO.

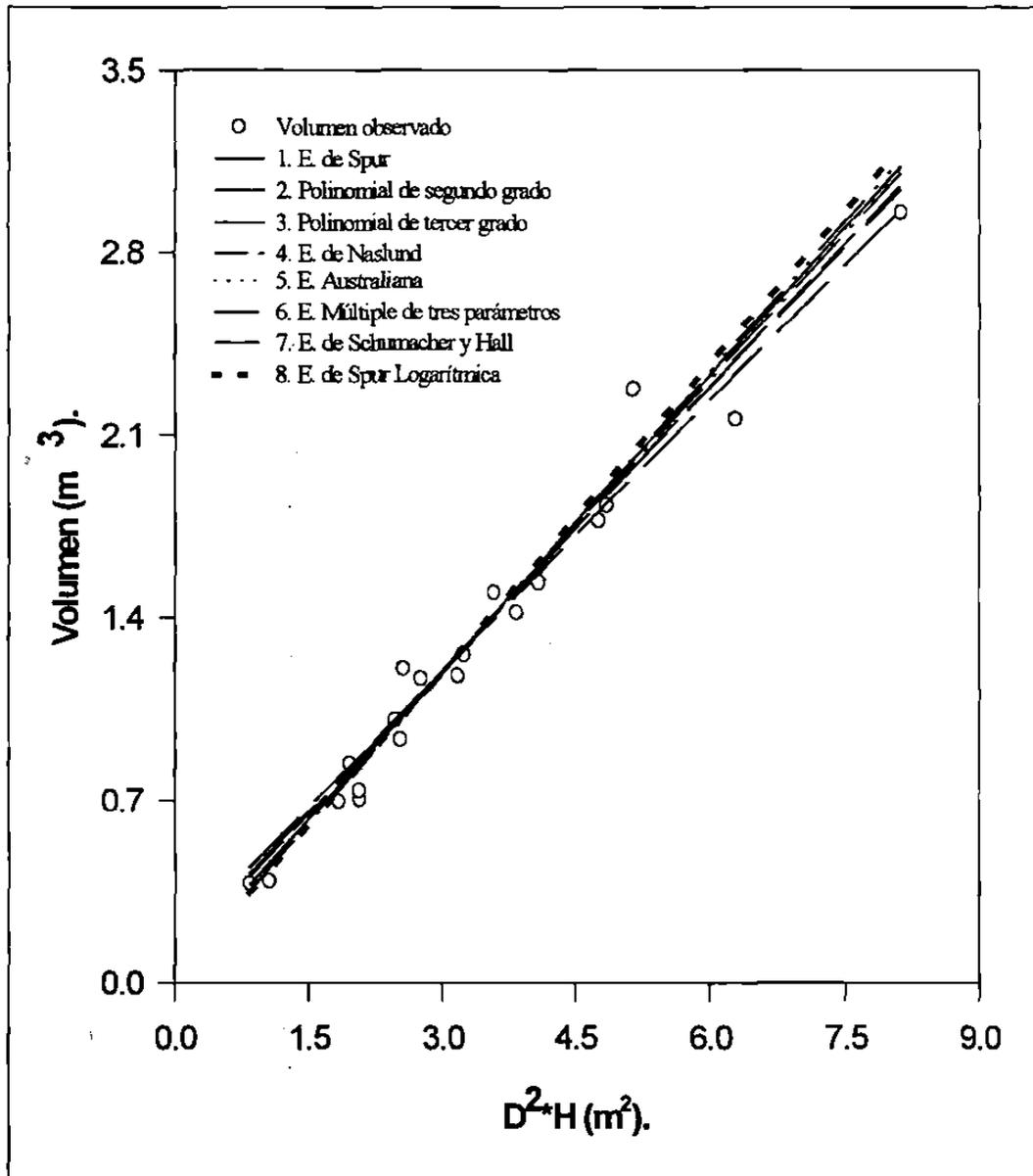


Figura 12. COMPARACIÓN GRÁFICA DE LOS VOLÚMENES ESTIMADOS POR LAS OCHO ECUACIONES DE VOLUMEN AJUSTADAS PARA *Pinus pseudostrobus*.

Cabe destacar que es la primera vez que se trabaja con funciones de ahusamiento convencionales para la especie de *Pinus teocote* en esta fracción de la Sierra Madre Oriental y posiblemente en el resto del país. Por lo tanto no es posible comparar éstas ecuaciones con otras del tipo convencional, pero sí contra otras especies.

6.5. CONCLUSIONES

Se ajustaron y probaron 8 ecuaciones de volumen y 5 funciones de ahusamiento a 110 y 20 árboles de la especie *Pinus psuedostrobus* localizado en la Sierra Madre Oriental. Los modelos recomendados para estimar volúmenes fustales totales y comerciales para la especie estudiada son el de Scumacher y Hall y Kozak respectivamente. Con respecto al ahusamiento la función de Kozak determina más adecuadamente, el volumen total que las ecuaciones de volumen por esta razón se recomienda para estimar los diámetros y volúmenes seccionales de los árboles de *Pinus pseudostrobus* de la Sierra Madre Oriental.

6.6. RECONOCIMIENTOS

Los autores de este reporte de investigación desean hacer patente su agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por los apoyos otorgados a través del proyecto de investigación 2452P N para la realización de este trabajo, al Ingeniero Forestal Marco Antonio Quiñonez Bayona y al Biólogo Guadalupe Mazo Ibarra por la ayuda en la toma de datos necesarios para esta investigación.

6.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amidon, E. L. 1984. A general taper functional form to predict bole volume for five mixed conifer species in California. *For. Sci.* 30:166-171.
- Baca, H., S. Valenzuela, L. M. Torres y E. H. Cornejo. 1997. Tabla de volúmenes para regeneración de *Pinus rudis* en el Cerro Potosí. III Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Hacia nuevos paradigmas. Linares, Nuevo León. 122 p.
- Bailey, R. L. 1994. A compatible volume-taper model based on the Schumacher and Hall generalized constant form factor volume equation. *Forest science.* 40: 303-313.
- Barrena, V., Dance, J., Saenz, D. 1986. Metodología para la selección de ecuaciones de volumen. *Revista forestal del Perú.* 13: 3-12.
- Barrena. 1988. La regresión ponderada en la elaboración de ecuaciones de volumen. *Revista forestal del Perú.* 5: 21-28.
- Bi H. Q. 1994. Volume equations for six Eucalyptus species on the south-east tablelands of New South Wales. Research paper forestry commission of New Wales No. 23. 11 p.
- Burkhardt, H. E. and T. G. Gregoire. 1994. Forest biometrics environmental statistics. 377-407 p.
- Contreras-Aviña, J. C. 1997. Ecuaciones de volumen y ahusamiento para *Pinus durangensis* Mart. y *Pinus teocote* Schl. et Cham. Del Ejido Vencedores, San Dimas, Durango. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestal. U. A. N. L. 78 p.

- Contreras-Aviña, J. C. y J. Návar. (En revisión). Agrociencia. Colegio de Postgraduados.
- Clutter, J. L. 1980. Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. For. Sci. 26: 117-120.
- De los Santos-Pozadas, H. M., J. R. Valdez-Lazalde y M. Rodríguez-Aguilar. 1995. Uso de un modelo compatible volumen-ahusamiento de Bailey en dos especies mexicanas de pinos. II Congreso de Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Desarrollo sustentable redefiniendo el papel de los recursos forestales. Montesillo, México. 91 p.
- DETENAL. 1979. Carta geológica "Iturbide" G14C67. México. Escala 1:50,000.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 246 p.
- Herrera-Moncivais, Verónica. 1995. Elaboración de una tabla y tarifa de volumen para *Pinus hartwegii* Lindl en el Cerro Potosí, Galeana, Nuevo León. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León. 51 p.
- Jiménez Pérez, J. 1988. Elaboración de tablas y tarifas de volumen para fuste limpio de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus teocote* Schl et Cham. en una fracción de la sierra Madre Oriental en el Noreste de México. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León. 99 p.
- Jiménez Pérez, J. 1990. Aplicación de un modelo matemático para elaborar tablas y tarifas de volumen. Un ejemplo con *Pinus pseudostrobus*. Rep. Científico No. 16 Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León. 48 p.
- Jiménez, J., O. Aguirre, M. Niembro, J. Návar y A. Domínguez. 1994. Determinación de la forma externa de *Pinus hartwegii* Lindl en el Noreste de México.

- Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. España. 3: 175-182.
- Kozak, A. 1988. A variable-exponent taper equation. *Can. J. For. Res.* 18:1363-1368.
- Maguire, D. A. and D. W. Hann. (1990). Bark thickness and bark volume in southwestern Oregon Douglas fir, *Wester journal of applied forestry.* 5: 5-8.
- Márquez-Linares, M. A., J. Soto-Rodriguez y J. C. Contreras-Aviña. 1995. Tablas de volúmenes para árboles del género *Pinus* en el Ejido Vencedores San Dimas, Durango. II Congreso de Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Desarrollo sustentable redifiniendo el papel de los recursos forestales. Montesillo, México. 91 p.
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. 2ª ed. Editorial Botas. México. 61 p.
- Návar J., P. A. Domínguez-Calleros, J. C. Contreras-Aviña y C. Estrada M. 1997. Ajuste de siete modelos de ahusamiento a los perfiles fustales de *Pinus hartwegii* Lindl. Del Noreste de México. *Agrociencia* 31: 73-81.
- Navarro, M. S. A., S. Valencia. L. M. Torres y E. H. Cornejo. 1997. Elaboración y validación de una tabla de volúmenes para *Pinus cembroides* en la Sierra Arteaga, Coahuila. III Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Hacia nuevos paradigmas. Linares, Nuevo León. 122 p.
- Newnham, R.M. 1992. Variable-form taper functions for four Alberta tree species. *Can. J. For. Res.* 22: 210-223.
- Niembro-Barroso, M. 1992. Estimación de la forma externa del árbol mediante tres funciones de ahusamiento (Un ejemplo con *Pinus hartwegii* Lindl). Tesis

- profesional. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León. 46 p.
- Oderwald, R. G. and J. N. Ramayajhi. 1991. Biomass inventory with tree taper equations. Selected papers from the six southern biomass conference held on 11-14 september 1989 at Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg. Bioresource-Technology. 36: 235-239.
- Perry, J. P. Jr. 1991. The pines of Mexico and Central American. Timber Press Inc. Portland, Oregon. 225 p.
- Pillsbury, N. H. and R. D. Pryor. 1994. Volume equations for canyon live oak in the San Bernardino mountains of southern California. Western journal of applied forestry. 9: 46-51.
- Pohjonen, V. M. 1991. Volume equations and volume tables of *Juniperus procera* Hochth. ex. Endl. Forest ecology and management. 44: 185-200.
- Rentería-Anima, J. B., H. Ramírez-Maldonado y F. J. Zamudio-Sánchez. 1995. Estimación de volumen comercial de *Pinus cooperi* blanco mediante modelos de ahusamiento en Durango. II Congreso de Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Desarrollo sustentable redefiniendo el papel de los recursos forestales. Montesillo, México. 91 p.
- Rustagi, K. P. and Loveless. R. S., 1991. Compatible variable-form volume and stem profile equations for *Douglas-fir*. Can. J. For. Res. 21:143-151.
- Schumacher, F. X., and F. D. S. Hall. 1933. Logarithmic expression of timber-tree volume. J. Agr. Res. 47:719734.

- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1994. Inventario nacional forestal periódico. Memoria nacional. Subsecretaría forestal y de fauna silvestre. México, D. F. 81 p.
- Spurr, S. H. 1952. Forest Inventory. The Ronald Press Company. New York. 476 p.
- Tapia J., y J. Návar. 1997. Observaciones preliminares sobre la determinación del número de datos mínimos para la estimación de funciones de ahusamiento y volumen para *Pinus durangensis* y *Pinus teocote*. III Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Hacia nuevos paradigmas. Linares, Nuevo León. 122 p.
- Tapia J., y J. Návar. (En revisión). Revista Ciencia e investigación forestal. INFOR. Chile.
- Torres-Rojo, J. M., S. O. Magaña T. y G. A. Valles G. 1993. Funciones de ahusamiento para 8 especies Forestales del Estado de México. I Congreso Mexicano de Recursos Forestales, Resumen de Ponencias. Saltillo, Coahuila. 109 p.
- Wong, J. L. G. and H. L. Blackett. 1994. Bole volume equations for high forest timber species in Ghana. Commonwealth forestry review. 73: 18-22.
- Zepeda-Bautista, M. y A. Dominguez-Pereda. 1997. Ecuaciones de ahusamiento para tres especies de pino, del ejido "El largo", Chihuahua. III Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Nuevos paradigmas. Linares, Nuevo León. 122 p.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

7.1. CONCLUSIONES GENERALES

El presente trabajo se enfocó en el ajuste y la prueba de bondad de ajuste de ecuaciones de volumen y funciones de ahusamiento a los fustes de las especies *P. teocote* y *P. pseudostrobus* en la Sierra Madre Oriental del estado de Nuevo León. Para este reporte se utilizaron datos de 130 árboles para cada una de las especies.

Se ajustaron las ecuaciones de volumen de: 1) Spur, 2) Polinomial de segundo grado, 3) Polinomial de tercer grado, 4) Naslund, 5) Australiana, 6) Múltiple de tres parámetros, 7) Schumacher y Hall y 8) Spur logarítmica y para determinar el perfil del fuste, las ecuaciones que se utilizaron fueron: 1) Amidon, 2) Clutter, 3) Kozak, 4) Newham y 5) Rustagi y Loveless. La técnica de cuadrados mínimos en regresión lineal, intrínsecamente lineal, múltiple, polinomial y no lineal fue aplicada en el programa de computo de SAS.

La fuente de datos de 130 árboles se dividió en dos: a) el 85 % para ajustar parámetros estadísticos y b) el 15 % restante para probar la bondad de ajuste. La selección del mejor

modelo de volumen resulta de la ponderación de los siguientes parámetros: r^2 , EEE , sesgo, distribución de los errores en función del diámetro y la altura del 85 y 15% de los datos, la normalidad de los errores, el número de los coeficientes de las regresiones así como su valor de probabilidad y finalmente la observación de las tablas de volumen que es la herramienta práctica de esta investigación, a las cuales se les dio el valor más alto de esta ponderación.

Los modelos polinomiales presentan los mejores estadísticos en el ajuste de ecuaciones de volumen para ambas especies, mientras que en la bondad de ajuste cambian estos estadísticos dependiendo de la especie.

Las funciones de ahusamiento que presentan los mejores estadísticos en el ajuste fueron: Kozak y Newham para ambas especies, mientras que en la prueba de bondad de ajuste son el de Kozak y Amidon y Newham y Amidon para *Pinus pseudostrobus* y *Pinus teocote* respectivamente.

Las ecuaciones de volumen comparadas entre las dos especies no presentan diferencias estadísticas significativas como se pudo observar, pero en las funciones de ahusamiento los modelos subestiman y sobrestiman los diámetros a excepción de Kozak y Newham. Sin embargo, con estas observaciones se concluye que los mejores modelos para estimar el volumen y los perfiles diamétricos de los árboles fueron: la ecuación de Schumacher y Hall, y la de Spur, para ambas especies y Kozak y Newham para *Pinus pseudostrobus* y *Pinus teocote*, respectivamente.

Las ecuaciones de volumen y funciones de ahusamiento ajustadas en este trabajo no presentan diferencias estadísticas con las desarrolladas con anterioridad para otra fracción de la Sierra Madre Oriental y Sierra Madre Occidental.

Las ecuaciones de volumen estiman más precisamente el volumen para *Pinus teocote*, mientras que las funciones de ahusamiento son más precisas en la determinación del volumen de *Pinus pseudostrabus*.

El volumen observado para las especies utilizadas no es estadísticamente diferente entre sí (Figura 13 y 14). Cuando se ajustan los dos modelos recomendados, los volúmenes estimados son similares para las dos especies. Sin embargo, en ambos modelos se observan posiciones diferentes de las líneas de regresión para cada especie. La ecuación de volumen de Schumacher y Hall presenta mayor volumen en árboles con volúmenes menores a 1.5 m³, en *Pinus pseudostrabus* y mayores volúmenes en *Pinus teocote* para árboles con volumen mayor a 1.5 m³.

El ahusamiento es similar ambas especies, las pequeñas diferencias se presentan a través del desarrollo de los fustes en tiempo. El modelo de Newnham no es aplicable para *Pinus pseudostrabus* porque sobrestima los diámetros y el de Kozak tampoco es aplicable para *Pinus teocote* porque subestima los diámetros. Lo mismo fue observado por Contreras (1997) para las especies de *Pinus teocote* y *Pinus durangensis* en la Sierra Madre Occidental y recomienda el uso de diferentes funciones para estas especies.

El ahusamiento es diferente para ambas especies observadas en este estudio. Las figuras 15 y 16 muestran perfiles diamétricos observados y estimados por las funciones de ahusamiento recomendadas. Aquí se nota que los árboles de *P. pseudostrubus* son más cilíndricos en las categorías menores y menos cilíndricos que *P. teocote* en categorías diamétricas mayores que 40 cm. Por esta razón se recomienda el uso de las funciones de ahusamiento de Kozak y Newnham para *P. pseudostrubus* y *P. teocote*, respectivamente.

A diferencia de las ecuaciones de volumen donde una sola ecuación puede aplicarse para determinar el volumen de árboles del género *Pinus*, las funciones de ahusamiento no presentan esta facilidad de que una sola defina el perfil de las diferentes especies del género *Pinus*.

La ecuación que predice mejor el volumen de estas especies es la de Schumacher y Hall, y es consistente con su utilización a nivel nacional en los inventarios forestales (SARH, 1994). El modelo de Newnham estima mejor el perfil de árboles de *Pinus teocote* y no estima el volumen tan precisamente como las ecuaciones de volumen, el de Kozak determina mejor el perfil de árboles de *Pinus pseudostrubus* y estima mejor el volumen que las ecuaciones de volumen.

No existen diferencias estadísticas con modelos desarrollados con anterioridad para estas especies de estudio, ni tampoco existen diferencias entre el volumen observado y estimado de las mismas.

7.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda se prueben estos modelos de volumen para estas especies distribuidas en el centro y sur del país para que se compruebe que una sola función de volumen puede aplicarse a esta especie a nivel nacional y posiblemente al género *Pinus* y definir la distribución probabilística de los parámetros estadísticos.

Utilizar las funciones de ahusamiento para estimar el volumen de árboles a cualquier altura y elaborar tablas de distribución de productos basados en estas ecuaciones para eficientizar los recursos maderables como una estrategia en el manejo sustentable de los recursos forestales.

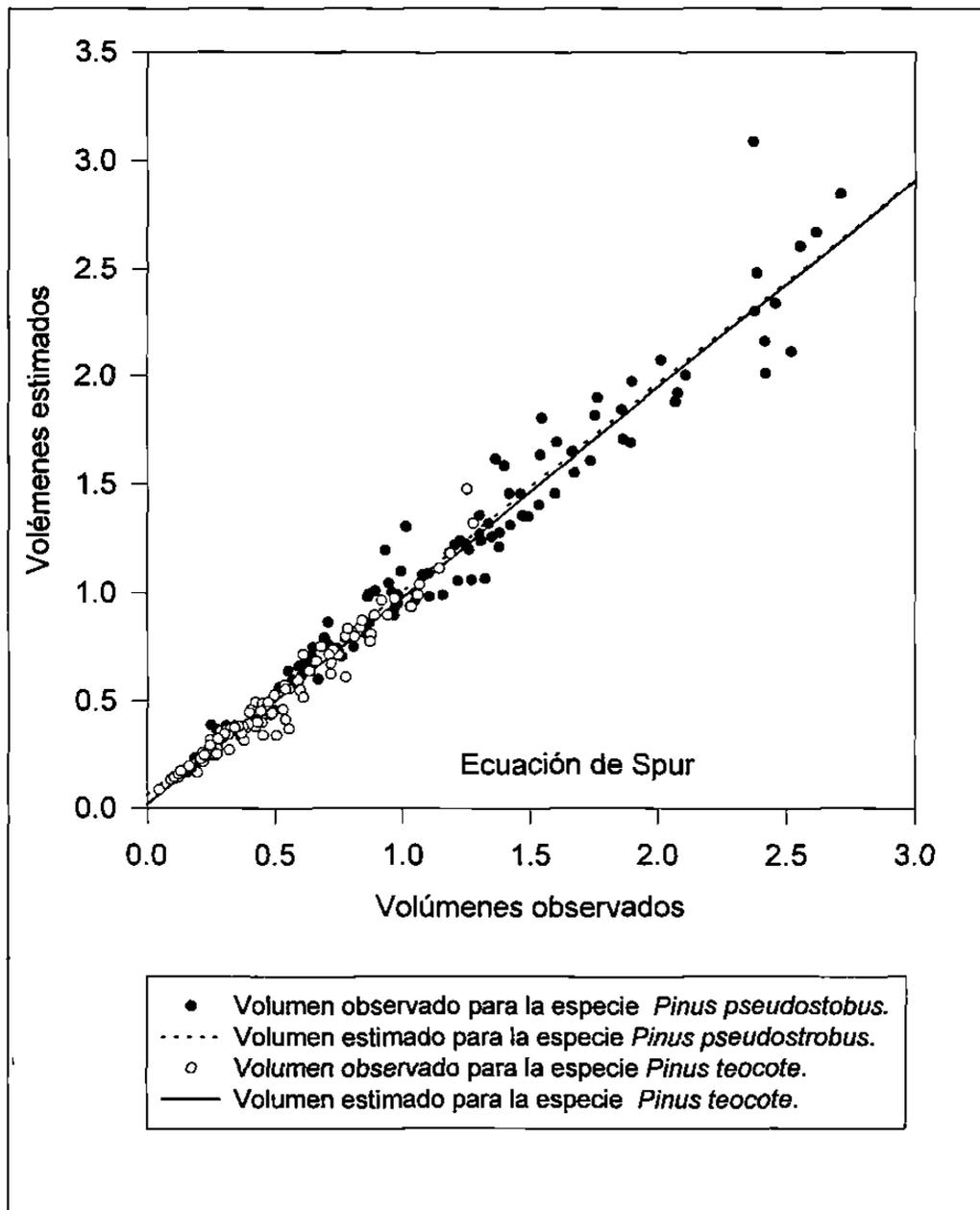


Figura 13. COMPARACIÓN DE VOLÚMENES OBSERVADOS Y LOS ESTIMADOS POR LA ECUACIÓN DE SPUR PARA LAS ESPECIES *Pinus teocote* Y *Pinus pseudostrobus*.

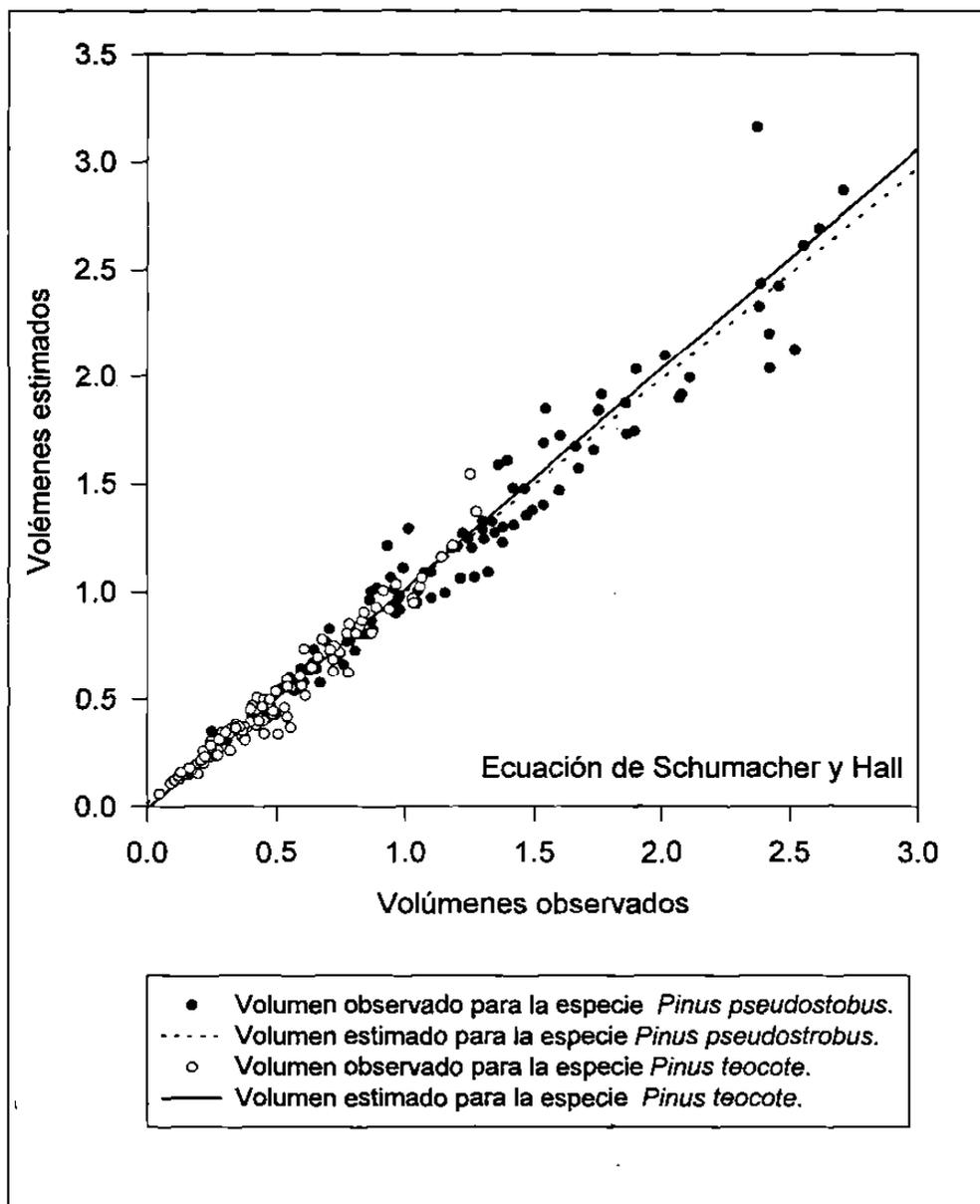


Figura 14. COMPARACIÓN DE LOS VOLÚMENES OBSERVADOS Y ESTIMADOS POR LA ECUACIÓN DE SCHUMACHER Y HALL PARA *Pinus teocote* Y *Pinus pseudostrobus*.

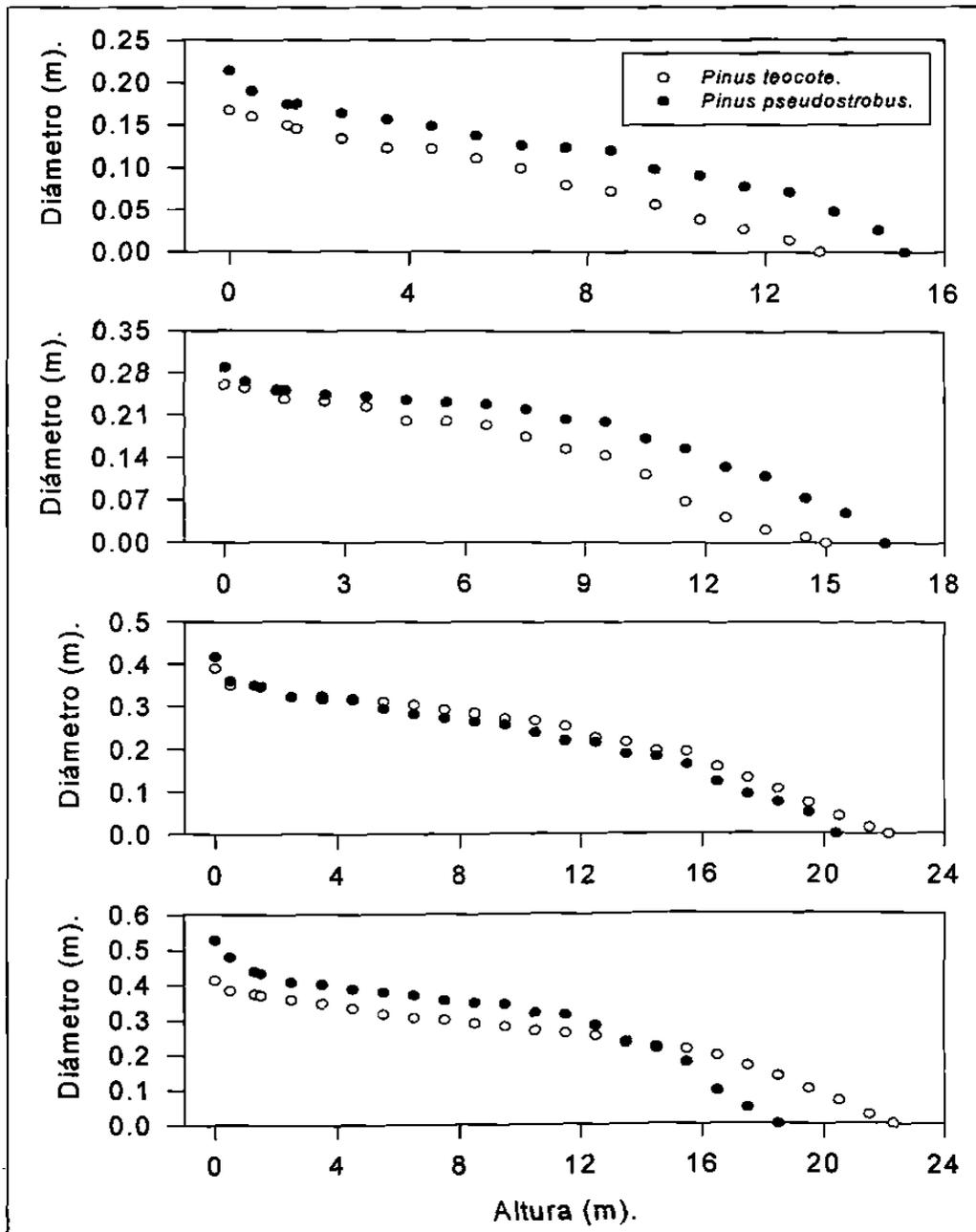


Figura 15. COMPARACIÓN DEL PERFIL DE LOS ÁRBOLES OBSERVADOS EN LAS ESPECIES *Pinus teocote* Y *Pinus Pseudostrobus* PARA LAS CATEGORÍAS DIAMÉTRICAS DE 15, 25, 35 Y 45 CM RESPECTIVAMENTE.

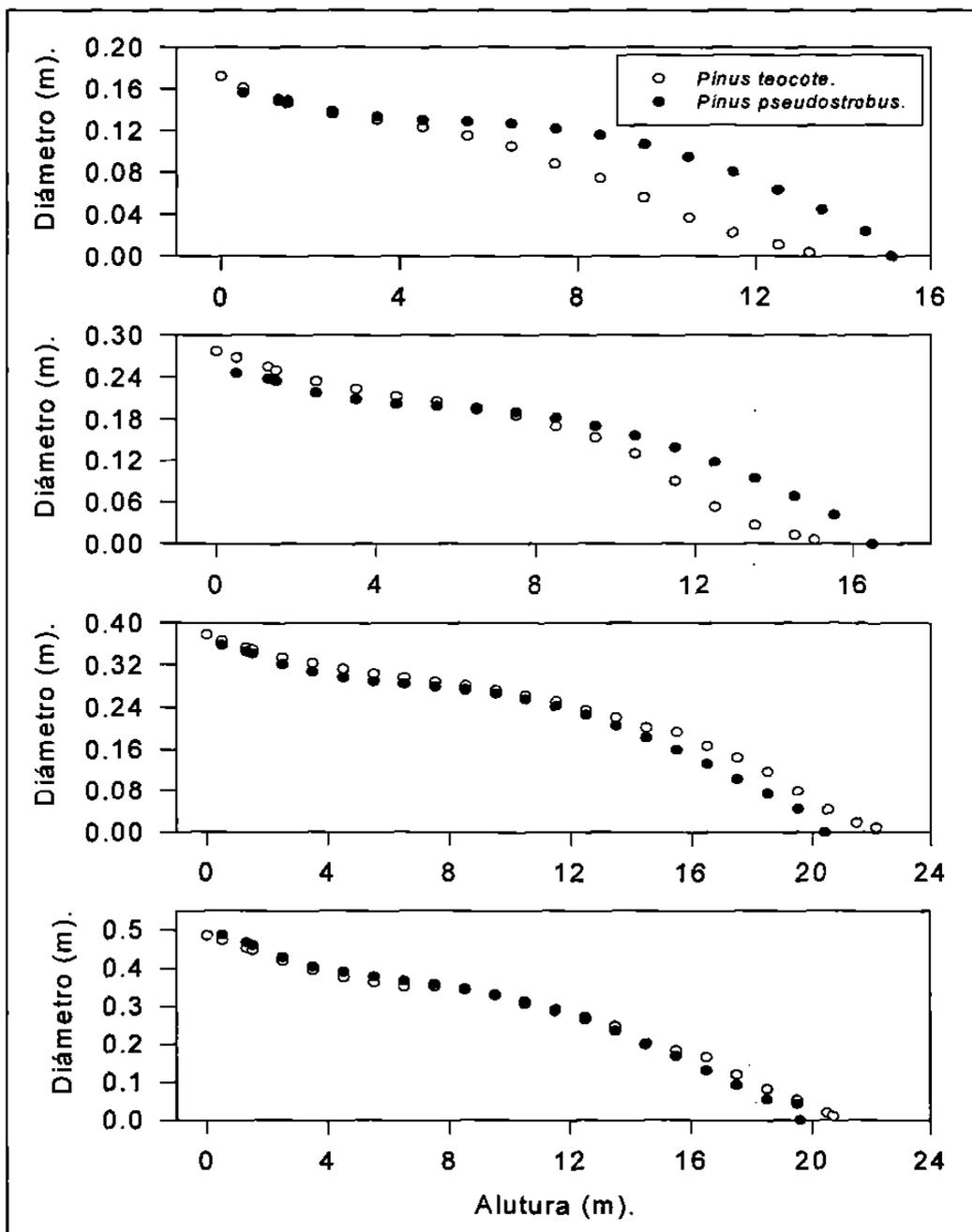


Figura 16. COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DEL PERFIL DE LOS ARBOLES ESTIMADAS POR LAS FUNCIONES DE NEWNHAM Y KOZAK PARA *Pinus teocote* Y *Pinus pseudostrabus* PARA LAS CATEGORÍAS DIAMÉTRICAS DE 15, 25, 35 Y 45 CM RESPECTIVAMENTE.

CAPÍTULO VIII

BIBLIOGRAFÍA

- Amidon, E. L. 1984 A. general taper functional form to predic bole volume for five mixed conifer especies in California. For. Sci. 30:166-171.
- Baca, H., S. Valenzuela, L. M. Torres y E. H. Cornejo. 1997. Tabla de volúmenes para regeneración de *Pinus rudis* en el Cerro Potosí. III Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Nuevos paradigmas. Linares, Nuevo León. 122 pp.
- Bailey, R. L. 1994. A compatible volume-taper model based on the Schumacher and Hall generalized constant form factor volume equation. Forest science. 40: 303-313.
- Barrena, V., Dance, J., Saenz, D. 1986. Metodología para la selección de ecuaciones de volumen. Revista forestal del Perú. 13: 3-12.
- Barrena, V. 1988. La regresón ponderada en la elaboración de ecuaciones e volumen. Revista forestal del Perú. 5: 21-28.
- Bauer, G. P. and A. J. R. Gillespie. 1990. Volume tables for young plantation-grown hybrid mahogany (*Swietenia macrophylla* X *S. mahagoni*) in the Luquillo experimental forest of Puerto Rico. Research paper southern forest experiment station USDA forest service. No. SO-257. 8 pp.

- Bi, H. Q. 1994. Volume equations for six Eucalyptus species on the south-east tablelands of New South Wales. Research paper forestry commission of New South Wales No. 23. 11 pp.
- Burkhardt, H. E. And T. G. Gregoire. 1994. Forest biometrics Environmental statistics. 377-407 p.
- Clutter, J. L. 1980. Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. For. Sci. 26: 117-120.
- Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienarv, G. H. Brister and R. L. Bailey. 1983. Timber management: a quantitative approach. John Wiley. New York. 333 p.
- Contreras-Aviña, J. C. 1997. Ecuaciones de volumen y ahusamiento para *Pinus durangensis* Mart. y *Pinus teocote* Schl. et Cham. Del Ejido Vencedores, San Dimas, Durango. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestal. U. A. N. L. 78 p.
- Contreras-Aviña, J. C. y J. Návar. (En revisión). Agrociencia. Colegio de Postgraduados.
- Corona, P. y A. Ferrara. 1992. A simple method for transforming stem volume tables to merchantable volume tables. Italia forestale e montana. 47: 144-157.
- Daniel, T. W., J. A. Holmes and F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. Mc. Graw Hill. México. 191 p.
- De los Santos-Pozadas, H. M., J. R. Valdez-Lazalde y M. Rodríguez-Aguilar. 1995. Uso de un modelo compatible volumen-ahusamiento de Bailey en dos especies mexicanas de pinos. II Congreso de Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Desarrollo sustentable redefiniendo el papel de los recursos forestales. Montesillo, México. 91 pp.
- DETENAL. 1979. Carta geológica DG 371 "Iturbide". G14C67. Escala. 1:50,000.

- Eguiluz, P. T. 1977. Los Pinos del Mundo. Publicaciones Especiales N° 1 E. N. A. Chapingo, México. 74 pp.
- FAO. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 97 p.
- Flores-Negron, C. F. 1995. Ecuaciones de volumen de un apoblación ribereña de *Cedrela odorata* en Madre de Dios, Perú. 22 (1-2):15-26.
- Flewelling, J. W. and L. M. Raynes. 1993. Variable-shape stem-profile predictions for western hemlock. Part I. Predictions from DBH and total Height. Canadian journal of forest research. 23: 520-536.
- Fowler, G. W. 1997. Individual tree volume equations for red pine in Michigan. Northern journal of applied forestry. 14: 53-58.
- Gal, J. and I. E. Bella. 1994. New stem taper functions for 12 Saskatchewan timber species. Edmonton, Alta. Canadian Forest service, Northwest region. Northern forestry centre (information report). 25 p. NOR-X-338.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª edición. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 246p.
- Gray, H. R. 1956. The form and taper of forest tree stems. Imperial Forest. Oxford. Pap. 32 p.
- Herrera-Moncivais, Verónica. 1995. Elaboración de una tabla y tarifa de volumen para *Pinus hartwegii* Lindl en el Cerro Potosí, Galeana, Nuevo León. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León. 51 pp.

- INEGI. 1983. Carta hidrológica de aguas superficiales. "Linares". G14-11. SPP. México. Escala 1:250,000.
- Jiménez Pérez, J. 1988. Elaboración de tablas y tarifas de volumen para fuste limpio de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus teocote* Schl et Cham. en una fracción de la sierra Madre Oriental en el Noreste de México. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León. 99 pp.
- Jiménez Pérez, J. 1990. Aplicación de un modelo matemático para elaborar tablas y tarifas de volumen. Un ejemplo con *Pinus pseudostrobus*. Rep. Científico No. 16 Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León. 48 pp.
- Jiménez, J., O. Aguirre, M. Niembro, J. Návar y A. Domínguez. 1994. Determinación de la forma externa de *Pinus hartwegii* Lindl en el Noreste de México. Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. España. 3: 175-182.
- Kozak, A. 1988. A variable-exponent taper equation. Can. J. For. Res. 18:1363-1368.
- Kozak A. and S. A. Y. Omule. 1992. Estimating stump volume, stump inside bark diameter at breast height from stump measurements. Forest chronicle. 68: 623-627.
- Kozak, A. and J. H. G. Smith. 1993. Standards for evaluating taper estimating systems. Forest chronicle. 64: 438:444.
- Kozak, A. 1997. Effect of multicollinearity and autocorrelation on the variable-exponent taper functions. Canadian journal forest research. 27: 619-629.
- Kramer, H. y Akca, A. 1987. Leitfaden für dendometrie und bestandesinventur. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am main, 287 p.

- Lappi, J. 1991. Calibration of height and volume equations with random parameters. *Forest science*. 37: 781-801.
- Larson, P. R. 1963. Stem form development of forest trees. *Forest science monograph*. 5.
- Leech, J. W., R. L. Correll and A. K. Myint. 1991. Use of principal-coordinate analysis to assist in aggregating species for volume table construction. *Forest ecology and management*. 40: 279-288.
- Lynch, T. B. 1995. Use of a tree volume equation based on two lower-stem diameters to estimate forest volume from sample tree counts. *Canadian journal forest research*. 25: 871-877.
- Maguire, D. A. and D. W. Hann. 1990. Bark thickness and bark volume in southwestern Oregon Douglas fir. *Western journal of applied forestry*. 5: 5-8.
- Martín, A. J. 1984. Testing volume equation accuracy with water displacement techniques. *Forest science*. 30: 41-50.
- Márquez-Linares, M. A., J. Soto-Rodríguez y J. C. Contreras-Aviña. 1995. Tablas de volúmenes para árboles del género *Pinus* en el Ejido Vencedores San Dimas, Durango. II Congreso de Mexicanos sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Desarrollo sustentable redefiniendo el papel de los recursos forestales. Montesillo, México. 91 pp.
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. 2ª ed. Editorial Botas. México. 61 pp.
- Martínez-Millán, F. J., P. Ara-Lazarro y I. González-Doncel. 1992. Treble-entry volume tables for use in forest management. *Investigación agraria, sistemas y recursos forestales*. 1: 95-102.
- McTague, J. P. 1992. Enhanced estimates of total volume with any single upper-stem measurement. *Forest ecology and management*. 48: 55-67.

- Morton, R. T., S. J. Titus, G. M. Bonnor and T. I. Grabowski. 1990. An assessment of white spruce (*Picea glauca*) tree volume equations in Canada. *Forestry chronicle*. 66: 600-605.
- Muhairwe, C. K., V. M. Lemay and A. Kozak. 1994. Effects of adding tree, and site variables to Kozak's variable-exponent taper equation. *Canadian journal forest reseacrch*. 24: 252-259.
- Návar-Chaídez, J. de J., P. A. Dominguez-Calleros, J. C. Contreras-Aviña y C. Estrada M. 1997 Ajuste de siete modelos de ahusamiento a los perfiles fustales de *pinus hartwegii* Lindl. Del Nordeste de México. *Agrociencia* 31: 73-81.
- Navarro, M. S. A., S. Valencia. L. M. Torres y E. H. Cornejo. 1997. Elaboración y validación de una tabla de volúmenes para *Pinus cembroides* en la Sierra Arteaga, Coahuila. III Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Nuevos paradigmas. Linares, Nuevo León. 122 pp.
- Newnham, R. M. 1992. Variable-form taper functions for four Alberta tree species. *Can. J. For. Res.* 22: 210-223.
- Niembro-Barroso, M. 1992. Estimación de la forma externa del árbol mediante tres funciones de ahusamiento (Un ejemplo con *Pinus hartwegii* Lindl). Tesis profesional. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León. 46 pp.
- Olsen, E., S. Pilkerton, J. Garland and J. Sessions. 1991. Computer aided bucking on a mechanized harvester. *Journal of forest engineering*. 2: 25-32.
- Oderwald, R. G. and J. N. Ramayajhi. 1991. Biomass inventory with tree taper equations. Selected papers from the six southern biomass conference held on

- 11-14 september 1989 at Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg. Bioresource-Technology. 36:235-239.
- Padilla-García, H. 1987. Glosario práctico de términos forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. LIMUSA. México. 263 p.
- Perry, J. P. Jr. 1991. The pines of Mexico and Central American. Timber Press Inc. Portland, Oregon. 225 p.
- Pillsbury, N. H. and R. D. Pryor. 1994. Volume equations for canion live oak in the San Bernardino mountains of southern California. Western journal of applied forestry. 9: 46-51.
- Pohjonen, V. M. 1991. Volume equations and volume tables of *Juniperus procera* Hochst. ex. Endl. Forest ecology and management. 44: 185-200.
- Rentería-Anima, J. B., H. Ramírez-Maldonado y F. J. Zamudio-Sánchez. 1995. estimación de volumen comercial de *Pinus cooperi* blanco mediante modelos de ahusamiento en Durango. II Congreso de Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Desarrollo sustentable redefiniendo el papel de los recursos forestales. Montesillo, México. 91 pp.
- Rustagi, K. P. and R. S. Loveless. 1991. Compatible variable-form volume and stem profile equations for Douglas-fir. Can. J. For. Res. 21:143-151.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1994. Inventario nacional forestal periódico. Memoria nacional. Subsecretaria forestal y de fauna silvestre. México, D. F. 81 p.
- Shiver, B. D. and G. H. Brister. 1992. Tree and stand volume functions for *Eucalyptus saligna*. Forest ecology and management. 47: 211-223.

- Schumacher, F. X. and F. D. S. Hall. 1933. Logarithmic expression of timber-tree volume. *J. Agr. Res.* 47:719-734.
- Spurr, S. H. 1952. *Forest Inventory*. The Ronald Press Company. New York. 476 pp.
- Tandug, L. M. 1992. Development of volume equations for de Philippine forests. *Canopy international*. 1992, publ. 1993., 18: 4-8.
- Tapia, J. y J. Návar. 1997. Observaciones preliminares sobre la determinación del número de datos mínimos para la estimación de funciones de ahusamiento y volumen para *Pinus durangensis* y *Pinus teocote*. III Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Nuevos paradigmas. Linares, Nuevo León. 122 pp.
- Tapia, J. y J. Návar. (En revisión). *Revista Ciencia e investigación forestal*. INFOR. Chile.
- Thomas, C. E. and B. R. Parresol. 1991. Simple, flexible, trigonometric taper equations. *Canadian journal of forest research*. 21:1132-1137.
- Torres-Rojo, J. M., S. O. Magaña T. y G. A. Valles G. 1993. Funciones de ahusamiento para 8 especies Forestales del Estado de México. I Congreso Mexicano de Recursos Forestales, Resumen de Ponencias. Saltillo, Coahuila. 109 pp.
- Wong, J. L. G. and H. L. Blackett. 1994. Bole volume equations for high forest timber species in Ghana. *Commonwealth forestry review*. 73: 18-22.
- Yamamoto, K. 1994. A simple volume estimation system and its application to three coniferous species. *Canadian journal forest research*. 24: 1289-1294.
- Zepeda-Bautista, M. y A. Dominguez-Pereda. 1997. Ecuaciones de ahusamiento para tres especies de pino, del ejido "El largo", Chihuahua. III Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Resumen de ponencias. Nuevos paradigmas. Linares, Nuevo León. 122 pp.

RESUMEN BIOGRÁFICO

JOSÉ JUAN TAPIA BARRETA

Fecha de graduación: Julio, 1998.

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ciencias Forestales

Título del Estudio: AJUSTE DE ECUACIONES DE VOLUMEN Y FUNCIONES DE AHUSAMIENTO PARA *Pinus teocote* Schl. et Cham. Y *Pinus pseudostrabus* Lindl. EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN.

Número de Páginas: 117

Candidato para el grado de Maestría en Ciencias Forestales

Área de Estudio: Manejo Forestal

Propósito y Método de Estudio: Los modelos matemáticos es la herramienta básica que proporciona al profesional forestal información objetiva, la cual se debe utilizar en los planes de manejo de los recursos forestales. El presente trabajo tuvo como finalidad ajustar ecuaciones de volumen y funciones de ahusamiento, así como probar su bondad de ajuste con una fuente adicional de datos para las especies *Pinus teocote* y *Pinus pseudostrabus*, más importantes en la industria forestal del sur de Nuevo León. Se utilizó la técnica de cuadrados mínimos en regresión lineal, intrínsecamente lineal, polinomial y múltiple.

Contribuciones y Conclusiones: El mejor modelo para estimar el volumen de estas especies estudiadas y el cual nosotros recomendamos es el de Schumacher y Hall, mientras que para estimar el perfil de los árboles de *Pinus teocote* y *Pinus pseudostrabus* son la función de Newnham y la de Kozak, respectivamente, estas dos últimas pueden también estimar el volumen de cualquier sección de los árboles y ayudan a determinar la distribución de los productos derivados de los fustes de los árboles de un bosque y por lo tanto contribuir al manejo sustentable de los recursos forestales.

FIRMA DEL ASESOR _____

