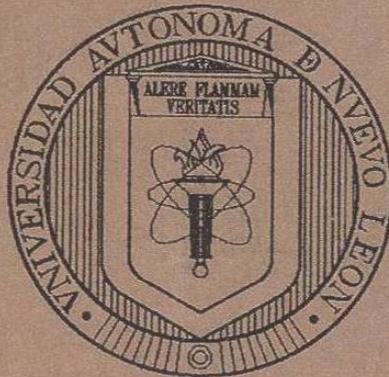


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



**Ecuaciones para estimar Biomasa, Volumen y Crecimiento
en Biomasa y Captura de Carbono en diez especies típicas
del Matorral Espinoso Tamaulipeco
del nordeste de México.**

TESIS DE MAESTRÍA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA

OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA

ING. JUAN ABEL NÁJERA LUNA.

TM

Z5991

FCF

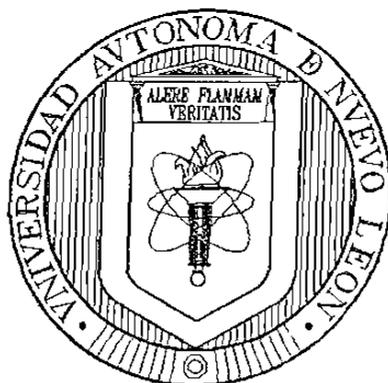
1999

N3



1020130186

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



**Ecuaciones para estimar Biomasa, Volumen y Crecimiento
en Biomasa y Captura de Carbono en diez especies típicas
del Matorral Espinoso Tamaulipeco
del nordeste de México.**

TESIS DE MAestrÍA

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

PRESENTA

ING. JUAN ABEL NÁJERA LUNA.

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

**Ecuaciones para estimar Biomasa, Volumen y Crecimiento
en Biomasa y Captura de Carbono en diez especies típicas
del Matorral Espinoso Tamaulipeco
del nordeste de México.**

TESIS DE MAESTRIA

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

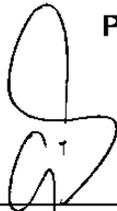
PRESENTA

ING. JUAN ABEL NÁJERA LUNA

COMITÉ DE TESIS



Ph. D. José de Jesús Nívar Cháidez
Presidente



Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón
Secretario



Dr. Pedro Antonio Domínguez Calleros
Vocal

M.C. Francisco Cruz Cobos
Asesor externo



FONDO
TESIS

DEDICATORIA

A DIOS.

Por darme la luz de la vida y ser la fé que me reconforta para seguir adelante.

A MIS PADRES

Carlos Nájera Acosta y Margarita Luna Avalos por darme lo mejor de ellos mismos, por la confianza y el apoyo que siempre me han brindado y espero en Dios corresponderles como buen hijo.

A ROSY

Con mi mas profundo amor a mi esposa Rosa Amelia García Nuñez por ser mi amiga y compañera, por compartir los buenos y malos momentos teniendo siempre una palabra de aliento cuando mas lo necesito.

A FANY

A mi hija Karla Estefanía Nájera García por su dulce inocencia que me alegra la vida y hace que renazca en mí el compromiso de ser un buen padre y un mejor amigo.

A MIS HERMANOS

*María Del Socorro
Cleotilde
José Enrique
María Del Carmen
Cecilia
María Del Rayo*

De quienes he recibido un apoyo constante en todas las cosas que he emprendido... Siempre los recuerdo con cariño.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por otorgarme la beca para poder realizar mis estudios de Maestría en Ciencias Forestales.

A los maestros de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León por compartir sus conocimientos y enseñanzas de las que mucho aprendí y compartí con todos ellos.

Al Ph D. José de Jesús Návar Cháidez por la atinada dirección de este trabajo de tesis, por preocuparse hacer de sus tesisistas profesionistas de calidad, por los comentarios y sugerencias constructivas que me ayudaron a adquirir nuevos conocimientos y tener una diferente perspectiva de ver la investigación.

Al Dr. Oscar Aguirre Calderón por su buena disposición en formar parte del comité de tesis, por la revisión final del escrito y por sus valiosas sugerencias que sirvieron para enriquecer aún mas este trabajo.

Al Dr. Pedro Antonio Domínguez Calleros por su gentileza en formar parte del cuerpo de asesores de este trabajo así como por revisar el escrito final y por el apoyo brindado en la fase que comprendió la toma de datos.

Al M.C. Francisco Cruz Cobos asesor externo del presente trabajo por su buena disponibilidad en formar parte del comité de tesis.

A mis compañeros de generación: David Castillo, Sacramento Corral, Gerardo Cuéllar, Carlos Cavazos, Gabriela Gutiérrez, Mercedes Guzmán, Sanjuana Guerra, Paola Miranda, Rodolfo Ocampo, Guillermo Romero, Laura Rentería, Mario Torres, Edgar Torres, Marco Antonio Quiñones y Aldo Tovar. Gracias por su amistad.

A todos los amigos de la Facultad de Ciencias Forestales y compañeros de la Maestría: Jorge Méndez, Eduardo Méndez, Nicolás González, David Maldonado, Jesús Graciano y Efraín Rodríguez por todo el apoyo brindado durante el desarrollo del trabajo de tesis y por la convivencia que unió mas nuestra amistad.

A los compañeros que me auxiliaron en la toma de datos de campo Guadalupe y Asención García, Baltazar Reyna y Alfredo Ortega.

A los Doctores Horacio Villalón Mendoza y Ricardo López Aguillón por facilitarme equipo de laboratorio y de campo durante la etapa de toma de datos de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

Página

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS.....	i
RESUMEN.....	ii
ABSTRACT.....	iii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II.....	6
OBJETIVOS.....	6
Objetivo General.....	6
Objetivos Específicos.....	6
Hipótesis.....	7
CAPÍTULO III.....	8
LITERATURA REVISADA.....	8
La convención sobre el Cambio Climático.....	8
El protocolo de Kyoto.....	9
El Efecto invernadero.....	10
Fotosíntesis.....	11
Biomasa.....	12
Crecimiento e incremento.....	13
Ciclo Global del Carbono.....	14
Captura de Carbono.....	14
Sumideros de carbono.....	17

Emisiones de CO ₂ atmosférico	18
Acumulación de carbono en el sistema	19
Densidad de la madera y la corteza.....	21
Estimación de la absorción de carbono.....	22
Descripción de las especies estudiadas	22
<i>Cordia boissieri</i> DC (Anacahuíta).....	22
<i>Helietta parvifolia</i> Benth (Barreta).....	23
<i>Condalia hoockeri</i> Johnst (Brasil).....	23
<i>Diospyros texana</i> Eastw (Chapote blanco).....	24
<i>Acacia rigidula</i> Benth (Gavia).....	24
<i>Celtis pallida</i> Torr. (Granjeno).....	25
<i>Acacia berlandieri</i> Benth. (Huajillo).....	25
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd. (Huizache).....	26
<i>Pithecellobium pallens</i> (Benth.) (Tenaza).....	26
<i>Eysenhardtia texana</i> Scheele. (Vara dulce).....	27
CAPÍTULO IV.....	28
1. RESUMEN.....	28
2. INTRODUCCIÓN.....	30
3. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1. Muestreo y selección de los arbustos.....	32
3.2. Especies estudiadas.....	34
3.3. La parcela experimental.....	35
3.4. Procedimiento estadístico.....	36
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	37
4.1. Biomasa en la parcela experimental.....	42
4.2. Estimación de volumen en la parcela experimental.....	44
5. CONCLUSIONES.....	46
6. LITERATURA CITADA.	47

CAPÍTULO V	52
1. RESUMEN	52
2. INTRODUCCIÓN	54
3. MATERIALES Y MÉTODOS	55
3.1. Metodología	56
3.2. Determinación de la edad y volumen fustal.....	58
3.3. Estimación la cantidad de carbono en la biomasa aérea	59
3.4. Modelos de crecimiento probados	59
3.5. Incremento en biomasa aérea	60
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
4.1. Modelos de crecimiento	61
4.2. Incremento en biomasa aérea	64
4.3. Captura de carbono	67
5. CONCLUSIONES	69
6. LITERATURA CITADA	69
CAPÍTULO VI	73
CONCLUSIONES GENERALES	73
CAPÍTULO VII	75
BIBLIOGRAFÍA	75
ANEXOS	85

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Página

CAPÍTULO IV

Cuadro 1. Modelos generados para estimar el número de fustes por macollo en dos especies multifustales del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.....	33
Cuadro 2. Nombre científico, común y características dasométricas promedio de las diez especies estudiadas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.....	34
Cuadro 3. Características dasométricas promedio de las especies observadas en una parcela experimental del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.....	35
Cuadro 4. Estadísticos de ajuste de funciones para estimar biomasa foliar en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.....	37
Cuadro 5. Estadísticos de ajuste y funciones para estimar la biomasa ramal en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.....	38
Cuadro 6. Estadísticos de ajuste y funciones para estimar la biomasa fustal de diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México....	39
Cuadro 7. Estadísticos de ajuste y funciones para estimar biomasa total de diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.....	40
Cuadro 8. Modelo general para estimar biomasa total en todas las especies encontradas en la parcela experimental del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México	42

Cuadro 9. Biomasa aérea de las especies observadas en la parcela experimental del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.	43
Cuadro 10. Estadísticos de ajuste de las funciones volumétricas para estimar el volumen fustal en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco.	44
Cuadro 11. Volumen total y por especie en una fracción de Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.	46

CAPÍTULO V

Cuadro 1. Nombre científico, edad y características dasométricas promedio de las diez especies del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.	56
Cuadro 2. Modelos y estadísticos de ajuste de las funciones de potencia ajustados a la relación del volumen ponderado y la biomasa seca observada para diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.	57
Cuadro 3. Nombre y forma integral de los modelos de crecimiento ajustados a diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.	60
Cuadro 4. Estadísticos de ajuste y parámetros estimados de las funciones de crecimiento para diez especie típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.	61
Cuadro 5. Incrementos corriente (ICA), medio (IMA) anual y turno absoluto en producción de biomasa aérea en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de Mexico	66
Cuadro 6. Incrementos corriente (ICA), medio (IMA) anual y turno absoluto en captura de carbono por la biomasa aérea de diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.	67

FIGURAS

Figura 1 Curvas de crecimiento en biomasa aérea en diez especies forestales del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.	63
Figura 2. Curvas de ICA e IMA en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.....	65
Figura 3. Curvas de crecimiento en contenido de carbono en la biomasa aérea en diez especies forestales del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.....	68

ANEXOS

Cuadro 1. Base de datos para generar los modelos estadísticos y estimar biomasa aérea en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México	86
Cuadro 2. Estadísticos de ajuste de 4 funciones matemáticas para determinar el peso seco del follaje en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.....	90
Cuadro 3. Estadísticos de ajuste de 4 funciones matemáticas para determinar el peso seco de ramas en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.....	91
Cuadro 4. Estadísticos de ajuste de 4 funciones matemáticas para determinar el peso seco de fuste limpio en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.....	92
Cuadro 5. Estadísticos de ajuste de 4 funciones matemáticas para determinar el peso seco total en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.	93

RESUMEN

En éste trabajo de investigación se ajustaron ecuaciones para predecir la biomasa aérea por compartimento, el volumen fustal, el crecimiento e incremento en biomasa aérea y captura de carbono en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México. Las tecnologías matemáticas fueron aplicadas espacialmente a una parcela experimental localizada en el Matorral Escuela de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Los resultados mostraron al nivel espacial que la biomasa aérea en pie fue de 51.45 Mg ha^{-1} distribuida en follaje (4%), ramas (61%) y fustes (35%). Los volúmenes fustales alcanzaron $20.66 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Las tasas de crecimiento se ubican dentro de 2.25 kg año^{-1} y una producción anual de biomasa aérea de $4.11 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para las diez especies.

Este reporte enfatiza la necesidad de cuantificar la biomasa que se incorpora al suelo y las raíces como un complemento en los estudios de almacenamiento y captura de bióxido de carbono por la vegetación del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Palabras clave: Biomasa aérea, volumen fustal, crecimiento, incremento, almacén y captura de CO_2 , Matorral Espinoso Tamaulipeco, nordeste de México

ABSTRACT

In this research we fitted equations to predict standing aboveground biomass per compartment, stem volume, growth and increment in aboveground biomass and capture of carbon dioxide in ten typical species of the Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. The mathematical technologies were spatially applied to an experimental plot placed in the Matorral School of the Facultad de Ciencias Forestales of the Universidad Autónoma de Nuevo León. The results showed, at the spatial scale, that standing total aboveground biomass was 51.45 Mg ha^{-1} distributed in foliage (4%), branches (61%) and stems (35%). Stem volume approached $20.66 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Weighted increments at the plot scale attained a figure of 2.25 kg año^{-1} and a production of aboveground biomass of $4.11 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

This research points out the need to quantify leaf fall, soil organic matter and root biomass to fully develop storage and sequestration of carbon dioxide by the Tamaulipan Thornscrub of northeastern Mexico.

Key words: Aboveground biomass, stem volume, growth, increment storage and sequestration of CO₂, Tamaulipean Thornscrub, northeastern Mexico.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los gases con efecto de invernadero son: vapor de agua (H₂O), bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono estratosférico (O₃), monóxido de carbono (CO) y clorofluorocarbonos (CFC) (Andrasko, 1990). El bióxido de carbono desempeña el papel más importante con un 55-80% (Shand, 1996).

Actualmente la quema de combustibles fósiles provoca el 80% de las emisiones totales de CO₂ a la atmósfera y el 20% se debe a los procesos de deforestación. Estas son las causas principales del aumento en la concentración atmosférica del CO₂ de 280 ppm a 360 ppm en los últimos 200 años, con una tasa de incremento de 1.8 ppm año⁻¹ (Cannel, 1996). El 95% de las emisiones mundiales de CO₂ se producen en los países industrializados del hemisferio norte, con una tasa *per cápita* anual de 5 tC (toneladas de carbono). En los países en desarrollo, ésta tasa se encuentra entre 0.2 y 0.6 tC (Rotty & Marland, 1986). En México, la cifra se aproxima a 1.2 tC año⁻¹. Si esta tendencia continua durante los próximos 50 años puede esperarse una concentración de aproximadamente 630 ppm para el año 2100 (Tipper, 1996).

El informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático indica que los niveles crecientes de bióxido de carbono junto con otros gases con efecto de invernadero ocasionarán durante el próximo siglo un incremento en la temperatura media de la tierra de 1.5 a 4.0 °C (IPCC, 1995; Conway *et al.*, 1994; Harrington *et al.*, 1991; Andrasko, 1990).

La Organización Mundial de la Salud considera los efectos en la salud por el calentamiento global, incluyendo mayor frecuencia de tormentas severas y un aumento en el nivel del mar inundando ciudades costeras debido a la fusión del hielo de los casquetes polares (OMS, 1990; Andrasko 1990). Problemas en la disponibilidad de alimento, agua y cambios radicales en los modelos de las enfermedades podrían dar lugar a que se presentaran grandes migraciones de personas ocasionando inestabilidad social (Sanderson 1992).

El manejo de la vegetación forestal puede ayudar a reducir los incrementos de CO₂ (Conway *et al.*, 1994; Schroeder *et al.*, 1993; Booth, 1991; Bruenig, 1991; Andrasko, 1990). En teoría, el efecto de la captura de carbono puede ser cuantificado estimando el almacenamiento de carbono en la biomasa forestal, ya que las plantas verdes absorben el carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis separando el átomo de carbono de los átomos de oxígeno. El oxígeno es devuelto a la atmósfera y el carbono es empleado para producir la biomasa en forma de raíces, tallos y follaje (Tipper, 1996; Brown, 1996; IPCC, 1995). Afortunadamente éstos servicios ambientales que proveen los bosques están siendo apreciados cada vez mas durante los últimos años (Kari, 1998).

Los bosques naturales cubren alrededor de 3.4 Gha (Gha = 10^9 o sea mil millones de ha) (FAO 1995). La mayoría de los bosques se encuentran en latitudes tropicales (0-25° N&S) (52%), templadas (25-50° N&S) (18%) y boreales (50-75° N&S) (30%). Hay además alrededor de 1.7 Gha de chaparrales, arbustos y matorrales. Además, en las zonas tropicales existen 31 Mha (Mha = 10^6 o 1 millón de ha) de plantaciones y otros 37.6 Mha en países en desarrollo de latitudes templadas (FAO 1995).

En México, los bosques, selvas y otras áreas con vegetación ocupan 72% del territorio nacional. Del total, 55 millones de ha son bosques y selvas que representan más del 25% del territorio nacional. Los bosques de coníferas ocupan 21, los latifoliados 9.5 y el bosque mesófilo de montaña 1.4 millones de ha (SARH, 1994).

La vegetación en el estado de Nuevo León ocupa 5,196,346 ha de las cuales 348,637 ha corresponden a la superficie arbolada y 4,847,709 están ocupadas por vegetación de matorral y de zonas áridas (SARH, 1994). Sin embargo, los cambios de uso del suelo a través de la práctica tradicional de tumba, roza y quema de la vegetación propician un ciclo muy dinámico en la liberación y captura del bióxido de carbono en este ecosistema.

Estimaciones de la FAO para 1995, indican que cada año la superficie forestal en los países en desarrollo se reduce en unos 12 millones de hectáreas, mientras que en los países desarrollados crece en unos 2 millones de hectáreas (Persson y Janz, 1997).

En México la tasa de deforestación varía desde 370 000 a 1.5 millones ha año⁻¹ para la década de los ochenta. La pérdida anual en selvas se estima entre 189 000 y 500 000 ha año⁻¹; mientras que en bosques se destruyen de 127 000 a 167 000 ha año⁻¹ y en vegetación de zonas áridas se estima que se pierden aproximadamente 50 000 ha año⁻¹ (SARH, 1994). Las principales causas de la deforestación han sido, en orden de importancia, la apertura de terrenos para la ganadería y agricultura (92%), los incendios (2.3 %), la tala ilegal (2.0%) y otras causas de menor importancia (SARH, 1993).

El Matorral Espinoso Tamaulipeco cubre aproximadamente 200 000 km² a lo largo de la planicie costera del Golfo de México y el sur de Texas, desde Llera de Canales y los límites sureños de la Sierra Azul en Tamaulipas (González, 1985) hasta el Altiplano Edwards en Texas (Diamond *et al.*, 1987). La biomasa del matorral se ha utilizado para satisfacer las necesidades forrajeras, energéticas, de estantería, construcciones rurales, alimentaria y medicinal (Reid *et al.*, 1990; Estrada y Marroquín, 1990; Villalón, 1989; Heiseke y Foroughbakhch, 1985; Heiseke, 1984; Alanís, 1982). La mayoría de las especies leñosas pertenecen al grupo de uso múltiple (50%) y sólo el 30-35% tiene uso forrajero (Foroughbakhch, 1990). Sin embargo en la planicie Costera del Golfo Norte del Estado de Nuevo León se ha estimado una tasa de cambio del uso del suelo del 11.8% para la década de los 1980's (Maldonado, 1992).

El desconocimiento de los servicios ambientales que presta la vegetación del Matorral Espinoso Tamaulipeco es evidente. Las estimaciones de volúmenes maderables, biomasa y su

tasa de crecimiento son claves para entender los bienes y servicios que las comunidades vegetales prestan (Vanclay, 1995; Clutter *et al.*, 1983).

El presente trabajo pretende aportar información sobre el ajuste y comparación de modelos para estimar biomasa y su tasa de crecimiento como una aproximación para la captura de carbono al nivel del arbusto individual en diez especies forestales del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

Objetivo General:

Desarrollar y ajustar tecnologías matemáticas para estimar la biomasa aérea y la tasa de crecimiento e incremento en biomasa como parte fundamental en la evaluación del carbono almacenado y su tasa de captura de diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Objetivos Específicos:

1. Generar, ajustar y probar ecuaciones para estimar biomasa foliar, ramal y fustal así como volumen fustal de diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.
2. Estimar la cantidad de CO₂ capturado en la biomasa aérea a nivel espacial.

3. Ajustar y comparar modelos de crecimiento en biomasa aérea y captura de carbono a nivel del arbusto individual en diez especies forestales del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

4. Resaltar el valor ecológico de las especies en estudio y su contribución en el almacenamiento de CO₂ atmosférico como un servicio ambiental.

Hipótesis

Las especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco almacenan y capturan a través de la fotosíntesis el CO₂ integrándolo como biomasa en los compartimentos hojas, ramas y fustes a una tasa similar en tiempo y en espacio.

CAPÍTULO III

LITERATURA REVISADA

La convención sobre el Cambio Climático

En 1992, en Río de Janeiro, se suscribió la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. La Agenda 21 fue el documento que incluyó los compromisos establecidos para garantizar el manejo sustentable de los recursos forestales y otros recursos naturales (Norse, 1996). Los países participantes adoptaron la creación de tres convenciones: la convención sobre el cambio climático, la convención sobre la biodiversidad y la convención sobre el combate a la desertificación. Dentro de los acuerdos del Tratado de Río sobre el Cambio Climático se acordó que cada país debe desarrollar estrategias nacionales para la reducción de las emisiones de CO₂ y que estas estrategias deben estar basadas en el conocimiento preciso del inventario de las emisiones de cada país (IPCC, 1995). La primera y segunda Conferencias de las Partes de la convención sobre el cambio climático celebradas en Berlín en 1995 y Ginebra en 1996 decidieron completar la Convención con un Protocolo que estableciera compromisos cuantitativos de reducción de emisiones de gases de efecto de invernadero con plazos definidos, para lo cual decidieron reunirse nuevamente en Kyoto, Japón en 1997 (Brand, 1998).

El protocolo de Kyoto

Del 1º al 10 de diciembre de 1997 se celebró en Kyoto, Japón la Tercera Conferencia de las Partes de la Convención sobre Cambio Climático. Los distintos grupos de países llegaron con muy divergentes propuestas en relación con los compromisos de reducción de emisiones. Tomando como año base 1990, los países de la Unión Europea proponían una reducción de 15% para el año 2010. EE.UU, Japón y otros países industrializados no acordaron realizar tales esfuerzos. Diversas propuestas apuntaban hacia reducciones inferiores al 5%. Los EE.UU. sólo ofrecieron regresar a sus niveles de emisión de 1990 para el periodo 2008-2012. Para el período 2008-2012, la Unión Europea, como grupo, reducirá sus emisiones en 8%; los Estados Unidos en 7%; Japón y Canadá en 6%; Rusia, Ucrania y Nueva Zelanda no tendrán ninguna reducción; Australia podrá inclusive aumentar sus emisiones. Se decidió no incluir en esta etapa de compromisos adicionales a países del Tercer Mundo. El Protocolo de Kyoto abarca seis gases con efecto invernadero: el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los hidrofluorocarbonos (HFCs), los perfluorocarbonos (PFCs) y el hexafluoruro de azufre (SF₆). Para los tres últimos, se determinó el año base de 1995, pues prácticamente no se producían en 1990; se trata de gases que se liberan en pequeñas cantidades, pero que no pueden ser absorbidos por los ecosistemas ya que no existen "sumideros" naturales y poseen un enorme potencial de captación de radiaciones caloríferas y permanecerán en la atmósfera, absorbiendo calor, durante miles de años (Alatorre, 1997).

El Efecto invernadero

La energía solar llega en forma de radiación de onda corta, parte de la cual es reflejada por la superficie terrestre y la atmósfera. La mayor parte de la energía solar pasa directamente a través de la atmósfera para calentar la superficie de la Tierra. Esta se desprende de dicha energía enviándola nuevamente al espacio en forma de radiación infrarroja, de onda larga. El vapor de agua, el bióxido de carbono y los otros gases de efecto invernadero que existen en forma natural en la atmósfera absorben gran parte de la radiación infrarroja ascendente que emite la Tierra impidiendo que la energía pase directamente de la superficie terrestre al espacio. A su vez, procesos de acción recíproca como la radiación, las corrientes de aire, la evaporación, la formación de nubes y las lluvias transportan dicha energía a altas esferas de la atmósfera y de ahí se libera al espacio.

Al aumentar la capacidad de la atmósfera para absorber la radiación infrarroja, las emisiones de gases de efecto invernadero alteran la forma en que el clima mantiene el equilibrio entre la energía incidente y la irradiada. De no registrarse ningún otro cambio adicional, la duplicación de la concentración de gases de efecto invernadero de larga vida proyectada para comienzos del próximo siglo reduciría en 2 % la proporción de la energía en que el planeta emite al espacio. La energía no puede acumularse por que el clima deberá adaptarse de alguna manera para deshacerse de ese excedente. Un 2 % puede no parecer mucho, tomando a la Tierra en su conjunto, ello equivale a retener el contenido energético de 3 millones de toneladas de petróleo por minuto (SEMARNAP, 1998).

Fotosíntesis

En la fotosíntesis, los compuestos orgánicos son producidos a partir del agua y el CO₂ con ayuda de la energía solar, esta reacción produce celulosa, lignina, azúcares, grasas, almidones, proteínas, resina, fenoles y muchas otras sustancias, lo que convierte a este proceso como una de las principales síntesis químicas de nuestro planeta (Steinlin, 1984).

Como el proceso de fotosíntesis utiliza la energía solar, la formación de una tonelada de madera equivale a la absorción de aproximadamente 4,3 millones de kilocalorías que, de otra forma, resultarían en calentamiento de la atmósfera (Stamm, 1964). No todas las plantas absorben CO₂ a la misma velocidad, notándose la diferencia entre dos clases principales de plantas: las C3 y las C4, llamadas así por la forma diferente en que absorben el CO₂ en el proceso fotosintético en la fase oscura (Bidwell, 1979). En la primera etapa de la absorción las plantas C3 elaboran una molécula con tres carbonos, mientras que las C4 con un mecanismo de asimilación de carbono más eficaz elaboran una molécula de 4 átomos. Como las C3 son menos eficientes en cuanto a la asimilación de carbono dependen de la simple difusión del CO₂ por sus tejidos, por lo que las concentraciones altas de este gas contribuyen a esta difusión, siendo menos importantes para las plantas C4. El resultado es que las plantas C3 se benefician más que las C4 de las concentraciones más altas (Llerena, 1991).

Biomasa

Se puede definir la biomasa como el conjunto de materiales orgánicos generados a partir de la fotosíntesis o bien producidos en la cadena biológica, pudiéndose distinguir así dos grandes tipos: biomasa vegetal y biomasa animal. La utilización por el hombre y por los animales de sólo una parte de la biomasa a su disposición genera una biomasa residual, mientras que lo que hoy día se conocen como combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo) no es otra cosa que biomasa fósil. Aproximadamente el 90% de la biomasa acumulada en la tierra se encuentra en los bosques en forma de fustes, ramas, hojas, raíces y materia orgánica (Raev *et al.*, 1996; Leith and Whitacker, 1975). Se estima que la producción neta anual de biomasa a nivel mundial oscila entre 50 a 75 X 10⁹ t (Roeb y Führ, 1990; Letith y Whitacker, 1975).

Se calcula que por lo menos el 40% del carbono de la biomasa del árbol completo se encuentra en las hojas y en las ramas que se queman o se descomponen rápidamente después de la corta del árbol. Del 60% del carbono restante, las operaciones de transformación dejan menos de la mitad del volumen total en el producto final; esto significa que aproximadamente el 75% del carbono que había almacenado en el árbol regresa a la atmósfera (Schroeder *et al.*, 1993).

Los estudios de biomasa son escasos en México (PICC, 1995). Esta información es clave para determinar el CO₂ almacenado en la vegetación. La producción de biomasa y su distribución en los componentes del árbol son dos características importantes de estimar en

las especies forestales, ya que con esta información se pueden proponer diferentes prácticas silvícolas, además se puede definir la cantidad de madera aprovechable para diferentes usos (Castellanos *et al.*, 1996).

Crecimiento e incremento

El árbol forma durante el periodo de actividad vegetativa capas de tejido a partir de los meristemas secundarios. En el xilema o leño, ese tejido se acumula y forma los anillos o capas de crecimiento. Si la producción de estos anillos es anual se denominan anillos anuales. Cuando esto sucede el conteo de anillos permite la determinación de la edad del árbol lo cual es frecuente en zonas templadas con estaciones bien diferenciadas, pues la actividad cambial responde a la periodicidad estacional. Los factores que limitan la actividad cambial son la temperatura y la humedad (Giménez, 1992). Este problema se agudiza en regiones tropicales y subtropicales donde la visibilidad de los anillos no es muy buena y se desconoce su tasa de crecimiento (Eckstein *et al.*, 1980). Se sabe que en zonas áridas y semiáridas la actividad cambial está influida por el inicio de las lluvias y cesa cuando comienza la estación de secas (Fahn, 1963)

El crecimiento de los bosques puede ser entendido como un proceso continuo, que incluye una entrada, un movimiento y una salida de materia. La entrada es el ingreso, el movimiento el crecimiento y la salida la mortalidad. (Arce *et al.*, 1998). El proceso de crecimiento está afectado por diversos factores, los cuales son de orden ambiental, como el clima y hábitat o de orden genético asociado a características propias del individuo y su

origen. La mayoría de los estudios de crecimiento basan las explicaciones del fenómeno en las características del sitio, que involucran al conjunto de factores ambientales (Bahamondez *et al.*, 1998; Vanclay, 1995; Clutter *et al.*, 1983).

Ciclo Global del Carbono

El ciclo global del Carbono es reconocido como uno de los principales ciclos biogeoquímicos debido a su papel en la regulación de la concentración en la atmósfera de CO₂, importante gas de efecto invernadero. Las concentraciones crecientes de CO₂ en la atmósfera son una contribución importante al cambio climático (Schimel *et al.*, 1995). Los bosques son los almacenes más importantes del mundo y son responsables por la mayor parte de los flujos de carbono entre la tierra y la atmósfera. Los procesos fundamentales de estos flujos son la fotosíntesis (captura de CO₂ para formar carbohidratos) y la respiración (la oxidación de carbohidratos para liberar CO₂). Durante miles de años éstos flujos han sido balanceados (Tipper, 1996).

Captura de Carbono

La captura de carbono consiste en el almacenamiento de carbono en suelos, bosques y otros tipos de vegetación. Todas las plantas absorben bióxido de carbono y lo transforman en carbohidratos. Debido a la menor superficie total foliar (índice foliar), los cultivos agrícolas consumen menos bióxido de carbono en comparación con los bosques. Por ello, la corta de bosques para transformarlos en cultivos agrícolas ocasiona la reducción en el almacén del

bióxido de carbono (Panhwar, 1996). En un bosque la fijación de carbono no se restringe solamente a las partes aéreas de los árboles, se pasa también a las raíces y al propio suelo, que puede almacenar cantidades importantes por periodos de tiempo muy largos. En otras palabras, a medida que se extraiga periódicamente madera del bosque, una cantidad significativa de carbono permanece absorbida en el suelo y en las raíces (Ramos de Freitas, 1998).

Aunque los bosques son importantes consumidores del bióxido de carbono si se comparan con otros sistemas vegetales, también tienen el papel contrario cuando son destruidos por el fuego, mal manejo, plagas, cambio de uso de suelo, etc. Los incendios forestales emiten gases de efecto invernadero como el metano (CH₄), el monóxido de carbono (CO), el óxido nitroso (NO₂), bióxido de carbono (CO₂) etc. Por ello, se necesitan inventarios de resultados confiables para calcular las pérdidas y ganancias de bióxido de carbono de los ecosistemas forestales (Brown *et al.*, 1993).

Los bosques que tienen crecimiento neto son capaces de capturar CO₂ mientras que los bosques maduros que crecen poco retienen el carbono ya fijado pero son incapaces de almacenar más CO₂ y los bosques que experimentan una pérdida neta de biomasa por la mortalidad debido a la decadencia de la masa forestal se convierten en emisores de CO₂. (Kyrklund, 1990).

El potencial de captura de carbono de la atmósfera es sensible a la tasa de crecimiento del bosque. Los valores de captación de C en bosques productivos, incluyendo el suelo y la hojarasca, pueden variar desde 0,8 a más de 5 MgC ha año⁻¹ (Nabuurs y Mohren 1993).

Tipper (1996) menciona que las plantaciones de árboles en pastizales o terrenos degradados pueden capturar de 120 a 250 tC ha⁻¹. La introducción de árboles maderables entre cultivos anuales o perennes entre 80 tC ha⁻¹; el mejoramiento de bosques semidegradados hacia bosques de alta productividad entre 80 a 200 tC ha⁻¹; la introducción de árboles forrajeros y de sombra en pastizales de 40 a 100 tC ha⁻¹; la conservación y mejoramiento de suelos de 60 a 110 tC ha⁻¹; el establecimiento de cercas vivas de 20 a 60 tC ha⁻¹; la conservación de bosques naturales amenazados por la deforestación entre 150 a 300 tC ha⁻¹.

Mery y Kanninen (1998) estimaron la captura de carbono en plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus*, la cantidad total de carbono almacenado fue de 64,6 tC ha⁻¹ en *Pinus radiata* y en las plantaciones de eucaliptos de 48,8 tC ha⁻¹, considerando que el contenido de carbono en la molécula de CO₂ es 27,3 % se llegó a la conclusión que la cantidad de carbono atmosférico secuestrado por las plantaciones forestales chilenas fue de 48,6 Tg (Tera gramos o millones de toneladas). Maclaren (1996) por otra parte estimó un almacenamiento total de C en la biomasa de plantaciones de *Pinus radiata* de 231 MgC ha⁻¹ en Nueva Zelanda.

Schroeder *et al.*, (1993) presentaron cinco de las mejores alternativas para almacenar la mayor cantidad de CO₂ por unidad de área: la regeneración natural en zonas tropicales, en valores medios puede almacenar hasta (195 tC ha⁻¹); la repoblación en zonas templadas puede

tener el potencial de almacenar hasta (120 tC ha^{-1}); la agrosilvicultura en zonas tropicales se ha calculado un valor medio de (95 tC ha^{-1}); la práctica de reforestación en zonas tropicales tiene un valor medio de (65 tC ha^{-1}) y la práctica de reforestación de zonas templadas tiene un valor medio de (56 tC ha^{-1}). Las prácticas silvícolas alcanzan valores medios más bajos en latitudes boreales con 10 tC ha^{-1} , seguidas por latitudes templadas 26 tC ha^{-1} y tropicales 34 tC ha^{-1} .

Nilsson y Schopfhauser (1995) estimaron que a nivel mundial podría disponerse de un total de $345 \times 10^6 \text{ ha}^{-1}$ de terreno para capturar C con una tasa máxima de $1,14 \text{ Pg año}^{-1}$ en la biomasa aérea después de 60 años, con un promedio de $3,3 \text{ MgC ha año}^{-1}$.

Los bosques poseen, como ya se explicó, la tasa de captura de carbono más alta. Green *et al.*, (1993) encontraron en el valle de Tennessee que durante la estación de crecimiento el maíz produjo 5.2 tC ha^{-1} , mientras que los pastos produjeron sólo 2.22 tC ha^{-1} .

Sumideros de carbono

El término sumidero de carbono se aplica al área donde el rango de captura de carbono por los organismos vivos exceden el rango de liberación, acumulándose en formas orgánicas e inorgánicas (Brown *et al.*, 1993; Tipper y De Jong, 1998). Dado que la velocidad de absorción de CO_2 es directamente proporcional al crecimiento, se deduce que preservar los bosques naturales es una manera poco eficiente de fijar CO_2 ; en cambio, una ordenación

basada en cosechar sustentablemente permite fijar el máximo posible de CO₂ (Kyrklund, 1990).

Emisiones de CO₂ atmosférico

Desde comienzos de la revolución industrial se han emitido a la atmósfera aproximadamente 235 GtC a consecuencia de la quema de combustibles fósiles (Guehl, 1997). Otras 80 a 150 GtC han sido adicionadas a la atmósfera como resultado de la deforestación (Houghton & Skole, 1990). Actualmente la tasa anual de emisión de CO₂ a la atmósfera es de aproximadamente de 5.4 GtC por quema de combustibles fósiles y 2.0 GtC debidas a la deforestación. La producción de cemento es otra actividad humana que ha desplazado a la deforestación como fuente emisora de CO₂ con alrededor de 5.7 GtC año⁻¹ (Guehl, 1997). México se ubica dentro los 15 mayores emisores del mundo, las emisiones nacionales del sector urbano e industrial se estiman en 110 MtC año⁻¹. Las emisiones de CO₂ debido al cambio de uso de suelo varían de 49 a 129.3 MtC debidas principalmente de la deforestación (SEMIP, 1991; Tipper, 1996).

Numerosos fenómenos naturales y actividades antropogénicas producen gases con efecto de invernadero, los relacionados con ecosistemas forestales incluyen pantanales (CH₄), rumiantes salvajes y pequeños herbívoros (CH₄), las termitas (CH₄), incendios forestales (CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO). Esta emisión de gases de invernadero se ha mantenido relativamente constante desde hace miles de años. En cambio las actividades humanas han originado un incremento importante en el aporte de gases a la atmósfera; entre las fuentes de

emisión se encuentra la quema de combustibles fósiles (CO_2), la deforestación (CO_2), la combustión de madera y carbón vegetal como fuente de energía (CO_2) (Andrasko, 1990).

La cantidad de CO_2 liberado a la atmósfera vía el consumo de combustibles fósiles a través de industria y por el proceso de producción de energía depende de la cantidad de combustible que se consume y en el volumen del carbono real del combustible consumido.

La mayor parte de los procesos productivos, el transporte y los sistemas domésticos dependen de la energía derivada de los combustibles fósiles. Una consecuencia del uso de los combustibles fósiles es la emisión de carbono. La emisión global por el uso de dichos combustibles se ha incrementado 3.5 veces desde 1950 y actualmente se ubica en alrededor de 6.2 GtC año^{-1} . Se ha calculado que la temperatura global sería aproximadamente 30°C menor sin la presencia de CO_2 . Pero al contrario, si se incrementa la concentración de CO_2 se provocará un aumento en la temperatura global y posiblemente cambios o trastornos profundos en los regímenes de los climas regionales (Tipper, 1996).

Acumulación de carbono en el sistema

El flujo de energía en un ecosistema puede ser considerado desde dos puntos de vista, el de la producción dado por los organismos autótrofos que incluye árboles, arbustos y otras plantas verdes que ocupan una localización espacial y el segundo componente que es el de consumo representado por los organismos heterótrofos que agrupan tanto a herbívoros que se alimentan de las plantas verdes como a los depredadores que se alimentan de los herbívoros

(Hocker, 1984). La producción de un sistema está dada por la relación producción primaria bruta menos la respiración autotrófica y heterotrófica. En un sistema equilibrado no se presentaría normalmente ni un incremento ni una disminución en la acumulación de carbono (Harris, 1975).

Hasta el último siglo la concentración de CO₂ en la atmósfera ha sido determinada principalmente por los intercambios o flujos entre el aire y la vegetación sobre la tierra y los océanos. En la vegetación terrestre, el carbono está almacenado en forma de carbohidratos y otros compuestos químicos orgánicos (biomasa); el carbono representa aproximadamente el 50% del peso de la madera. Los bosques son los almacenes más importantes y son responsables por la mayor parte de los flujos de carbono entre la tierra y la atmósfera. Durante la mayoría del período del desarrollo de las civilizaciones estos flujos han sido balanceados (Tipper, 1996).

El tiempo de residencia del carbono en las diferentes porciones del sistema varía con las partes de las plantas involucradas. Las hojas, pequeñas raíces, corteza y otros materiales que se desprenden anualmente son descompuestos rápidamente en 1 a 2 años; los tallos leñosos viven mucho más y sus componentes se reincorporan dentro del ciclo orgánico y mineral en intervalos prolongados; el humus que se encuentra en el suelo tarda mucho tiempo en descomponerse casi como la madera de los tallos, sin embargo debido a la gran cantidad de mantillo fino que se produce cada año en comparación con la madera de fustes, el tiempo total del ciclo del carbono en el sistema muestra un periodo de 10 años (Möller, *et al.*, 1954)

Para estimar la biomasa de un rodal se pueden utilizar modelos que pueden ser usados para verificar la cantidad de carbono almacenado (Monserud, 1995).

Densidad de la madera y la corteza

La biomasa generalmente se calcula multiplicando el volumen por la densidad de la madera, determinada ésta por medio de pequeñas muestras de madera sólida (Brown & Lugo, 1992). El porcentaje de biomasa representado por la corteza es aproximadamente del 7.22% (Revilla, 1987).

El tipo de densidad para estimar la biomasa de volúmenes forestales es la densidad básica (peso seco entre volumen húmedo). La variación de la densidad a lo largo del fuste es una vía potencial para determinar la biomasa no sólo utilizando muestras de un punto del fuste que normalmente es a 1.30 m, esto es, el DAP. Cuando se determina la biomasa basada en la densidad de la madera al DAP, se puede correr el riesgo de sobrestimar esta cantidad. Si el volumen forestal estimado usa el cálculo de biomasa referido al volumen con corteza, entonces el valor de la densidad básica de la madera deberá ser ajustado por la influencia de la corteza, además también se deben hacer ajustes por diferencias entre albura y duramen ya que la densidad de una y otra varía (Fernaside, 1996).

Estimación de la absorción de carbono

Para estimar la captura de carbono se debe partir de algunos supuestos básicos, por cada gramo de materia seca original de biomasa vegetal hay aproximadamente 0.45 gr de carbono. Cada gramo de materia seca tiene un equivalente de 18.5 joules, y como 1 ly equivale aproximadamente a 4.1869 K joules, son necesarios 4.42 ly para producir un gramo de materia seca y 0.45 gr de carbono. Si la producción bruta de carbono es de 2.162 gramos, en esta masa existe un contenido energético de aproximadamente 21.23 ly de energía (Larcher, 1975).

Descripción de las especies estudiadas

Cordia boissieri DC (Anacahuita), Familia *Boraginaceae*

Arbusto o árbol pequeño hasta de 8 m de altura, con un tronco hasta de 20 cm de diámetro. Hojas gruesas, rígidas, ovadas a ovadas - lanceoladas hasta de 20 cm de largo y 15 cm de ancho; el pecíolo es de hasta 4 cm de largo; la base es ligeramente redondeada a ligeramente cordada, el ápice es agudo a ampliamente obtuso, el limbo es escabroso en el haz y suavemente tomentoso en el envés. Inflorescencias en cimbras de seis a ocho flores, corola en forma de embudo, blancas. Fruto ovoide de 2 a 3 cm de largo ligeramente café brillante. La madera es de poco valor, sin embargo es utilizada en la construcción de corrales. El follaje y los frutos son consumidos por el ganado. Las hojas, flores y tallos son utilizados en medicina

popular contra afecciones bronquiales y reumatismo. Además este arbusto es plantado con fines ornamentales (Rodríguez *et al.*, 1988).

Helietta parvifolia Beneth (Barreta), Familia Rutaceae

Arbusto de 2 - 4 m de altura, inerme; las hojas son opuestas, trifoliadas de 3.5 -5 cm de largo, la mayoría glabras; los folíolos son sésiles o casi sésiles de forma oblonga - ovobada, de ápice redondeado. Flores en panículas terminales, perfectas, pequeñas; cáliz de tres a cuatro sépalos de 2 mm de ancho; corola de tres a cuatro pétalos ovados a ampliamente elípticos. El fruto formado por tres o cuatro carpelos indehiscentes, parecidos a sámaras, la especie abunda en los lomeríos. La madera es utilizada para la obtención de postes para la construcción de cercas (Rodríguez *et al.*, 1988).

Condalia hoockeri Johnst (Brasil), Familia Rhamnaceae

Árbol o arbusto pequeño de hasta 6 m de altura. Hojas ovadas de 15 - 20 mm de largo y 9 - 12 mm de ancho; el ápice es mucronado o redondeado y algunas veces truncado. Flores verdes, solitarias o en fascículos casi sésiles. El fruto es una drupa globosa de 5 - 6 mm de diámetro, de color azul oscuro, casi negra, de pericarpio carnoso y dulce. La madera es utilizada principalmente como leña, el fruto es comestible (Rodríguez *et al.*, 1988).

Diospyros texana Eastw (Chapote blanco) Familia *Ebanaceae*

Arbusto o árbol pequeño hasta de 10 m de altura; madera dura, corteza lisa de color gris-rojizo, delgada, separándose del tallo y ramas. Las hojas son de hasta 5 cm de longitud, casi sésiles, coriáceas, de forma oblongo ovobadas a ampliamente ovadas. La corola es blanca, serícea de 8 a 12 mm de longitud. El fruto es de color negro en la madurez, globoso, de 2 cm de diámetro, con tres a ocho semillas. La fina madera de este árbol es utilizada en ebanistería, sin embargo se utiliza en la fabricación de mangos para herramienta. El fruto es muy astringente en estado inmaduro, pero en la madurez se torna dulce y comestible. La pulpa oscura del fruto contiene un colorante fuerte que es utilizado en algunos lugares para teñir lana (Rodríguez *et al.*, 1988).

Acacia rigidula Benth (Gavia), Familia *Mimosaceae*

Arbusto de 1 - 3 m de altura, de corteza grisácea, ramas muy numerosas y cortas, con espinas estipulares en pares, rectas y grisáceas con longitud de 1.5-4.5 cm de largo. Hojas alternas, bipinnado compuestas de 1.5-3.8 cm de largo; pecíolo 1.5-3 mm de largo. La inflorescencia está dispuesta en racimos espigados, agrupados en conjuntos de 3-6, de 2-3.5 cm de largo. El fruto es una vaina linear de 4-9.5 cm de largo y de 4.5-5.5 mm de ancho, curvado, café obscuro o negruzca. El follaje de éste arbusto es consumido por el ganado. La madera es utilizada como leña (Rodríguez *et al.*, 1988).

Celtis pallida Torr. (Granjeno), Familia *Ulmaceae*

Arbusto hasta de 3 m de altura con ramas espinosas, espinas en pares de hasta 2.5 cm de longitud. Hojas ovadas o elípticas, hasta de 3 cm de longitud y 2 cm de ancho, usualmente más pequeñas, ápice agudo a redondeado. Las flores son pequeñas, blancas, agrupadas en cimas de tres a cinco flores. El fruto es una drupa ovoide y glabra, aproximadamente de 6 mm de longitud, color naranja o rojo con pulpa jugosa. La madera es utilizada como leña y para postes para cercas, el fruto es comestible, pero algo astringente, se dice que las flores son melíferas (Rodríguez *et al.*, 1988).

Acacia berlandieri Benth. (Huajillo), Familia *Mimosaceae*

Arbusto de hasta 4 m de altura, generalmente con varias ramas principales que parten a poca altura del suelo, espinas pequeñas, rectas de 2 mm de largo; hojas compuestas, bipinnadas de 7-12 cm de largo; pecíolo de 1.5-2 cm de largo; pinnas de 6-9 pares por hoja de 3-4.9 cm de largo. Las inflorescencias están dispuestas en cabezuelas amarillas de 1-1.3 cm de diámetro; pedúnculos 9-13 mm de largo. El fruto es una vaina de 7-12 cm de largo, oblonga recta o ligeramente curvada con dehiscencia longitudinal, el fruto queda largo tiempo adherido a las infrutescencias. El follaje es consumido por el ganado, sin embargo, si la cantidad es excesiva puede causar intoxicación. Es una excelente fuente de néctar (Rodríguez *et al.*, 1988).

Acacia farnesiana (L.) Willd. (Huizache), Familia Mimosaceae

Arbusto o árbol pequeño de 2 -4 m de altura; ramificaciones armadas con espinas rectas, en pares que representan las estípulas de las hojas modificadas. Las hojas son de 3 - 8 cm de largo; pinas de dos a seis pares; folíolos numerosos linear - oblongos de 3 - 5 cm de largo. Flores en cabezuelas amarillas globosas de 1 cm de diámetro, muy aromáticas. El fruto es una vaina de 3 - 8 cm de longitud, casi cilíndricas, adelgazándose en ambos extremos, negruzca y lisa, con las valvas coriáceas; semillas en dos hileras. Esta planta se ha utilizado como ornamental debido a sus fragantes flores. La corteza y fruto contienen taninos utilizados en curtiduría. Los exudados gomosos del tronco son utilizados para elaborar pegamentos. El follaje es de gran valor forrajero sobre todo en invierno. La madera se utiliza para diversos propósitos. Las hojas secas pulverizadas se utilizan para curar heridas (Rodríguez *et al.*, 1988).

Pithecellobium pallens (Benth.) (Tenaza), Familia Mimosaceae

Arbusto de 3-4 m de altura, follaje poco denso de color verde pálido, corteza café pálido grisáceo y algo lisa, ramas armadas con espinas nodales de 8-19 mm de largo; hojas alternas, bipinnado compuestas, 5-11 cm de largo, pinnas 4-7 pares por hoja de 2-4.5 cm de largo; folíolos de 14-22 pares por pina, oblongos, 4.5-6.5 mm de largo y de 1.1-1.5 mm de ancho, ligeramente oblicuos, diminuta y esparcidamente pubescentes. Las inflorescencias están dispuestas en cabezuelas esféricas, blanquecinas de 1.5-2 cm de diámetro, axilares, o en

racimos terminales. El fruto es una vaina oblonga, aplanada, 6-9 cm de largo, 9-12 mm de ancho, dehiscente, ápice terminado en un pico corto, valvas engrosadas en los márgenes, color café claro u oscuro. La madera es utilizada en la fabricación de mangos para herramienta, también se utiliza en la fabricación de sillas y otros objetos. Esta planta es de un importante valor forrajero para cabras y borregos (Rodríguez *et al.*, 1988).

Eysenhardtia texana Scheele. (Vara dulce), Familia Fabaceae

Arbusto inerme, de abundantes ramas delgadas, hasta de 3 m de altura. Las hojas son alternas, imparipinadas, con puntos glandulosos, de 3 - 9 cm de longitud; folíolos de 15 - 47 por hoja, la mayoría de 5 - 12 mm de largo, oblongos, finalmente puberulentos. Las flores en racimo de 3 a 11 cm de longitud, los pétalos de 4 - 5 mm de largo, de color blanco a amarillo pálido. El fruto es una vaina de 7 - 10 mm de longitud y de 2 - 2.5 mm de ancho, curva, con puntos glandulosos y con una semilla. El follaje es consumido por el ganado, las aromáticas flores producen abundante néctar. En medicina tradicional se le utiliza como diurético y como preventivo de enfermedades de las vías urinarias (Rodríguez *et al.*, 1988).

CAPÍTULO IV

ECUACIONES PARA ESTIMAR BIOMASA Y VOLUMEN FUSTAL EN DIEZ ESPECIES TÍPICAS DEL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO DEL NORDESTE DE MEXICO

EQUATIONS TO ESTIMATE BIOMASS AND STEM VOLUME IN TEN SPECIES TYPICAL OF THE TAMAULIPAN THORNSCRUB OF THE NORTH EASTERN, MEXICO

Juan Nájera¹, José Návar² y Guillermo Romero¹

¹Estudiantes de Maestría en Ciencias Forestales, ²Profesor Investigador, Facultad de Ciencias Forestales, UANL Km 145 Carretera Nacional Linares, N.L 67700 México e-mail: jnavar@ccr.dsi.uanl.mx. jalnajera@hotmail.com.

1. RESUMEN

Se desarrollaron ecuaciones para estimar biomasa y volumen fustal de diez especies representativas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México. Se muestrearon destructivamente 15 arbustos por especie para determinar la biomasa foliar, ramal, fustal y total así como el volumen fustal. Los modelos desarrollados se aplicaron a la información

dasométrica de 2275 arbustos y arbustos medidos en una parcela experimental de 50 X 50 m del matorral utilizando las variables diámetro, altura y cobertura. La biomasa aérea estimada en la parcela, aplicando ecuaciones específicas para cada componente del árbol, fue de 51.45 Mg ha⁻¹ distribuida en hojas (4%), ramas (61%) y fustes (35%). Aplicando una ecuación general desarrollada para todas las especies resultó en una biomasa total aérea de 53.81 Mg ha⁻¹, indicando su buena bondad de ajuste y su potencial para todo el Matorral Espinoso Tamaulipeco.

Palabras claves: Ecuaciones para estimar biomasa y volumen fustal, Matorral, nordeste de México.

ABSTRACT

Equations to estimate biomass and stem volume of ten typical species of the Tamaulipan thornscrub of the northeastern, Mexico were developed. We sampled destructively 15 trees per species to measure biomass: foliar, branchal, fustal and total, as well as stem volume. The developed models were applied to the dasometric information of 2275 trees and shrubs observed in an experimental plot of 50 X 50 m, placed in the Tamaulipan thornscrub using the variable diameter, total height and total cover. Estimated aboveground biomass in the experimental plot using equations for each shrubs component, was 51.45 Mg ha⁻¹ distributed in leaves (4%), branches (61%) and stems (35%). Applying a general equation developed for all species, total aboveground biomass was 53.81 Mg ha⁻¹, indicating the goodness of fit and its potential to be applied to all species of the Tamaulipan thornscrub of the northeastern Mexico.

Key words: Equations to estimate aboveground biomass and stem volume, Thornscrub, northeastern Mexico.

2. INTRODUCCIÓN

El Matorral Espinoso Tamaulipeco cubre aproximadamente 200 000 km² a lo largo de la planicie costera del Golfo de México y el sur de Texas, desde Llera de Canales y los límites sureños de la Sierra Azul en Tamaulipas (González, 1985) hasta el Altiplano Edwards en Texas (Diamond *et al.*, 1987). Este ecosistema constituye una importante fuente forrajera donde el pastoreo se ha practicado en forma extensiva desde hace 350 años (Heiseke, 1984). La biomasa del matorral se ha utilizado también para satisfacer las necesidades energéticas, de estantería, construcciones rurales, alimentaria y medicinal (Alanís, 1982; Heiseke y Foroughbakhch, 1985; Reid *et al.*, 1990; Estrada y Marroquín, 1990). La mayoría de las especies leñosas presentes en esta comunidad pertenecen al grupo de uso múltiple (50%) y sólo el 30-35% tiene uso forrajero (Foroughbakhch, 1990).

El matorral espinoso almacena también una importante cantidad de bióxido de carbono en la biomasa. Sin embargo, los cambios de uso del suelo a través de la práctica tradicional de tumba, roza y quema de la vegetación y la recuperación de algunas especies por el abandono temporal de tierras agrícolas y pastizales propician un ciclo muy dinámico en la liberación y captura del bióxido de carbono en este ecosistema.

Los objetivos de este estudio fueron: 1) ajustar ecuaciones de biomasa y volumen y 2) probar su ajuste en una fracción del matorral espinos Tamaulipeco del nordeste de México.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco localizado dentro del Campus de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ubicado a 8 Km al sur de Linares, Nuevo León, dentro de las coordenadas geográficas 24° 47' latitud norte y 99° 32' longitud oeste. La zona fisiográfica de la Planicie Costera del Golfo se eleva gradualmente desde 50 m hasta 350 msnm en una topografía casi plana a excepción de una serie de lomeríos, cerros y mesetas de baja altura, entre 250 a 350 msnm (Alanís, 1998; SPP-INEGI, 1986).

La Planicie Costera del Golfo presenta variantes en los tipos de vegetación. En la región centro-este del estado de Nuevo León, próxima a los límites de la Sierra Madre Oriental prevalecen altos índices de humedad y por lo tanto las especies son de porte elevado. En la región norte y noroeste, donde la humedad desciende considerablemente, las especies presentan un porte menor. Los arbustos poseen fustes bien definidos y se presentan formas arbóreas de más de 6 m de altura (Alanís, 1998).

La vegetación está constituida por comunidades vegetales arbustivas características del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste del País. Este tipo de vegetación está dominado en el estrato arbóreo por: *Acacia berlandieri*, *A. farnesiana*, *A. greggi*, *A. rigidula*, *Celtis pallida*, *Condalia hookeri*, *Cordia boissieri*, *Diospyros texana*, *Eysenhardtia texana*,

Forestiera angustifolia, *Helietta parvifolia*, *Leucophyllum texanum*, *Mimosa biuncifera*, *Pithecellobium pallens*, *Pithecellobium ebano*, *Zanthoxylum fagara*, entre otras (COTECOCA-SARH, 1973). La cobertura se compone de árboles y arbustos en un 72.8% y de gramíneas en un 27.2% (Villegas, 1972).

El clima del matorral en el área del Bosque Escuela se caracteriza como: (A) Cx' a (e), semicálido-húmedo, con temperaturas de 14.7 °C en el mes de Enero hasta de 40°C en el mes de Agosto (García, 1988; SPP, 1981). La precipitación promedio anual de la región para el periodo de 1935-1988 es de 805 mm con una desviación estándar de 260 mm (Návar, 1986). La precipitación anual está compuesta como promedio por 85 lluvias, de las cuales el 50% poseen cantidades menores de 5 mm (Návar *et al.*, 1999). La evapotranspiración potencial estimada por el método de Thornwaite se aproxima a 1150 mm (Návar *et al.*, 1994). Los suelos del área están caracterizados por vertisoles donde dominan las arcillas de tipo smectita de la clase 2:1, los cuales se expanden y contraen marcadamente con los cambios en el contenido de humedad, desarrollando grandes grietas verticales y horizontales (Woerner, 1991), tales grietas controlan parcialmente la infiltración (Návar *et al.*, 1999). Poseen un profundo horizonte A (30-100 cm) y su estructura es de forma de bloques o prismática. El pH de esta clase de suelos es moderadamente alcalino (Foroughbakhch y Heiseke, 1990).

3.1. Muestreo y selección de los arbustos

Se estudiaron destructivamente 10 especies de las cuales se derribaron 15 arbustos por especie cubriendo el rango observado de las categorías diamétricas. A cada arbusto se le midieron primero en pie las variables dasométricas: diámetro a la base del suelo (DB);

diámetro a 10 cm de la base del suelo (D); altura del fuste limpio (HF); altura total (HT) y cobertura (CB). Posteriormente se tomaron muestras para determinar la densidad, el peso húmedo y seco de fustes, ramas y hojas. Adicionalmente se pesaron separadamente el total de cada componente de cada arbusto de cada especie. Para eliminar la variación estacional principalmente del componente foliar, todas las medidas se hicieron en un periodo que no excedió 2 meses, como fue sugerido por Monserud *et al.*, (1996) y Marklund (1983). El volumen del fuste se determinó utilizando la fórmula de Smalian con mediciones diamétricas a la base, a 10 y a cada 55 cm hasta la parte distal del fuste limpio. Las muestras de madera, hojas y ramas se secaron hasta peso constante.

Las especies *Pithecellobium pallens* y *Acacia rigidula* presentaron fustes múltiples y por consiguiente se desarrollaron ecuaciones para determinar el número de fustes en función del diámetro promedio, altura total y cobertura. Los modelos se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Modelos generados para estimar el número de fustes por macollo en dos especies multifustales del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Especie	Función	R ²	Sx
<i>Acacia rigidula</i>	$EXP(-0.0431-0.8656*LOG(D)+1.3660*LOG(CB))$	0.59	2.12
<i>Pithecellobium pallens</i>	$EXP(0.2589+1.5043*LOG(CB)-0.7536*LOG(D*H))$	0.66	2.63

DB= Diámetro a la base del suelo (cm); D= Diámetro a 10 cm (cm); H= Altura total (m); HF= Altura de fuste limpio (m); CB = Cobertura (m²); Log = $\sqrt[2]{2.718}$.

El número de fustes observado por macollo en las dos especies fue del orden de 1 a 27 y su estimación fue muy sensible al tamaño de la cobertura.

También se realizó una clasificación detallada de las demás especies presentes en la parcela experimental para poder aplicar las diferentes ecuaciones generadas de biomasa y

volumen de acuerdo a características morfológicas como tamaño de hojas, disposición de fustes, coberturas y estrato arbóreo correspondiente.

3.2. Especies estudiadas

En este trabajo de investigación se seleccionaron diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Las especies estudiadas fueron: *Cordia boissieri* DC (Anacahuita), *Helietta parvifolia* Beneth. (Barreta), *Condalia hoockeri* Johnst. (Brasil), *Diospyros texana* Eastw. (Chapote blanco), *Acacia rigidula* Benth. (Gavia), *Celtis pallida* Torr. (Granjeno), *Acacia berlandieri* Benth. (Huajillo), *Acacia farnesiana* (L.) Willd. (Huizache), *Pithecellobium pallens* Standl. (Tenaza) y *Eysenhardtia polystachya* Sarg. (Vara dulce). Los estadísticos de las características dasométricas de las especies estudiadas se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Nombre científico, común y características dasométricas promedio de las diez especies estudiadas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Nombre Científico	Nombre común	D.B	D	H	HF	CB
<i>Cordia boissieri</i> DC	Anacahuita	9.94	8.70	3.45	1.42	1.71
<i>Helietta parvifolia</i> Beneth	Barreta	8.50	7.61	4.39	1.72	0.45
<i>Condalia hoockeri</i> Johnst.	Brasil	8.36	7.51	4.35	1.62	1.11
<i>Diospyros texana</i> Eastw.	Chapote blanco	10.6	8.48	4.40	2.11	1.03
<i>Acacia rigidula</i> Benth.	Gavia	5.77	5.33	3.87	1.77	0.46
<i>Celtis pallida</i> Torr.	Granjeno	4.68	4.61	4.38	2.35	0.97
<i>Acacia berlandieri</i> Benth.	Huajillo	7.01	6.39	4.35	1.94	0.85
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	Huizache	7.23	6.63	4.31	1.76	1.25
<i>Pithecellobium pallens</i> Standl.	Tenaza	9.71	8.09	4.88	2.23	0.90
<i>Eysenhardtia texana</i> Scheele.	Vara dulce	7.60	6.62	5.42	2.47	0.53
Promedio		7.95	7.00	4.38	1.94	0.93
Desviación estándar		2.97	2.57	0.71	0.54	0.63

DB= Diámetro a la base del suelo (cm); D= Diámetro a 10 cm (cm); H= Altura total (m); HF= Altura de fuste limpio (m); CB = Cobertura (m²).

3.3. La parcela experimental.

Los estadísticos promedio de las características dasométricas de las especies observadas en la parcela experimental se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Características dasométricas promedio de las especies observadas en una parcela experimental del Matorral Espinoso Tamaulipeco del noreste de México.

Nombre Científico	DB	D	H	HF	CB
<i>Cordia boissieri</i> DC	8.62	7.25	3.15	1.30	3.97
<i>Helietta parvifolia</i> Beneth	6.77	6.10	4.10	1.25	0.90
<i>Condalia hoockeri</i> Johnst.	12.37	11.2	4.28	2.15	6.47
<i>Diospyros texana</i> Eastw.	3.45	3.02	2.66	1.26	1.32
<i>Acacia rigidula</i> Benth.	5.53	5.17	4.68	3.13	2.24
<i>Celtis pallida</i> Torr.	2.13	2.10	2.25	0.88	1.11
<i>Acacia berlandieri</i> Benth.	5.99	5.28	4.06	2.13	4.23
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	12.78	12.1	3.86	1.62	4.59
<i>Pithecellobium pallens</i> Standl.	3.94	3.39	3.32	1.58	1.61
<i>Eysenhardtia texana</i> Scheele.	3.44	2.88	3.34	1.52	1.25
<i>Cercidium macrum</i> Johnst.	11.42	8.80	4.92	0.45	3.46
<i>Bernardia myricaefolia</i> Wats.	1.53	1.22	1.83	0.62	0.70
<i>Amyris texana</i> Buckl.	2.71	2.13	1.74	0.58	1.63
<i>Zanthoxylum fagara</i> Sarg.	4.21	3.28	2.30	0.88	1.86
<i>Diospyros palmeri</i> Scheele.	2.89	2.27	2.40	1.41	0.76
<i>Guaiacum angustifolia</i> Gray.	3.19	2.50	1.37	0.48	1.32
<i>Bumelia celastrina</i> H.B.K.	9.38	7.24	3.69	2.25	4.98
<i>Forestiera angustifolia</i> Torr.	3.03	2.37	2.39	0.92	3.43
<i>Prosopis laevigata</i> M.C.	15.81	12.1	3.86	1.73	5.17
<i>Karwinskia humboldtiana</i> Zucc.	1.47	1.18	1.39	0.63	0.49
<i>Ziziphus obtusifolia</i> Gray.	2.55	2.00	1.87	0.63	1.88
<i>Citharexylum berlandieri</i> Robinson.	2.74	2.15	2.05	0.58	1.89
<i>Randia rhagocarpa</i> Standl.	1.50	1.20	1.10	0.48	0.27
<i>Neopringlea integrifolia</i> Wats.	5.68	4.40	2.60	1.20	4.43
<i>Gochnatia hypoleuca</i> D.C.	4.11	3.20	2.10	1.15	1.70
<i>Leucophyllum texanum</i> (Ter. & Berl.) Johnst.	4.94	3.83	2.33	0.75	1.73
<i>Malpighia glabra</i> L.	2.09	1.65	1.45	0.93	0.74
Promedio	5.34	4.45	2.78	1.20	2.38
Desviación estándar	1.97	1.69	0.60	0.41	1.28

DB= Diámetro a la base del suelo (cm); D= Diámetro a 10 cm (cm); H= Altura total (m); HF= Altura de fuste limpio (m); CB = Cobertura (m²).

3.4. Procedimiento estadístico.

Las ecuaciones de biomasa se generaron con el peso total seco de las hojas, ramas, fuste y el total por arbusto muestreado regresadas con el DB, D, H, HF y CB y combinaciones de estas variables en forma lineal así como transformadas al logaritmo natural. Las ecuaciones fueron desarrolladas con el procedimiento STEPWISE para cada componente del arbusto. Un modelo general para estimar biomasa para todas las especies fue desarrollado por el mismo procedimiento. En lo referente a la generación de las ecuaciones volumétricas se ajustó la ecuación de Schumacher y Hall, utilizando combinaciones de las variables DB ó D con H ó HF, donde el volumen estimado por el modelo de Smalian fue la variable dependiente.

Los mejores modelos fueron obtenidos de los estadísticos de ajuste; a) coeficiente de determinación; b) error estándar; c) aplicabilidad en el rango de arbustos observados en la parcela experimental. Los estadísticos de los modelos transformados fueron devueltos a sus dimensiones originales para poder ser comparados.

Se utilizaron datos dasométricos de todos los arbustos observados en una superficie de 50 X 50 m ubicada dentro del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Para mayores detalles sobre la parcela experimental consultar el trabajo de Romero (1999). Al nivel de la parcela experimental, se estimó la biomasa total para incluir las especies no consideradas en el estudio aplicando ecuaciones individuales a especies con similar conformación a las estudiadas. La biomasa total de la parcela experimental fue estimada por tres procedimientos: 1) ecuación por especie y por componente, 2) ecuación del peso total con las ecuaciones individuales y 3) ecuación para el peso total para todas las especies.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los modelos para estimar la biomasa foliar de mejor ajuste resultaron ser lineales y logarítmicos (Cuadro 4). El peso seco de las hojas mostró la menor precisión en su predicción, con coeficientes de determinación y variación promedio de 0.86 y 26%, respectivamente. Castellanos *et al.*, (1996) observaron también que los modelos para estimar biomasa foliar fueron los menos precisos en un rodal de *Pinus patula*. Otros investigadores han observado que además de la biomasa foliar, la biomasa ramal presenta bajos coeficientes de determinación (r^2) y altos errores de estimación en vegetación árida y templada (Prado *et al.*, 1987; Clough y Scott, 1989). En general, para las 10 especies estudiadas, la biomasa foliar promedio y su desviación estándar fueron de 0.539 Kg y 0.370 Kg, respectivamente. Para las 10 especies estudiadas, la biomasa foliar representó el menor compartimento, con un 6% de la biomasa aérea total. Las especies de hoja ancha tuvieron valores mayores del 6% (*C. boissieri*), 9% (*C. pallida*), 8% (*H. parvifolia*) y 6% (*D. texana*). Las especies micrófilas mostraron valores menores del 10% (*P. pallens*) hasta un 1% (*C. hoockeri*).

Cuadro 4. Estadísticos de ajuste de funciones para estimar biomasa foliar en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Especie	Función	R ²	C.V
<i>C. boissieri</i>	PSH=105.3887+630.2757*(CB)	0.76	40.59
<i>H. parvifolia</i>	PSH= EXP(5.0624+0.5907*LOG(D*CB*H))	0.72	28.85
<i>C. hoockeri</i>	PSH= 48.1073-159.7342*(CB)+6.6347*(DB*CB*H)	0.90	35.38
<i>D. texana</i>	PSH= EXP(4.53-0.06*(D*CB)+2.58*LOG(D)-0.82*LOG(D ² *H))+0.69*LOG(DB*CB*HF))	0.95	15.20
<i>A. rigidula</i>	PSH= EXP(3.4077+0.3239*(D))	0.93	13.25
<i>C. pallida</i>	PSH= EXP(2.5243+2.0387*(CB)-0.0150*(DB ² *HF)-0.1356*(D*CB)+0.7468*LOG(D ² *HF))	0.98	10.69
<i>A. berlandieri</i>	PSH= 168.9427-434.1204*(DB*CB)+78.7253*(DB*CB*H)+53.8755*(DB*CB*HF)	0.96	24.84
<i>A. farnesiana</i>	PSH= 95.9470+133.0320*(D*CB)-151.4545*(DB*CB*HF)+105.3507*(D*CB*HF)	0.92	37.59
<i>P. pallens</i>	PSH= EXP(1.2125-0.0014*((DB ²)*(H))+0.9987*LOG(DB ² *H))	0.62	36.29
<i>E. texana</i>	PSH= EXP(4.3934-0.2429*(H)+0.0391*(D*CB*H)-0.1111*(DB*CB*HF)+1.4829*LOG(D))	0.84	22.38
Promedio		0.86	26.50

PSH= Peso seco del follaje DB= Diámetro a la base del suelo (cm); D= Diámetro a 10 cm (cm); H= Altura total (m); HF= Altura de fuste limpio (m); CB = Cobertura (m²). Log = $\sqrt[2]{2.718}$.

Los modelos para estimar la biomasa ramal que presentaron mejor ajuste fueron también lineales y logarítmicos (Cuadro 5). Los coeficientes de determinación y variación promedio que resultaron de los modelos de mejor ajuste fueron 0.92 y 23%, respectivamente.

Cuadro 5. Estadísticos de ajuste y funciones para estimar la biomasa ramal en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Especie	Función	R ²	C.V
<i>C. boissieri</i>	PSR= EXP(5.8882+0.9484*LOG(DB*CB))	0.93	22.06
<i>H. parvifolia</i>	PSR= 732.7533+264.7392*(D*CB*H)	0.79	35.40
<i>C. hoockeri</i>	PSR= -3406.7245+1053.7401*(D)+65.5679*(D*CB*H)	0.91	23.01
<i>D. texana</i>	PSR= EXP(3.0841-0.0010*(D ² *H)+1.0030*LOG(D ² *H)+0.3033*LOG(D*CB))	0.91	24.86
<i>A. rigidula</i>	PSR= EXP(5.12+0.36*(D)-0.01*(D*CB*HF)+0.62*LOG(D*CB*H)-0.29*LOG(D*CB*HF))	0.99	9.43
<i>C. pallida</i>	PSR= EXP(5.4327+0.8259*LOG(D*CB*H))	0.97	23.11
<i>A. berlandieri</i>	PSR= 1109.6663+308.3892*(DB*CB*H)-422.5844*(D*CB*HF)	0.96	15.01
<i>A. farnesiana</i>	PSR= -301.3186+889.6079*(DB*CB)-122.5333*(D*CB*HF)	0.96	22.78
<i>P. pallens</i>	PSR= 1084.1647+50.8914*(DB*CB*H)	0.77	36.58
<i>E. texana</i>	PSR= EXP(4.706+0.221*(D)-0.086*(D*CB)+1.725*LOG(D*CB*H)-1.268*LOG(DB*CB*HF))	0.96	21.79
Promedio		0.92	23.40

PSR= Peso seco de ramas. DB= Diámetro a la base del suelo (cm); D= Diámetro a 10 cm (cm); H= Altura total (m); HF= Altura de fuste limpio (m); CB = Cobertura (m²). Log = $\sqrt[2]{2.718}$.

Esta variable pudo ser predicha con mayor precisión que la biomasa foliar. Para las 10 especies estudiadas, la biomasa ramal promedio y su desviación estándar fueron de 4.902 Kg y 2.178 Kg, respectivamente. Las ramas representaron la mayor reserva de la biomasa aérea para las 10 especies estudiadas, con un 54% del peso seco total.

La mayor cantidad de biomasa en las ramas quizás se deba a la adaptación de algunas especies del matorral al constate ramoneo a que son sometidas. Tsiouvaras *et al.*, (1986) señalan que una planta sometida a cortes tiende a producir un número sucesivamente mayor de ramas hasta alcanzar una cantidad constante.

Aguirre *et al.*, (1988) encontraron el 84% y 56% del peso seco concentrado en las ramas y ramillas de dos especies áridas de la región mediterránea de Chile. Prado *et al.*, (1987) encontraron que *Quillaja saponaria* concentra la mayor parte de su biomasa en las ramas

gruesas. En contraste, Castellanos *et al.*, (1996) encontraron que sólo el 6% de la biomasa de *Pinus patula* está concentrada en las ramas.

Por lo que respecta a las especies estudiadas en la parcela experimental, *A. farnesiana* tuvo el mayor porcentaje de ramas con el 65%. *P. pallens* y *E. texana* tuvieron los menores porcentajes de ramas en contraste con el peso seco total con 33% y 44%, respectivamente.

Los modelos para estimar la biomasa fustal que presentaron mejor ajuste fueron también lineales y logarítmicos (Cuadro 6), con coeficientes de determinación y variación promedio de 0.95 y 15%, respectivamente.

Cuadro 6. Estadísticos de ajuste y funciones para estimar la biomasa fustal de diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Especie	Función	R ²	C.V
<i>C. boissieri</i>	PSFL= EXP(3.8194+0.0006*(D ² *H)+0.8474*LOG(D ² *HF))	0.99	10.74
<i>H. parvifolia</i>	PSFL= EXP(2.950+0.291*(HF)-0.0074*(D ² *HF)+0.0233*(D*CB*H)+1.1376 * LOG(D ² *HF))	0.98	9.58
<i>C. hoockeri</i>	PSFL= -8353.23-1491.04*DB+17.17*(D ² *H)+3573.25*LOG(D ² *H)+52.15 *LOG(DB*CB*H)	0.98	9.71
<i>D. texana</i>	PSFL= EXP(3.5008-0.0154*(DB*CB*HF)+0.7161 *LOG(D ² *HF)+0.5258* LOG(D*CB*H))	0.88	28.32
<i>A. rigidula</i>	PSFL= 47.98+37.4324*(DB ² *HF)	0.97	10.60
<i>C. pallida</i>	PSFL= 66.7229-6.0866*(DB ² *H)+23.6222*(D ² *H)	0.96	18.13
<i>A. berlandieri</i>	PSFL= 23.7966+42.1287*(D ² *HF)-593.7271*(D*CB)+129.2510*(DB*CB*H)	0.98	7.34
<i>A. farnesiana</i>	PSFL= -203.5281-16.05487*(DB ² *HF)+74.3730*(D ² *HF)-76.1359*(DB*CB*HF)	0.99	11.61
<i>P. pallens</i>	PSFL= EXP(5.2411-0.0222*(DB*CB*HF)+0.2853*LOG(D ² *HF)+0.7925 *LOG(DB*CB*HF))	0.82	28.17
<i>E. texana</i>	PSFL= EXP(3.1607-0.0205*(D*CB*HF)+0.9567*LOG(D ² *H))	0.93	19.20
Promedio		0.95	15.34

PSFL= Peso seco del fuste limpio. DB= Diámetro a la base del suelo (cm); D= Diámetro a 10 cm (cm); H= Altura total (m); HF= Altura de fuste limpio (m); CB = Cobertura (m²). Log = $\sqrt[2]{2.718}$.

La biomasa fustal representó el 40% del peso seco total, con un promedio de 3.684 Kg y desviación estándar de 1.363 Kg. Sin embargo, las especies *E. texana* y *P. pallens* tuvieron el 56 y 53% de la biomasa total en los fustes. En contraste, *C. boissieri* mostró solo el 30% de biomasa total en su fuste principal. Toky *et al.*, (1993) observaron mayor biomasa en el fuste, entre 39 y 65%, de nueve especies semiáridas del noroeste de la India, seguido de las ramas con 22-40% y por último en las raíces con el 9-29%. Gwaze y Stewart (1990) encontraron que

en la distribución de la biomasa entre los componentes de los árboles muestreados había diferencias debidas a la edad ya que para árboles y arbustos de 30 meses de edad las ramas representaban del 17% al 25%, mientras que a la edad de 16 meses la biomasa ramal fue de 40% al 50%. Monserud *et al.*, (1996) encontraron para rodales jóvenes de *Pinus silvestrys* de 30 años el 12% de la biomasa concentrada en la copa, de la cual el 4% correspondió al follaje, el 71% a los fustes y el 17% a las raíces.

Los modelos para estimar la biomasa total que presentaron mejor ajuste fueron también lineales y logarítmicos (Cuadro 7) con coeficientes de determinación y variación promedio de 0.95 y 16%, respectivamente. Para las 10 especies estudiadas, la biomasa total promedio y su desviación estándar fueron de 9.15 Kg y 3.67 Kg, respectivamente. *D. texana* y *C. hookeri* mostraron la mayor biomasa aérea total con 17 Kg y 11 Kg, mientras que *C. pallida* mostró una biomasa aérea total de 4 Kg.

Cuadro 7. Estadísticos de ajuste y funciones para estimar biomasa total de diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Especie	Función	R ²	C.V
<i>C. boissieri</i>	PST= EXP(6.4065+0.4744*LOG(D*CB*H)+0.2820*LOG(D*CB*HF))	0.97	14.91
<i>H. parvifolia</i>	PST= -2118.2643+797.1729*(D)+373.4373*(D*CB*H)	0.92	19.18
<i>C. hookeri</i>	PST= 1037.5768+29.5347*(D ² *H)+336.2695*(D*CB)	0.94	20.09
<i>D. texana</i>	PST= EXP(3.7304-0.1665*(D)-0.0141*(DB*CB)+2.9688*LOG(D)+0.3479*LOG(D*CB*H))	0.99	8.91
<i>A. rigidula</i>	PST= EXP(4.8018+1.3698*LOG(DB)+0.2800*LOG(D ² *HF)+0.1405*LOG(D*CB*H))	0.98	11.36
<i>C. pallida</i>	PST= 998.4368+29.7478*(D ² *H)-440.1969*(D*CB)+124.0352*(D*CB*H)	0.99	13.70
<i>A. berlandieri</i>	PST= 906.7749+745.6451*(D)-7371.8244*(CB)+334.7828*(DB*CB*H)	0.98	10.64
<i>A. farnesiana</i>	PST= -102.4448+14.1654*(DB ² *H)+639.7349*(DB*CB)	0.98	17.07
<i>P. pallens</i>	PST= EXP(6.0395-0.0222*(D*CB*HF)+0.6507*LOG(D)+0.7383*LOG(DB*CB*HF))	0.86	25.95
<i>E. texana</i>	PST= 1680.5106+22.0633*(D ² *H)	0.91	24.84
Promedio		0.95	16.67

PST= Peso seco Total. DB= Diámetro a la base del suelo (cm); D= Diámetro a 10 cm (cm); H= Altura total (m); HF= Altura de fuste limpio (m); CB = Cobertura (m²). Log = $\sqrt[2]{2.718}$.

Las ecuaciones seleccionadas para la estimación de la biomasa aérea fueron en general 50% logarítmicas y 50% lineales y parcialmente se contrasta con la tendencia generalizada de

ajustar funciones logarítmicas para la estimación de biomasa en árboles y arbustos de regiones semiáridas (Prado *et al.*, 1987) y tropicales (Brown *et al.*, 1989).

Considerando la gran variabilidad morfológica que presentan las especies, los errores estándares de estimación de la biomasa fueron notoriamente bajos, en especial para la biomasa total, ramal o fustal. Los valores de r^2 fueron altos indicando buena correlación entre las variables seleccionadas. Los modelos para estimar la biomasa foliar tuvieron un menor ajuste que los modelos para estimar ramas, fuste y total, evidenciando la falta de medición de otras variables como el área foliar. La época de colecta de información, en otoño cuando la pérdida de hojas se acentúa en algunas especies, pudo haber sesgado también esta falta de un mejor ajuste.

En general, la biomasa aérea de las diez especies seleccionadas se concentró en hojas (6%), ramas (54%) y fustes (40%). Estas observaciones se aproximan a otras estimaciones realizadas en otros ecosistemas, Hooda *et al.*, (1993) encontraron que la biomasa en 6 especies de uso múltiple de regiones áridas y semiáridas de la India estuvo repartida en fustes (46%), en ramas (26%), en follaje (10%) y en el sistema radicular (18%). Prado *et al.*, (1990) encontraron que la biomasa de *Eucalyptus globulus* se concentra en las hojas (5.5%), en el fuste (70.7%), en las ramas (13.6%) y en la corteza (10.2%). Contreras y Návar (1999) observaron que el volumen en varias especies de pináceas que se distribuyen en La Sierra Madre Occidental que los fustes, ramas y tocones presentan el 83, 15 y 2%, respectivamente.

4.1. Biomasa en la parcela experimental

La biomasa estimada por unidad de superficie para cada una de las especies encontradas en la parcela experimental y aplicando las ecuaciones para cada compartimento resultó en 1.89 Mg ha⁻¹ (Mg= megagramos o 10⁶ gr) hojas, 31.30 Mg ha⁻¹ ramas y 18.25 Mg ha⁻¹ fustes, con un total de 51.42 Mg ha⁻¹. Los modelos para estimar la biomasa total por especie resultaron en 53.62 Mg ha⁻¹. El modelo general para estimar biomasa total para todas las especies resultó en 53.81 Mg ha⁻¹ (Cuadro 8). Las estimaciones totales muestran la consistencia de cada uno de los modelos desarrollados en este estudio.

Cuadro 8. Modelo general para estimar biomasa total en todas las especies encontradas en la parcela experimental del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Modelo	Función	R ²	Sx (Kg)
General	PST=EXP(6.35289+0.53335*LOG(D ² H)+0.300532* LOG(CB))	0.88	3.5

PST= Peso Seco Total; DB= Diámetro a la base del suelo (cm); D= Diámetro a 10 cm (cm); H= Altura total (m); HF= Altura de fuste limpio (m); CB = Cobertura (m²). Log = ^x√2.718.

Las 10 especies seleccionadas en el presente estudio para las cuales se generaron las ecuaciones para estimar biomasa y volumen, totalizaron en conjunto el 90% de la biomasa aérea total presente en la parcela experimental. A este respecto, *A. rigidula*, *P. pallens*, *C. hookeri*, *Z. Fagara*, *F. angustifolia*, *P. laevigata* y *A. berlandieri* explicaron el 90%, mientras que *R. rhagocarpa*, *D. texana*, *M. glabra*, *B. myricaefolia*, *G. hypoleuca*, *C. berlandieri*, *N. integrifolia*, *L. texanum*, *K. humboldtiana*, *C. macrum*, *H. Parvifolia*, *C. pallida*, *E. texana* y *P. laevigata* en conjunto sólo representaron el 6% de la biomasa total de la parcela experimental.

Cuadro 9. Biomasa aérea de las especies observadas en la parcela experimental del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

ESPECIE	HOJAS Kg/ha	RAMAS Kg/ha	FUSTE Kg/ ha	HRF Kg/ha	TOTAL Kg/ha	MOD Gral Kg/ha	SP %
<i>C. boissieri</i>	76.65	388.61	78.62	543.87	539.76	459.62	1.06
<i>H. parvifolia</i>	8.97	81.03	58.07	148.07	127.99	77.88	0.29
<i>C. hoockeri</i>	139.91	2600.48	731.81	3472.19	3837.58	2427.86	6.75
<i>D. texana</i>	56.89	464.08	211.67	732.64	669.31	984.88	1.42
<i>A. rigidula</i>	634.53	15571.17	10817.85	27023.55	30472.22	29516.83	52.53
<i>C. pallida</i>	40.77	86.83	25.79	153.40	93.38	179.16	0.30
<i>A. berlandieri</i>	70.45	869.79	165.62	1105.86	1633.76	601.22	2.15
<i>A. farnesiana</i>	62.03	998.90	175.71	1236.64	1162.12	648.79	2.40
<i>P. pallens</i>	478.22	6238.29	4817.67	11534.18	9660.35	11932.50	22.42
<i>E. texana</i>	9.54	72.93	40.91	123.38	181.08	268.52	0.24
<i>C. macrum</i>	3.14	62.72	20.75	86.61	90.12	79.37	0.17
<i>B. myricaefolia</i>	0.91	8.48	2.37	11.76	5.61	18.52	0.02
<i>A. texana</i>	18.01	358.95	62.76	439.72	298.18	439.45	0.85
<i>Z. fagara</i>	53.62	1128.23	461.99	1643.83	1649.14	2193.34	3.20
<i>D. palmeri</i>	1.71	20.79	24.40	46.91	50.24	60.87	0.09
<i>G. angustifolia</i>	12.71	14.63	10.09	37.43	45.78	111.46	0.07
<i>B. celastrina</i>	121.21	628.55	153.83	903.59	990.34	672.94	1.76
<i>F. angustifolia</i>	33.15	704.03	203.04	940.22	739.38	1689.49	1.83
<i>P. laevigata</i>	37.43	652.10	103.46	792.98	1017.24	674.13	1.54
<i>K. humboldtiana</i>	3.20	21.34	7.49	32.03	14.77	46.70	0.06
<i>Z. obtusifolia</i>	16.48	277.43	62.60	356.52	238.32	572.78	0.69
<i>C. berlandieri</i>	0.96	12.94	2.15	16.05	16.16	21.37	0.03
<i>R. rhagocarpa</i>	0.52	1.21	0.28	2.01	1.74	3.96	0.00
<i>N. integrifolia</i>	0.92	18.19	1.03	20.14	36.32	29.04	0.04
<i>G. hypoleuca</i>	3.55	5.42	4.80	13.77	12.84	27.25	0.03
<i>L. texanum</i>	4.16	12.12	6.93	23.21	33.59	50.38	0.05
<i>M. glabra</i>	2.05	1.42	1.34	4.82	2.81	17.27	0.01
TOTAL	1891.69	31300.66	18253.03	51445.38	53620.11	53805.59	100

HRF= Suma de los componentes Hojas, Ramas y Fustes.

La biomasa total por unidad de área es consistente con las estimaciones realizadas por Heiseke y Foroughbakhch (1985), quienes observaron para árboles y arbustos con alturas mayores de 1 m del matorral espinoso que este parámetro fluctúa entre 34.21 y 62.70 Mg ha⁻¹ en zonas planas y de 26.06 a 37.70 Mg ha⁻¹ en lomas. Heiseke (1984) concluye que el matorral tiene un potencial de producción de biomasa aérea total de 50 Mg ha⁻¹. Carstens (1987) encontró valores de 35 a 47 Mg ha⁻¹ considerando las especies arbóreas y arbustivas.

Schroeder *et al.*, (1997) estimaron la biomasa en bosques templados de hoja ancha encontrando una biomasa aérea de entre 28 y 200 Mg ha⁻¹. Clary y Tiedemann (1986) encontraron una biomasa aérea y subterránea incluyendo materia orgánica de 184 Mg ha⁻¹ en árboles pequeños y arbustos de la especie *Quercus gambelii*. Husch *et al.*, (1982) mencionan que la biomasa se distribuye en los árboles con el 20% en la copa, 60% en el fuste comercial y 20% en el sistema radicular. Cannolly *et al.*, (1985) estimaron la biomasa aérea de arbustos dominantes en humedales de Minnesota encontrando rangos de entre 0.5 y 71.5 Mg ha⁻¹. Rivas *et al.*, (1990) reportan que la biomasa de las especies tropicales *Pouteria anibaefolia* y *Brosimum alicastrum* es de 25 Mg ha⁻¹ y 23 Mg ha⁻¹ respectivamente explicando estas dos especies sólo el 9% de la biomasa aérea total que es de 359 Mg ha⁻¹.

4.2. Estimación de volumen en la parcela experimental.

Las funciones de Shumacher y Hall para estimar volumen tuvieron coeficientes de determinación y variación promedio de 0.90 y 20.99%, respectivamente (Cuadro 10). En general, para las 10 especies estudiadas, el volumen promedio y su desviación estándar fueron de 0.0048 m³ y 0.0015 m³, respectivamente.

Cuadro 10. Estadísticos de ajuste de las funciones volumétricas para estimar el volumen fustal en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Especie	Función	R2	C.V
<i>C. boissieri</i>	VOL=EXP(4.1318+1.96974*LOG(D)+0.821587*LOG(HF))	0.97	17.62
<i>H. parvifolia</i>	VOL=EXP(4.242308+1.788239*LOG(D)+1.205743*LOG(HF))	0.84	23.48
<i>C. hoockeri</i>	VOL=EXP(4.012069+2.141767*LOG(D)+0.603956*LOG(HF))	0.95	14.24
<i>D. texana</i>	VOL=EXP(4.380697+1.870807*LOG(D)+0.695228*LOG(H))	0.89	26.43
<i>A. rigidula</i>	VOL=EXP(3.769385+2.012018*LOG(DB)+1.053108*LOG(HF))	0.96	12.74
<i>C. pallida</i>	VOL=EXP(3.203732+1.915313*LOG(D)+1.060111*LOG(H))	0.96	20.32
<i>A. berlandieri</i>	VOL=EXP(4.115165+2.042242*LOG(D)+0.742452*LOG(HF))	0.97	8.88
<i>A. farnesiana</i>	VOL=EXP(3.909182+2.096015*LOG(D)+0.719271*LOG(HF))	0.96	18.80
<i>P. pallens</i>	VOL=EXP(4.984271+1.565885*LOG(D)+0.619019*LOG(HF))	0.62	40.52
<i>E. texana</i>	VOL=EXP(2.274377+1.596135*LOG(D)+1.875805*LOG(H))	0.90	26.83
Promedio		0.90	20.99

VOL= Volumen del fuste limpio; DB= Diámetro a la base del suelo (cm); D= Diámetro a 10 cm (cm); H= Altura total (m); HF= Altura de fuste limpio (m); CB = Cobertura (m²). Log = $\sqrt[2]{2.718}$.

El mayor volumen fustal de las diez especies estudiadas fue observado en *D. texana* y *P. pallens* con 0.00733 m^3 y 0.00635 m^3 , respectivamente. Las especies con menor volumen fueron *C. pallida* y *A. rigidula* con 0.00221 m^3 y 0.00269 m^3 , respectivamente.

Los modelos volumétricos generados ajustados a la información dasométrica de los 2275 arbustos y arbustos medidos en la parcela experimental se presentan en el Cuadro (10).

El volumen fustal total estimado fue de $20.66 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Cuadro 11). Estimaciones muy similares fueron encontraron por Heiseke y Foroughbakhch (1985) para el matorral de la planicie y la loma, con $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y $11 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente. En contraste, Brown *et al.*, (1989) estimaron volúmenes de hasta $362 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ en bosques tropicales de Malasia con una densidad de 289 fustes por ha^{-1} . Por otra parte Aguirre (1991) estimó el volumen de la masa en pie de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el noreste de México el cual varió entre 29.1 y $694.4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ incluyendo la corteza con una densidad de árboles de 5470 a 193 por ha^{-1} .

El volumen de las diez especies seleccionadas correspondió al 93% de las especies encontradas en la parcela experimental. Las especies *A. rigidula*, *P. pallens*, *C. hookeri*, *D. texana* y *Z. fagara* explicaron el 90% del volumen total encontrado dentro de la parcela experimental.

Cuadro 11. Volumen total y por especie en una fracción de Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Especie	ARB/h	Vol	%	Especie	ARB/	Vol	%
	a	m ³ /ha	Especie	ha	m ³ /ha	Especie	
<i>C. boissieri</i>	32	0.1661	0.80	<i>A. texana</i>	204	0.0631	0.31
<i>H. parvifolia</i>	8	0.0289	0.14	<i>Z. fagara</i>	536	0.4078	1.97
<i>C. hoockeri</i>	80	1.5536	7.52	<i>D. palmeri</i>	24	0.0142	0.07
<i>D. texana</i>	240	0.4978	2.41	<i>G. angustifolia</i>	56	0.0122	0.06
<i>A. rigidula</i>	4272	12.9470	62.66	<i>B. celastrina</i>	40	0.2230	1.08
<i>C. pallida</i>	84	0.0279	0.13	<i>F. angustifolia</i>	492	0.1882	0.91
<i>A. berlandieri</i>	52	0.2399	1.16	<i>P. laevigata</i>	24	0.3253	1.57
<i>A. farnesiana</i>	24	0.3541	1.71	<i>K. humboldtiana</i>	72	0.0045	0.02
<i>P. pallens</i>	2432	3.4559	16.72	<i>Z. obtusifolia</i>	276	0.0584	0.28
<i>E. texana</i>	72	0.0458	0.22	<i>C. berlandieri</i>	8	0.0018	0.01
<i>N. integrifolia</i>	4	0.0058	0.03	<i>R. rhagocarpa</i>	8	0.0004	0.00
<i>G. hypoleuca</i>	8	0.0055	0.03	<i>G. hypoleuca</i>	8	0.0055	0.03
<i>C. macrum</i>	4	0.0248	0.12	<i>L. texanum</i>	12	0.0074	0.04
<i>B. myricaefolia</i>	20	0.0016	0.01	<i>M. glabra</i>	16	0.0025	0.01
				TOTAL	9100	20.663	100.00

Villalón (1989) realizó la comparación estadística de 3 métodos (xilómetro, cubicación y densidad aparente) para estimar volumen verde en 13 especies del matorral encontrando que los 3 son precisos en 9 de las 13 especies estudiadas de las de las cuales 6 forman parte del presente estudio siendo estas: *A. farnesiana*, *A. rigidula*, *P. pallens*, *C. pallida*, *D. texana* y *H. parvifolia*. El método del xilómetro y de densidad aparente fueron mas eficaces en *C. boissieri* y *C. hoockeri*.

5. CONCLUSIONES

Se generaron y probaron modelos estadísticos para estimar biomasa aérea y volumen fustal de 10 especies y una parcela experimental del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México. Se ajustaron ecuaciones específicas para cada componente del árbol (hojas, ramas y fuste) y una ecuación general para estimar biomasa total para todas las especies encontradas dentro de la parcela experimental. Al nivel de la parcela experimental las ecuaciones específicas y general mostraron consistencia en la estimación de la biomasa

total por unidad de superficie. Estas ecuaciones demostraron que en la parcela experimental la biomasa foliar, ramal y fustal fue de 51.44 Mg ha^{-1} ; con los modelos del peso seco total 53.62 Mg ha^{-1} y por medio del modelo general 53.80 Mg ha^{-1} . Las ecuaciones de volumen indicaron que en esta fracción del matorral existen $20.66 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

6. LITERATURA CITADA.

- Aguirre, C., O. A. 1991. Elaboración de tablas de producción en base a sitios temporales de muestreo. Un ejemplo con *Pinus pseudostrabus* Lindl. en el noreste de México. Reporte científico número 24. Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N.L., México. 43 p.
- Aguirre, S., P. Infante, 1988. Funciones de biomasa para boldo (*Peumus boldus*) y espino (*Acacia caven*) de la zona central de Chile. *Ciencia e Investigación Forestal*. Vol (2)3 45-50.
- Alanís, G. 1982. El matorral como recurso pecuario en el nordeste de México. Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. Monterrey, México. 44 p.
- Brown, S., A. J. Gillespie and A. E. Lugo. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *For. Sci.* 35(4)881-902
- Carstens, A. 1987. Struktur eines Matorrals in semiariden-subhumiden Nordosten Mexikos und Auswirkungen von Behandlungen zu seiner Bewirtschaftung. Göttinger Beiträge zur land-und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen. Heft 27.
- Clary, W. P and A. R. Tiedemann. 1986. Distribution of biomass within smalltree and shrub *Quercus gambelii* stands. *For. Sci.* 32: 234-242.

- Clough, B. F. and K. Scott. 1989. Allometric relationships for estimating above-ground biomass in six mangrove species. *For. Ecol. and Manage.* 27:117-127.
- Contreras, J.C. y Návar, J. 1999. Ecuaciones para estimar volumen: rollo total árbol, fuste con y sin corteza, fuste y tocón y fuste y ramas para *Pinus durangensis* y *Pinus teocote* del Ejido Vencedores, Durango, México. En Prensa en: Investigación Agraria: Serie Recursos Naturales.
- COTECOCA-SARH. 1973. Coeficientes de agostadero de la República Mexicana, Edo. de N. L., Secretaría de Agricultura y Ganadería. Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero, México.
- Diamond, D., D. Riskind and S. Orzell. 1987. A framework for plant community classification and conservation in Texas at Dallas. *Texas Journal of Science* 39:203-221.
- Estrada, E., J. Marroquin. 1990. Leguminosas en el centro-sur de Nuevo León. Reporte científico número 10. Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N.L., México.
- Foroughbakhch, R., D. Heiseke. 1990. Manejo silvícola del matorral: raleo, enriquecimiento y regeneración controlada. Reporte científico Número 19. Facultad de Ciencias Forestales UANL, Linares, N. L., México, 28 p.
- García E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, Cuarta Edición. 217 p.
- González, M. 1985. El límite sur de la Provincia Biótica Tamaulipeca. II Simposio Internacional sobre la Provincia Biótica Tamaulipeca UAT-UNAM 7 p.
- Gwaze, D and H. Stewart. 1990. Biomass equations for eight exotic tree species in Zimbabwe. *Commonwealth Forestry Review.* 69(4) 337-344.
- Hooda, M. S., R. Bahadur and K. S Bangarwa. 1993. Growth and biomass yield of six multipurpose trees of arid and semiarid India. *Nitrogen Fixing Tree Res. Reports.* 11:8-9.

- Husch, B., C. I. Miller. and T. W. Beers. 1982. Forest Mensuration. New York. *John Wiley and Sons*. 402 p.
- Heiseke, D. 1984. Regeneración por rebrotes en dos tipos de matorral subinerme de la región de Linares, N.L., Facultad de silvicultura y Manejo de Recursos Renovables, UANL, México, 17 p.
- Heiseke, D., R. Foroughbakhch. 1985. El matorral como recurso forestal. Reporte científico Número 1. Facultad de Ciencias Forestales UANL, Linares, N. L., México, 31 p.
- Marklund, L. 1983. Collecting data for biomass equation development: some methodological aspects. *Mesures des biomasses et des accroissements forestiers. Les Colloques de l'INRA Orleáns, France* 19: 37-43.
- Monserud, R. , A. Onuchin, y N. Tchebakova. 1996. Needle, crown, stem, and root phytomass of *Pinus silvestris* stands in Russia. *For. Ecol. Manage.* 82: 59-67.
- Návar, J., J. Méndez, R. B. Bryan and N. J. Khun. 1999. The contribution of shrinkage cracks to bypass flow during simulated rainfall experiments in northeastern Mexico. Trabajo de Investigación. Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N.L., México.
- Návar, J., T. Cavazos y P.A. Domínguez. 1994. Los balances hidrológicos mensuales con tres probabilidades de precipitación en el Estado de Nuevo León. Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra. De. C. Pola, J.A. Ramírez F., M.M. Rangel y I. Navarro-L. NANL. Linares, N. L. México.
- Návar J. 1986. Aspectos hidrológicos importantes del terreno universitario de Linares, N. L. Trabajo de Investigación, Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N.L.
- Prado, J. A. y C. Alarcón. 1990. Funciones de biomasa de *Eucalyptus globulus* en la región costera central. *Ciencia e Investigación Forestal.* 5 (1): 59-70.

- Prado, J, P. Infante, M. Arriagada, S. Aguirre. 1987. Funciones de biomasa para seis especies arbustivas de la zona árida de Chile. *Ciencia e Investigación Forestal*.1 (2), 11-20.
- Prado, J. A., S. Aguirre, 1987. Funciones para la estimación de biomasa total y de componentes del Quillay (*Quillaja saponaria Mol*). *Ciencia e Investigación Forestal*. 1 (1), 41-47.
- Reid, N., J. Marroquin, and P. Beyer-Munzel. 1990. Utilization of shrubs and trees for browse, fuelwood and timber in the Tamaulipan thornscrub, northeastern México. *For. Ecol. Manage.*, (36): 61-79.
- Rivas, L., A. Catalán y E. Arends. 1990. Biomasa y contenido de nutrientes del *Brosimum alicastrum* y *Pouteria anibaefolia*, en la reserva forestal de Caparo, estado Barinas. *Rev. For. Venez.* No. 34 29-44.
- SPP-INEGI. 1986. Síntesis geográfica del estado de Nuevo León, México, 170 p.
- SPP. 1981. Carta de climas. Esc. 1:1, 000, 000, Hoja Monterrey, Tipos de climas según Köppen, modificado por García, Secretaría de Programación y Presupuesto, México.
- Schroeder, P., S. Brown, J. Mo, R. Birdsey, and C. Cieszewski. 1997. Biomass estimation for temperate broadleaf forest of the United States using inventory data. *For. Sci.* 43 (3) 424-434.
- Tsiouvaras, C., B. Noitsakis, and V. Papanastasis. 1986. Clipping intensity improves growth rate of kermes oak (*Quercus coccifera L.*) twigs. *For. Ecol. Manage.*. 15:229-237.
- Villalón, H. 1989. Comparación de 3 métodos para la medición del volumen verde de madera en 13 especies del matorral espinoso de la región de Linares N.L., Simposio Agroforestal en México 14-16 de Noviembre de 1989. Memorias Tomo II. Facultad de
- Villegas, G. 1972. Tipos de vegetación de los municipios de Linares y Hualahuises, N. L. Tesis Lic. Escuela de Agricultura. Universidad de Guadalajara México, 96 p.

Woerner, M. 1991. Los suelos bajo vegetación del matorral del nordeste de México, descritos a través de ejemplos en el Campus Universitario de la UANL, Linares, N. L. Reporte Científico No. 22 Linares, N, L. México: Facultad de Ciencias Forestales.

1020130186

CAPÍTULO V

AJUSTE DE MODELOS DE CRECIMIENTO E INCREMENTO EN BIOMASA AÉREA Y CONTENIDO DE CARBONO EN DIEZ ESPECIES TÍPICAS DEL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO DEL NORDESTE DE MÉXICO

Juan Nájera¹ y José Návar²

¹Estudiante de Maestría en Ciencias Forestales, ²Profesor Investigador, Facultad de Ciencias Forestales, UANL Km 145 Carretera Nacional Linares, N.L 67700 México e-mail: jnavar@ccr.dsi.uanl.mx. jalnajera@hotmail.com.

1. RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue ajustar y comparar 8 modelos para determinar el crecimiento e incremento en biomasa aérea y captura de carbono en diez especies características del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México. El ajuste se realizó mediante técnicas de regresión no lineal. Para cada especie se seleccionó el modelo que presentó los mejores estadísticos de ajuste con los cuales se generaron las curvas de crecimiento e incremento en biomasa aérea y captura de carbono. Los modelos logístico y Weibull consistentemente se ajustaron mejor a las especies estudiadas (30% y 30%

respectivamente) y los modelos de Chapman-Richards (20%), Gompertz (10%) y Hossfeld IV (10%) explicaron mejor el crecimiento del resto de las especies. Los modelos mostraron que *D. texana*, *A. berlandieri* y *C. boissieri* poseen el mayor crecimiento en biomasa, en contraste *H. parvifolia*, *A. rigidula* y *P. pallens* que son las que alcanzan la menor producción de biomasa aérea por unidad de tiempo. En general, las especies estudiadas al nivel espacial tienen el potencial de producir 4.11 Mg ha⁻¹ año⁻¹ de biomasa aérea. Este reporte destaca la necesidad de establecer parcelas permanentes de muestreo para observar y modelar mejor los ritmos de crecimiento al nivel del rodal.

Palabras clave: biomasa, crecimiento, captura de carbono, Matorral Espinoso Tamaulipeco nordeste de México.

ABSTRACT

The objective of this research was to fit and compare 8 models to determine growth and increment of aboveground biomass and sequestration of carbon dioxide of ten typical species of the Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. Parameter fitting was conducted by least square techniques in non linear regression. The best model for each shrub species was used to generate growth and increment of aboveground biomass as well as the rate of sequestration of carbon dioxide. The Logistic and Weibull models consistently fitted better observed growth to the studied shrub species (30% and 30% respectively) and the models of Chapman-Richards (20%), Gompertz (10%) and Hossfeld IV (10%) explained better growth of the rest scrubby species. The models demonstrated that *D. texana*, *A. berlandieri* y *C. boissieri* have the largest growth rates of standing biomass in contrast to *H. parvifolia*, *A.*

rigidula y *P. pallens*. In general, these species, at spacial scale have the potential to produce 4.11 Mg ha⁻¹ año⁻¹. This report points the need to establish permanents sampling plots to observe and better model growth at the stand level.

Key words: biomass, growth, carbon sequestration, Tamaulipan Thornscrub noetheastern México.

2. INTRODUCCIÓN

El Matorral Espinoso Tamaulipeco cubre aproximadamente 200 000 km² a lo largo de la planicie costera del Golfo de México y el sur de Texas (González, 1985). Este ecosistema ha sido utilizado como recurso forrajero (Heiseke, 1984), forestal para la obtención de leñas, estantes para construcciones rurales, alimenticio y medicinal (Alanis, 1982; Estrada y Marroquín, 1990; Heiseke y Foroughbakhch, 1985; Foroughbakhch y Heiseke, 1990; Reid *et al.*, 1990). Los valores ambientales de este tipo de vegetación no se han considerado aún en detalle. Dentro de éstos, el ciclo global del carbono es importante en la estabilidad climática del planeta y no existen trabajos de investigación tendientes a determinar el papel que juegan estos ecosistemas en la captura y liberación de este gas de efecto de invernadero.

El objetivo del presente trabajo fue ajustar y comparar modelos de crecimiento en biomasa al nivel del arbusto individual, basado en la técnica de análisis troncal de diez especies forestales del Matorral Espinoso Tamaulipeco.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en una fracción del Matorral Espinoso Tamaulipeco localizado en el Campus de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ubicado a 8 Km al sur de Linares, Nuevo León. El sitio se ubica geográficamente dentro de las coordenadas 24° 47' latitud norte y 99° 32' de longitud oeste, con una elevación de 350 msnm (SPP-INEGI, 1986).

La vegetación está constituida por comunidades vegetales arbustivas características del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste del País. Este tipo de vegetación está dominado en el estrato arbóreo por: *Acacia berlandieri*, *A. farnesiana*, *A. greggi*, *A. rigidula*, *Celtis pallida*, *Condalia hookeri*, *Cordia boissieri*, *Diospyros texana*, *Eysenhardtia texana*, *Forestiera angustifolia*, *Helietta parvifolia*, *Leucophyllum texanum*, *Mimosa biuncifera*, *Pithecellobium pallens*, *Pithecellobium ebano*, *Zanthoxylum fagara* (COTECOCA-SARH, 1973). La cobertura se compone de árboles y arbustos (72.8%) y de gramíneas (27.2%) (Villegas, 1972). El clima del área del Matorral Escuela se caracteriza como: (A) Cx' a (e), semicálido-húmedo, con temperaturas de 14.7°C en el mes de Enero hasta de 40°C en el mes de Agosto (García, 1988; SPP, 1981). La precipitación promedio anual de la región para el periodo de 1935-1988 es de 805 mm con una desviación estándar de 260 mm (Návar, 1986). La evapotranspiración potencial estimada por el método de Thornwaite se aproxima a 1150 mm (Návar *et al.*, 1994). Los suelos del área están caracterizados por vertisoles, los cuales se expanden y contraen marcadamente con los cambios en el contenido de humedad, desarrollando grandes grietas verticales y horizontales (Woerner, 1991), tales grietas controlan parcialmente la infiltración (Návar *et al.*, 1999).

3.1. Metodología

Se estudiaron 10 especies características del Matorral Espinoso Tamaulipeco, con 15 arbustos cada una. Los arbustos derribados cubrieron el rango de diámetros observados en campo, un sistema de muestreo sugerido por Monserud *et al.*, (1996) y Marklund (1983). Cada arbusto se muestreó destructivamente midiendo primero en pie las variables dasométricas: diámetro a la base (DB); diámetro a 10 cm de la base (D); altura del fuste limpio (HF); altura total (HT) y cobertura (CB) (Cuadro 1). Después de derribar el arbusto se procedió a separarlo en los compartimentos fuste limpio, hojas y ramas, los cuales fueron pesados inmediatamente para determinar su peso fresco.

Cuadro 1. Nombre científico, edad y características dasométricas promedio de diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Nombre Científico	E	D.B	D	H	HF	CB
<i>Cordia boissieri</i> DC	20	9.94	8.70	3.45	1.42	1.71
<i>Helietta parvifolia</i> Beneth	25	8.50	7.61	4.39	1.72	0.45
<i>Condalia hoockeri</i> Johnst.	19	8.36	7.51	4.35	1.62	1.11
<i>Diospyros texana</i> Eastw.	21	10.7	8.48	4.40	2.11	1.03
<i>Acacia rigidula</i> Benth.	18	5.77	5.33	3.87	1.77	0.46
<i>Celtis pallida</i> Torr.	12	4.68	4.61	4.38	2.35	0.97
<i>Acacia berlandieri</i> Benth.	18	7.01	6.39	4.35	1.94	0.85
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	18	7.23	6.63	4.31	1.76	1.25
<i>Pithecellobium pallens</i> Standl.	24	9.71	8.09	4.88	2.23	0.90
<i>Eysenhardtia texana</i> Scheele.	18	7.60	6.62	5.42	2.47	0.53
Promedio	19	7.95	7.00	4.38	1.94	0.93
Desviación Estándar	7	2.97	2.57	0.71	0.54	0.63

E= Edad (años); DB= Diámetro a la base del suelo (cm); D= Diámetro a 10 cm (cm); H= Altura total (m); HF= Altura de fuste limpio (m); CB = Cobertura (m²).

Para estimar la biomasa seca se tomaron muestras de hojas, ramas y fustes de cada uno de los arbustos. Las muestras se pesaron en fresco y después se secaron en estufa a una temperatura de 80°C hasta peso constante. Se determinó un factor de corrección de peso seco

a peso fresco de cada muestra de cada compartimento de cada arbusto. El factor se multiplicó posteriormente por el peso fresco total de cada compartimento de cada arbusto para determinar la biomasa seca total.

Para determinar las variables de los modelos del crecimiento en biomasa (biomasa y edad) de cada especie, primero se estimó el volumen de cada fuste limpio por medio de la ecuación de Smalian y comprobado por medio del método de desplazamiento del agua. A continuación se relacionaron el volumen y la biomasa para los 15 arbustos de cada especie por medio de ecuaciones de potencia. Posteriormente se estimaron volúmenes de fuste limpio para cada arbusto por medio de la técnica de análisis troncales. Finalmente, con las ecuaciones de potencia y con el volumen fustal conocido para cada edad y ponderado por corteza, se estimó la biomasa total para cada edad observada en los análisis troncales.

Los modelos de potencia para estimar biomasa total en función del volumen fustal para cada especie se reportan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Modelos y estadísticos de ajuste de las funciones de potencia ajustados a la relación del volumen ponderado y la biomasa seca observada para diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Especie	Función	R ²	Sx (Kg)
<i>Cordia boissieri</i> DC	$B A = 979.39 * V.P^{0.9171}$	0.95	0.0277
<i>Helietta parvifolia</i> Beneth	$B A = 1205.6 * V.P^{0.925}$	0.83	0.0536
<i>Condalia hoockeri</i> Johnst.	$B A = 1056.8 * V.P^{0.8882}$	0.85	0.1921
<i>Diospyros texana</i> Eastw.	$B A = 1649.5 * V.P^{0.9710}$	0.94	0.0564
<i>Acacia rigidula</i> Benth.	$B A = 1362.2 * V.P^{0.9347}$	0.93	0.0559
<i>Celtis pallida</i> Torr.	$B A = 1065.5 * V.P^{0.8949}$	0.89	0.1147
<i>Acacia berlandieri</i> Benth.	$B A = 1976.2 * V.P^{1.0101}$	0.85	0.1865
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	$B A = 3008.3 * V.P^{1.0646}$	0.95	0.0056
<i>Pithecellobium pallens</i> Standl.	$B A = 1361.3 * V.P^{1.0023}$	0.92	0.2041
<i>Eysenhardtia texana</i> Scheele.	$B A = 703.71 * V.P^{0.8605}$	0.88	0.0339

B A = Biomasa aérea; V.P = Volumen Ponderado con corteza.

3.2. Determinación de la edad y volumen fustal

Del fuste limpio de cada arbusto muestreado se tomaron rodajas y mediciones detalladas de los diámetros con corteza a la base del suelo, a 10 cm de la base del suelo y cada 55 cm hasta la parte distal del fuste limpio. Posteriormente se removieron las rodajas de 5 cm de espesor de cada zona de medición del fuste limpio. Las rodajas fueron secadas y pulidas con el fin de facilitar el conteo de los anillos de crecimiento y la medición de su espesor. Además se utilizó una solución colorante de alcohol etílico y tinta permanente de color rojo para resaltar el contorno de los anillos de crecimiento. La medición de los anillos se realizó marcando cuatro radios perpendiculares tomando la médula como punto central, la medición del espesor de los anillos se realizó desde la periferia del disco sin considerar la corteza hacia la médula del arbusto en las cuatro direcciones previamente establecidas. Posteriormente se contabilizó el número de anillos de cada radio para detectar la presencia de falsos anillos. Una vez contabilizados los anillos en cada radio, se procedió a promediarlos y seleccionar el radio al que correspondía el promedio con el cual se trabajó para determinar la edad de cada individuo. Para facilitar el proceso de medición del espesor se optó por agrupar anillos de crecimiento de tres en tres.

Debido a la dificultad que representa el conteo de anillos en especies del matorral se utilizó la observación estereoscópica con las siguientes consideraciones: 1) identificación de la capa de crecimiento de una sección transversal en superficies perfectamente pulidas y 2) diferenciación de coloración entre la madera temprana y tardía debidas a porosidad, presencia de vasos y células parenquimáticas.

La biomasa total se relacionó con el volumen del fuste limpio por medio de ecuaciones de potencia y de esta relación se extrapola a todos los volúmenes observados en los arbustos en los análisis troncales. Estas relaciones fueron también ponderadas por la corteza. Las ecuaciones de potencia se presentan en el Cuadro 3.

3.3. Estimación la cantidad de carbono en la biomasa aérea

En el ecosistema forestal, el carbono se concentra en el fuste, ramas, raíces, follaje, mantillo, sotobosque y suelo (Brown, 1996). Este estudio se concentró en observar la biomasa aérea de las diez especies del matorral espinoso (fustes, ramas, hojas). Varios autores han utilizado un factor de ponderación para transformar la biomasa aérea en carbono. Los factores de ponderación oscilan desde 0.45 a 0.53 (Brown, 1996; Maclaren *et al.*, 1994; Lugo y Brown, 1992; Harold y Hocker 1984; Mery y Kanninen, 1998; Larcher, 1975). En el presente estudio se utilizó un factor de ponderación de 0.5.

3.4. Modelos de crecimiento probados

Datos de biomasa total para cada una de las edades observadas en los análisis troncales se utilizaron para ajustar modelos de crecimiento. Los modelos de crecimiento probados para estimar la biomasa y contenido de carbono se reportan en el Cuadro 3. Para facilitar la comparación estadística y por falta de datos de validación, se seleccionaron exclusivamente modelos con 3 parámetros estadísticos. Los parámetros se estimaron mediante regresión no lineal, con la técnica de cuadrados mínimos. Una vez obtenidos los parámetros de cada

modelo, se realizó una evaluación de los mejores modelos para cada especie a través de la comparación de los estadísticos de ajuste como coeficiente de determinación (r^2) y error estándar (Sx).

3.5. Incremento en biomasa aérea

Para estimar el incremento corriente anual (ICA), se utilizó la forma diferencial del modelo seleccionado para cada especie. Para estimar el incremento medio anual (IMA), se corrió el modelo de crecimiento para cada año y la biomasa total se diferenció por la edad acumulada a cada año. Para determinar el turno absoluto se graficaron las curvas del incremento corriente y medio anual (ICA e IMA) y esto se obtuvo de la intersección entre estas dos curvas.

Cuadro 3. Nombre y forma integral de los modelos de crecimiento ajustados a diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Nombre de la ecuación	Forma integral
Hossfeld IV	$Y = E^c / (b + E^c / a)$
Gompertz	$Y = a * e^{(-b * c * (-c * E))}$
Logistic	$Y = a / (1 + c * e^{(-b * E)})$
Monomolecular	$Y = a * (1 - c * e^{(-b * E)})$
Chapman-Richards	$Y = a * (1 - e^{(-b * E)})^c$
Levakovic III	$Y = a * (E^2 / (b + E^2))^c$
Korf	$Y = a * e^{(-b * E^c)}$
Weibull	$Y = a * (1 - e^{(-b * E^c)})$

a, b y c = Parámetros estadísticos; e = base de los logaritmos neperianos; E = Edad.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Modelos de crecimiento

Los modelos de crecimiento con mejor ajuste para cada una de las diez especies estudiadas se presentan en el Cuadro 4. En términos generales los coeficientes de determinación y errores estándar fueron aceptables. La especie *H. parvifolia* observó los ajustes menos bondadosos, en contraste, las especies *C. pallida* y *E. texana* tuvieron los mejores ajustes estadísticos.

Cuadro 4. Estadísticos de ajuste y parámetros estimados de las funciones de crecimiento para diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Especie	Función	Nombre	R ²	Sx (Kg)
<i>C. boissieri</i>	$B=(48.7226)*((1-(EXP(-(0.06163)*E)))^{(4.8238)})$	Ch-Richards	0.77	2.96
<i>H. parvifolia</i>	$B=(12.9829)/(1+((63.8518)*EXP(-(0.1763)*E)))$	Logístico	0.71	2.17
<i>C. hoockeri</i>	$B=(18.3490)/(1+((93.1818)*EXP(-(0.25917)*E)))$	Logístico	0.90	1.65
<i>D. texana</i>	$B=(74.9781)*(EXP(-(5.7010)*(EXP(-(0.05273)*E))))$	Gompertz	0.82	3.35
<i>A. rigidula</i>	$B=(18.016)*((1-(EXP(-(0.04870)*E)))^{(2.4378)})$	Ch-Richards	0.82	1.16
<i>C. pallida</i>	$B=(36.2469)*(1-(EXP(-(0.000371)*(E^{(2.3806)}))))$	Weibull	0.91	1.03
<i>A. berlandieri</i>	$B=(45.6419)*(1-(EXP(-(0.0003032)*(E^{(2.2625)}))))$	Weibull	0.85	1.58
<i>A. farnesiana</i>	$B=(25.9131)/(1+((132.1409)*EXP(-(0.2161)*E)))$	Logístico	0.82	2.79
<i>P. pallens</i>	$B=E^{(3.4194)/((4361.69)+((E^{(3.4194)})/(18.512)))}$	Hossfeld IV	0.78	1.85
<i>E. texana</i>	$B=(32.2183)*(1-(EXP(-(0.0004033)*(E^{(2.1854)}))))$	Weibull	0.91	1.24

B= Biomasa aérea; E= edad

El modelo logístico mostró consistentemente el mejor ajuste en las especies *Helietta parvifolia*, *Condalia hoockeri* y *Acacia farnesiana*. Los coeficientes de determinación y el error estándar resultaron mejores en *C. hoockeri* y menores en *H. Parvifolia*. Esta observación coincide con las sugerencias de Castaño y Quiroga (1989) quienes mencionaron que el modelo logístico fue el de mejor ajuste y validación para árboles jóvenes, adultos, maduros y sobremaduros.

El modelo Weibull mostró el mejor ajuste en *Celtis pallida*, *Acacia berlandieri* y *Eysenhardtia texana*. Los coeficientes de determinación y los errores estándar resultaron mejores en *C. pallida* y *E. texana* y menores en *A. berlandieri*. Se ha reportado que la ecuación Weibull ha sido un buen modelo empírico para estimar el crecimiento de árboles. Este modelo se ajustó mejor al crecimiento del 30% de las especies estudiadas.

El modelo de Gompertz se ajustó mejor al crecimiento de *D. texana*, éste modelo fue diseñado para describir la distribución de edades en poblaciones humanas y más tarde aplicado al crecimiento forestal. Este supone el decaimiento exponencial del individuo con el tiempo debido al envejecimiento o degradación enzimática (Ramírez, 1991).

El modelo de Chapman-Richards mostró el mejor ajuste para las especies *Cordia boissieri* y *Acacia rigidula*. Esta ecuación se destaca por su flexibilidad y su exactitud, siendo una de la más utilizada en estudios de crecimiento de árboles individuales adultos (Zeide, 1993). El crecimiento en biomasa aérea de *P. pallens* tuvo buen ajuste con la edad através del modelo Hossfeld IV (Cuadro 4). La ecuación Hossfeld IV se presume que es la más antigua para predecir el crecimiento de los árboles, aunque es una de las ecuaciones más exactas de tres parámetros y casi tan exacta como la de Chapman-Richards (Zeide 1993).

El crecimiento e incremento en biomasa aérea para las 10 especies estimado con los mejores modelos de crecimiento se presenta en las Figuras 1 y 2, respectivamente.

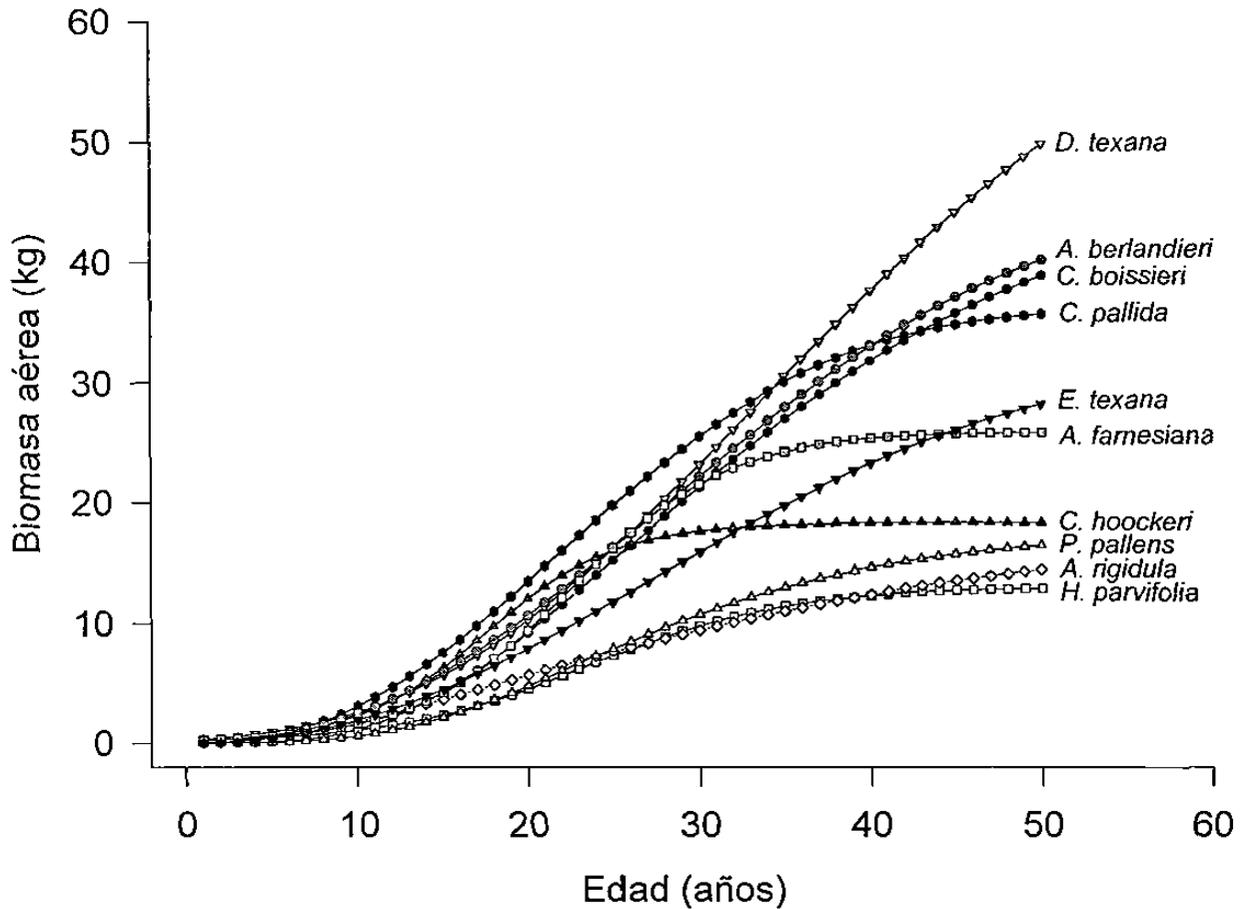


Figura 1 Curvas de crecimiento en biomasa aérea en diez especies forestales del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Los rangos de crecimiento en biomasa aérea fluctúan entre los 12 y 70 Kg observándose claramente tres grupos de crecimiento (Figura 1). Especies con crecimientos altos donde *D. texana* presenta el mayor crecimiento en comparación a todas las especies estudiadas, seguida por las especies *A. berlandieri* y *C. boissieri*. Las especies que presentan un crecimiento medio son *C. pallida*, *E. texana* y *A. farnesiana*. Las especies que presentaron un crecimiento bajo fueron *C. hoockeri*, *P. pallens*, *A. rigidula* y *H. Parvifolia*. El comportamiento de este último grupo se debe a que estas especies son de naturaleza multifustal y el estudio contempla

aplicaciones para árboles individuales por lo que se ve reducida la participación de crecimiento en biomasa aérea a nivel del arbusto individual en estas especies. El punto de inflexión de la mayoría de las curvas de crecimiento es entre los 30 y 40 años. Estas edades corresponden a los rangos observados en campo desconociéndose el comportamiento de las especies para rangos de edad mayores. El crecimiento es acelerado en el periodo de los 10 a 40 años en la mayoría de las especies.

4.2. Incremento en biomasa aérea

Las especies estudiadas alcanzan el máximo incremento corriente anual (ICA) en biomasa aérea entre los 17 y 33 años. La máxima producción de biomasa aérea en escalas de tiempo mayores (IMA) es alcanzada en todas las especies entre los 24 y 52 años. A esta edad se presenta el turno absoluto. Las especies estudiadas presentaron una producción de 4.11 Mg ha⁻¹ año⁻¹ de biomasa aérea y una captura anual de carbono de 2.055 Mg ha⁻¹ año⁻¹ (Cuadro 5).

González (1993) encontró después de aplicar cuatro diferentes tratamientos de corte una producción de biomasa de 2 Mg ha⁻¹ año⁻¹ en plantas bajo sombra y 4.7 Mg ha⁻¹ año⁻¹ en vegetación bajo luz. Forougbakhch y Hauad (1993) estimaron en una plantación de *Leucaena leucocephala* de 6.04 a 8.40 Mg ha⁻¹ año⁻¹ con densidades de plantación de 0.25 X 0.25 y 0.25 X 0.50 m. Carrillo (1991) encontró un incremento medio en biomasa de 0.016 Mg ha⁻¹ año⁻¹ en las especies del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Heiseke (1984) menciona que es factible producir en el Matorral Espinoso Tamaulipeco de 3 a 4 Mg ha⁻¹ año⁻¹ oscilando entre 0.32 a 5.3 Mg ha⁻¹ año⁻¹ de materia seca.

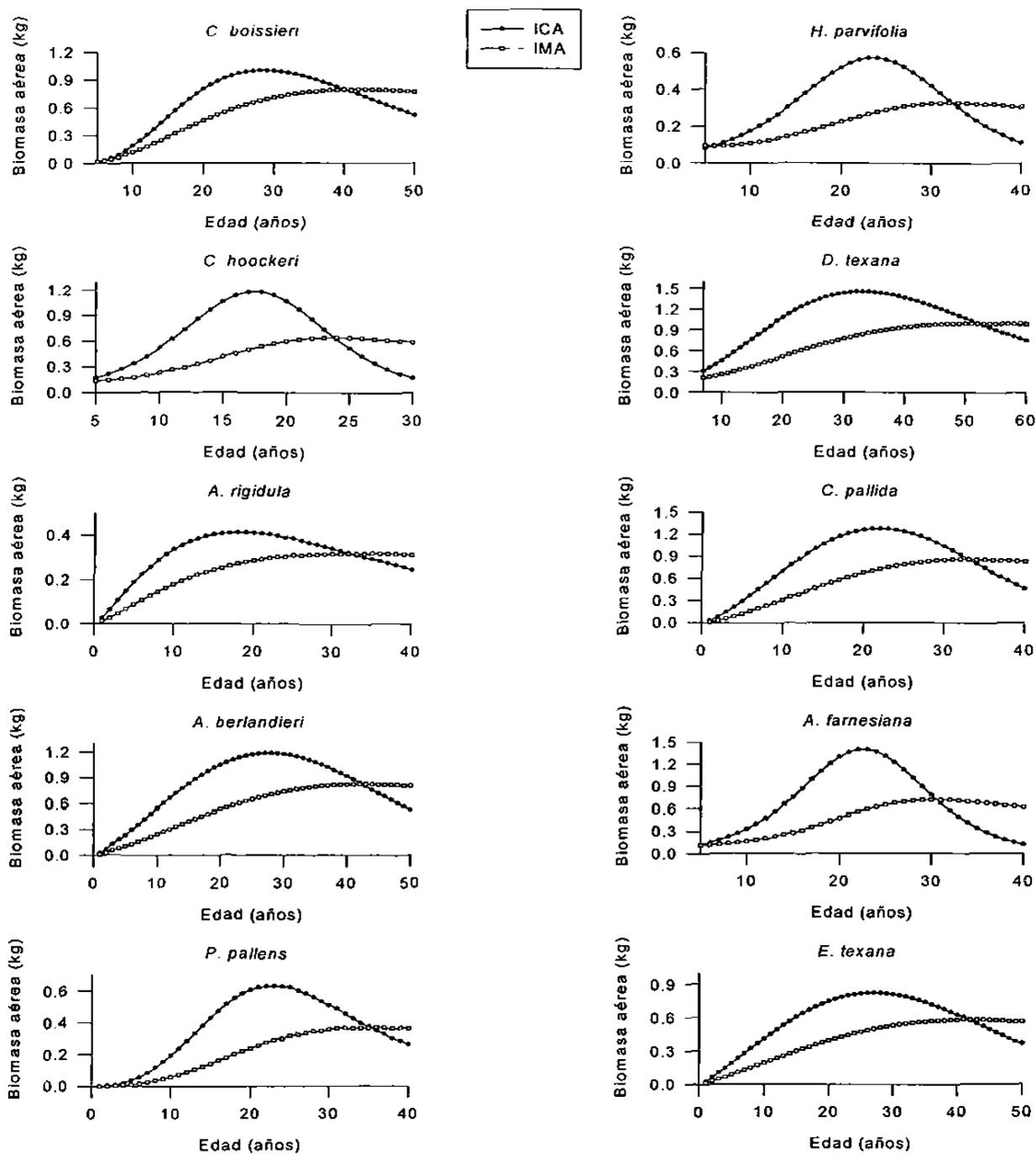


Figura 2. Curvas de ICA e IMA en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Los incrementos máximos en ICA e IMA para las especies estudiadas se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Incrementos corriente (ICA), medio (IMA) anual y turno absoluto en producción de biomasa aérea en diez especies típicas de Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Especie	ICA (Kg)	Años	IMA (Kg)	Años	Turno (Años)	Producción anual (Kg)
<i>C. boissieri</i>	1.002	28	0.796	42	42	35.66
<i>H. parvifolia</i>	0.572	24	0.331	32	32	6.18
<i>C. hookeri</i>	1.184	17	0.645	24	24	389.08
<i>D. texana</i>	1.455	33	0.999	52	52	178.36
<i>A. rigidula</i>	0.411	18	0.317	32	32	3217.54
<i>C. pallida</i>	1.277	22	0.861	33	33	8.57
<i>A. berlandieri</i>	1.189	28	0.826	42	42	54.00
<i>A. farnesiana</i>	1.397	23	0.719	30	30	76.94
<i>P. pallens</i>	0.634	23	0.371	34	34	121.30
<i>E. texana</i>	0.822	27	0.582	41	41	18.45
Total						4106.09

ICA= Incremento corriente anual; IMA= Incremento medio anual; Turno= Turno absoluto.

Las especies *D. texana*, *A. farnesiana*, *C. pallida*, *A. berlandieri* y *C. hookeri* presentaron los mayores incrementos corriente y medio anual. *A. rigidula*, *H. parvifolia*, *P. pallens* y *E. texana* presentaron los menores incrementos corriente y medio anual.

Las especies que presentaron los menores turnos absolutos fueron *C. hookeri*, *A. farnesiana*, *H. parvifolia* y *A. rigidula*.

4.3. Captura de carbono

Los incrementos máximos en ICA e IMA en captura de carbono para las diez especies estudiadas se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Incrementos corriente (ICA), medio (IMA) anual y turno absoluto en captura de carbono por la biomasa aérea de diez especies típicas de Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Especie	ICA (Kg)	Años	IMA (Kg)	Años	Turno (Años)
<i>C. boissieri</i>	0.501	28	0.398	42	42
<i>H. parvifolia</i>	0.286	24	0.165	32	32
<i>C. hoockeri</i>	0.592	17	0.322	24	24
<i>D. texana</i>	0.727	33	0.499	52	52
<i>A. rigidula</i>	0.205	18	0.158	32	32
<i>C. pallida</i>	0.638	22	0.430	33	33
<i>A. berlandieri</i>	0.594	28	0.413	42	42
<i>A. farnesiana</i>	0.698	23	0.359	30	30
<i>P. pallens</i>	0.317	23	0.185	34	34
<i>E. texana</i>	0.411	27	0.291	41	41

ICA= Incremento corriente anual; IMA= Incremento medio anual; Turno= Turno absoluto.

D. texana presenta su máxima captura de carbono a los 33 años mientras que *A. rigidula* captura la menor cantidad de carbono y su máxima tasa ocurre a los 18 años. La Figura 3 presenta el crecimiento en captura de carbono en las diez especies estudiadas.

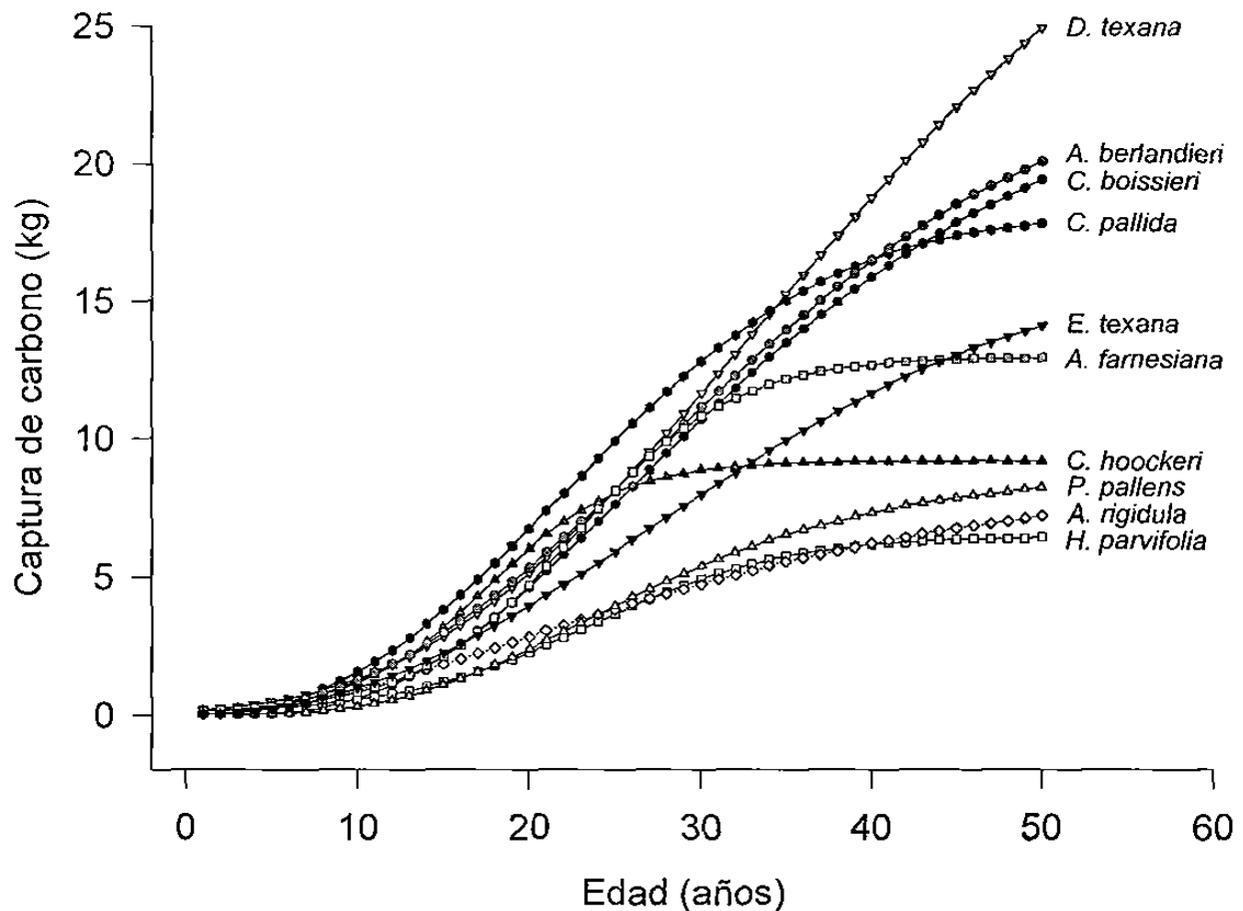


Figura 3. Curvas de crecimiento en contenido de carbono en la biomasa aérea en diez especies forestales del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Los rangos de crecimiento en captura de carbono fluctúan entre 6 y 35 Kg a una edad base de 50 años. Las especies *D. texana*, *A. berlandieri* y *C. boissieri* capturan la mayor cantidad de carbono. Las especies *C. hoockeri*, *P. pallens*, *A. rigidula* y *H. Parvifolia* presentaron una menor captura de carbono. Aunque éstas últimas especies a nivel del arbusto individual son los que menor biomasa y captura de carbono presentan, a nivel del macollo su tasa de captura incrementa sustancialmente porque el número de fustes está en función directa con el diámetro promedio a la base, la cobertura total y la altura.

5. CONCLUSIONES

Se ajustaron ocho modelos de crecimiento con tres parámetros estadísticos para estimar el crecimiento e incremento en biomasa y captura de carbono en la biomasa aérea de diez especies características del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México. Los modelos de crecimiento de mejor ajuste mostraron que las especies *D. texana*, *C. Pallida*, *A. berlandieri* y *C. boissieri* mostraron los ritmos de crecimiento más altos en contraste con las especies *H. Parvifolia*, *A. rigidula* y *P. pallens*. El incremento corriente anual osciló entre los 18 y 38 años con una producción anual de biomasa aérea de 0.411 Kg a 1.641 Kg año⁻¹ y una tasa de captura de carbono entre 0.205 Kg y 0.820 Kg año⁻¹. El turno absoluto fue de 24 a 67 años con una producción de biomasa de 0.317 Kg a 1.208 Kg y una captura máxima anual de carbono de 0.158 Kg a 0.604 Kg. El potencial de producción de biomasa aérea al nivel espacial fue de 4.11 Mg ha⁻¹ año⁻¹ y la captura anual de carbono se situó en 2.05 Mg ha⁻¹ año⁻¹.

6. LITERATURA CITADA

- Alanís, G. 1982. El matorral como recurso pecuario en el nordeste de México. Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. Monterrey, México. 44 p.
- Brown, S. 1996. Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono XII Congreso Mundial Forestal, Antalya Turquía . 107-121.

- Carrillo, A. 1991. Efecto de algunos tratamientos silvícolas y de factores abióticos sobre la regeneración y manejo del matorral. Tesis profesional, Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Linares N.L., 73 p.
- COTECOCA-SARH. 1973. Coeficientes de agostadero de la República Mexicana, Edo. de N. L., Secretaría de Agricultura y Ganadería. Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero, México.
- Estrada, E., J. Marroquín. 1990. Leguminosas en el centro-sur de Nuevo León. Reporte científico número 10. Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N.L., México, 258 p
- Foroughbakhch, R., D. Heiseke. 1990. Manejo silvícola del matorral: raleo, enriquecimiento y regeneración controlada. Reporte científico Número 19. Facultad de Ciencias Forestales UANL, Linares, N. L., México, 28 p.
- Foroughbakhch, R. y L. A. Hauad. 1989. Potencial forrajero de tres especies de *Leucaena* en el nordeste de México: Respuesta a diferentes espaciamientos. Reporte científico Número 12. Facultad de Ciencias Forestales UANL, Linares, N. L., México, 31 p.
- García E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, Cuarta Edición. 217 p.
- González, M. 1985. El límite sur de la Provincia Biótica Tamaulipeca. II Simposio Internacional sobre la Provincia Biótica Tamaulipeca UAT-UNAM 7 p.
- Harold W. Hocker Jr. 1984. Introducción a la Biología Forestal *A.G.T Editores* 433 p.
- Heiseke, D. 1984. Regeneración por rebrotes en dos tipos de matorral subímerme de la región de Linares, N.L., Facultad de silvicultura y Manejo de Recursos Renovables, UANL, México, 17 p.

- Heiseke, D., R. Foroughbakhch. 1985. El matorral como recurso forestal. Reporte científico Número 1. Facultad de Ciencias Forestales UANL, Linares, N. L., México, 31 p.
- Lugo, A. E. and S. Brown, 1992. Tropical forests as sinks of atmospheric carbon. *For. Ecol. Manage.* 48: 69-88.
- Maclaren, J. Hollinger, D. Beets, P. Turland, J. 1994. Carbon sequestration by New Zealand's plantation forests. In: Kanninen, M. (ed.) 1994. Carbon Balance of World's forested ecosystems: towards a global assessment. Helsinki, Publications of the Academy of Finland 3/93: 201-214.
- Marklund, L. 1983. Collecting data for biomass equation development: some methodological aspects. *Mesures des biomasses et des accroissements forestiers. Les Colloques de l'INRA Orleáns, France* 19: 37-43.
- Mery, G., and M. Kanninen. 1998. Las plantaciones forestales y el secuestro de carbono en Chile. Primer Congreso Latinoamericano IUFRO Valdivia Chile 1998. 14p.
- Monserud, R., A. A. Onuchin, and N. M. Tchebakova. 1996. Needle, crown, stem, and root phytomass of *Pinus silvestris* stands in Russia. *For. Ecol. Manage.* 82: 59-67.
- Návar, J., J. Méndez, R. B. Bryan and N. J. Khun. 1999. The contribution of shrinkage cracks to bypass flow during simulated rainfall experiments in northeastern Mexico. Trabajo de Investigación. Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N.L., México.
- Návar, J., T. Cavazos y P.A. Domínguez. 1994. Los balances hidrológicos mensuales con tres probabilidades de precipitación en el Estado de Nuevo León. Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra. De. C. Pola, J.A. Ramírez F., M.M. Rangel y I. Navarro-L. NANL. Linares, N. L. México.

- Návar J. 1986. Aspectos hidrológicos importantes del terreno universitario de Linares, N. L. Trabajo de Investigación, Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N.L., México.
- Reid, N., J. Marroquin, and P. Beyer-Munzel. 1990. Utilization of shrubs and trees for browse, fuelwood and timber in the Tamaulipan thornscrub, northeastern México. *For. Ecol. Manage.* (36): 61-79.
- SPP. 1981. Carta de climas. Esc. 1:1, 000, 000, Hoja Monterrey, Tipos de climas según Köppen, modificado por García, Secretaría de Programación y Presupuesto, México.
- Villegas, G. 1972. Tipos de vegetación de los municipios de Linares y Hualahuises, N. L. Tesis Lic. Escuela de Agricultura. Universidad de Guadalajara México, 96 p.
- Woerner, M. 1991. Los suelos bajo vegetación del matorral del noreste de México, descritos a través de ejemplos en el Campus Universitario de la UANL, Linares, N. L. Reporte Científico No. 22 Linares, N, L. México: Facultad de Ciencias Forestales.
- Zeide, B. 1993. Analisis of growth equations. *For. Sci.* 39 (3): 594-616.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES GENERALES

La biomasa aérea y el volumen fustal de 10 especies y de una parcela experimental del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México fueron estimados con ecuaciones estadísticas. Se ajustaron ecuaciones específicas para cada componente de la biomasa aérea y una ecuación general para todas las especies para la biomasa total. Al nivel de la parcela experimental las ecuaciones específicas y general mostraron consistencia en la estimación de la biomasa total por unidad de superficie. Estas ecuaciones mostraron que la biomasa aérea en una parcela experimental fue de 51.45 Mg ha^{-1} . Las ecuaciones de volumen indicaron que en esta fracción del matorral existen $20.66 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. El primer valor refleja un contenido de carbono de $25.72 \text{ MgC ha}^{-1}$. Paralelamente se ajustaron ocho modelos de crecimiento con tres parámetros estadísticos para conocer la dinámica de crecimiento e incremento en biomasa aérea y captura de carbono. El incremento corriente anual osciló entre los 18 y 38 años con una producción anual de biomasa aérea de $0.411 \text{ Kg año}^{-1}$ a $1.641 \text{ Kg año}^{-1}$ y una captura de carbono entre 0.205 Kg y $0.820 \text{ Kg año}^{-1}$. El turno absoluto fue de 24 a 67 años con una producción de biomasa aérea de 0.317 Kg a 1.208 Kg y una captura máxima anual de carbono de 0.158 Kg a 0.604 Kg . El potencial de producción de biomasa para las diez especies fue de $4.11 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Las especies mostraron diferencias entre la cantidad de biomasa aérea producida anualmente y por consecuencia diferencias en cuanto a los ritmos de crecimiento y

captura de CO₂. A éste respecto, las especies *D. texana*, *A. berlandieri*, *C. boissieri* y *C. pallida* observaron los mayores almacenes y tasas de captura de carbono en la biomasa que *C. hoockeri*, *P. pallens*, *A. rigidula* y *H. parvifolia* las cuales mostraron los mas bajos valores. La especie *C. hoockeri* fue quien alcanzó el turno absoluto en el menor tiempo, mientras que *E. texana* alcanzó el turno absoluto en el mayor tiempo.

CAPÍTULO VII

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, C., O. A. 1991. Elaboración de tablas de producción en base a sitios temporales de muestreo. Un ejemplo con *Pinus pseudostrabus* Lindl. en el noreste de México. Reporte científico número 24. Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N.L., México. 43 p.
- Aguirre, S., P. Infante, 1988. Funciones de biomasa para boldo (*Peumus boldus*) y espino (*Acacia caven*) de la zona central de Chile. *Ciencia e Investigación Forestal*. Vol (2)3 45-50.
- Alanís, G. 1982. El matorral como recurso pecuario en el nordeste de México. Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. Monterrey, México. 44 p.
- Alanís, G. 1998. Ecología de comunidades de plantas de Nuevo León, México. Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias Biológicas, U.A.N.L. Monterrey, México. En Internet <http://www.riogrande.org/cgi-bin/wwwboard.pl>
- Alatorre, G. 1997. El protocolo de Kyoto: Un segundo primer paso en el camino hacia la protección del sistema climático planetario. En Internet: <http://www.laneta.apc.org/gea>
- Andrasko, K. 1990. El recalentamiento del globo terráqueo y los bosques: estado actual de los conocimientos. *Unasyuva* 163 Vol 41 3-11.

- Arce, J. E., C. R. Sanquetta, W. Pizzato y F. dos Santos Gomes. 1998. Evaluación y simulación precoces de crecimiento de rodales de *Pinus taeda* L. con procesos de difusión. Primer Congreso Latinoamericano IUFRO Valdivia Chile 1998.
- Bahamondez, C., C. M. Martin, C. Khaler y R. Blanco. 1998. Modelos de simulación para renovales de roble (*Nothofagus obliqua* (Merlo) Oerst)) y rauli (*Nothofagus alpina* (Poepp et endl)) Primer Congreso Latinoamericano IUFRO Valdivia Chile 1998.
- Bidwell, R. G. 1979. Fisiología vegetal. *A.G.T. Editor*, México. 784 pp.
- Booth, H.T.1991.A Global Climatological Audit Of Forest Resources To Assist Conservation And Sustainable Development.Informe del X Congreso Forestal Mundial, 65-70.
- Brand, D. 1998. Opportunities generated by Kyoto Protocol in the forest sector. *Commonwealth Forestry Review* 77 (3), 164-169.
- Brown, S. 1996. Present and potential role of forests in the global climate change debate. *Unasylva* 185, Vol 47: p. 3-9.
- Brown, S., J. Sathaye, M. Cannell. And P. Kauppi. 1996. Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management. *Commonwealth Forestry Review* 75(1): 80-91.
- Brown, S. 1996. Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono XII Congreso Mundial Forestal, Antalya Turquía . 107-121.
- Brown, S., A. E. Lugo, and J. Wisniewski, 1992. Missing carbon dioxide. *Science* 257:11.
- Bruenig, E.F.1991. Forest And Climate New Dimensions And Perspectives.Informe del XII Congreso Forestal Mundial . Antalya Turquía 9-15.
- Cannell, M.G. 1996. Forests as carbon sinks mitigating the greenhouse effect. *Commonwealth Forestry Review* 75(1): 92-99.

- Carrillo, A. 1991. Efecto de algunos tratamientos silvícolas y de factores abióticos sobre la regeneración y manejo del matorral. Tesis profesional, Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Linares N.L., 73 p.
- Carstens, A. 1987. Struktur eines Matorrals in semiariden-subhumiden Nordosten Mexikos und Auswirkungen von Behandlungen zu seiner Bewirtschaftung. Göttinger Beiträge zur land-und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen. Heft 27.
- Castellanos, J., A. Velázquez, J. Vargas, F. Rodríguez y A. Fierros. 1996. Producción de biomasa en un rodal de *Pinus patula*. *Agrociencia* 30: 123-128.
- COTECOCA-SARH. 1973. Coeficientes de agostadero de la República Mexicana; Edo. de N. L., Secretaría de Agricultura y Ganadería. Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero, México.
- Clary, W. P and A. R. Tiedemann. 1986. Distribution of biomass within small tree and shrub *Quercus gambelii* stands. *For. Sci.* 32: 234-242.
- Clough, B. F. and K. Scott. 1989. Allometric relationships for estimating above-ground biomass in six mangrove species. *For. Ecol. and Manage.* 27:117-127.
- Clutter, J., J. Fortson, G. Pienaar, G. Brister, and R. Bailey. 1983. Timber Management: a Quantitative Approach. *John Wiley and Sons*, New York, USA. 333 p.
- Contreras, J.C. y Návar, J. 1999. Ecuaciones para estimar volumen: rollo total árbol, fuste con y sin corteza, fuste y tocón y fuste y ramas para *Pinus durangensis* y *Pinus teocote* del Ejido Vencedores, Durango, México. En Prensa en: Investigación Agraria: Serie Recursos Naturales.
- Diamond, D., D. Riskind and S. Orzell. 1987. A framework for plant community classification and conservation in Texas at Dallas. *Texas Journal of Science* 39:203-221.

- Eckstein, D., J. Ogden, G. Jacoby y J. Ash. 1980. Determinación de la edad y ritmo de crecimiento en árboles tropicales. La aplicación de métodos dendrocronológicos. Eventos del taller sobre la determinación de la edad y ritmo de crecimiento de árboles tropicales en colaboración de Hernand Forest Petersham. Massachussets.
- Estrada, E., J. Marroquin. 1990. Leguminosas en el centro-sur de Nuevo León. Reporte científico número 10. Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N.L., México, 258 p
- Fahn, A., Naomi y Ginzburg. 1963. Dendrocronological studies in the Negev. *Israel Explotation Journal*. Vol 13 (4).
- Fearnside, P. 1997. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. . *For. Ecol. Manage.* 90: 59-87.
- Foroughbakhch, R., D. Heiseke. 1990. Manejo silvícola del matorral: raleo, enriquecimiento y regeneración controlada. Reporte científico Número 19. Facultad de Ciencias Forestales UANL, Linares, N. L., México, 28 p.
- Foroughbakhch, R. y L. A. Hauad. 1989. Potencial forrajero de tres especies de *Leucaena* en el nordeste de México: Respuesta a diferentes espaciamientos. Reporte científico Número 12. Facultad de Ciencias Forestales UANL, Linares, N. L., México, 31 p.
- García E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, Cuarta Edición. 217 p.
- Gimenez, A. M., G. Moglia. 1992. Determinación de patrones de crecimiento de especies leñosas arbóreas de la Región Chaqueña Seca. *Revista Yvyrareta*. 46-60
- González, D. 1993. Productividad del matorral mediano subinermes bajo distintos tratamientos silvícolas. Tesis profesional, Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Linares N.L. 52 p.

- González, M. 1985. El límite sur de la Provincia Biótica Tamaulipeca. II Simposio Internacional sobre la Provincia Biótica Tamaulipeca UAT-UNAM 7 p.
- Guehl, J. M. 1996. Forests Faced with Increasing Atmospheric Carbon Dioxide. INRA, Écophysiologie forestière, Équipe Bioclimatologie et Écophysiologie, Research Centre of Nancy, France.
- Gwaze, D and H. Stewart. 1990. Biomass equations for eight exotic tree species in Zimbabwe. *Commonwealth Forestry Review*. 69(4) 337-344.
- Harold W. Hocker Jr. 1984. Introducción a la Biología Forestal *A.G.T Editores* 433 p.
- Harrington, J., J. Kimmins, D. Lavender. 1991. The Effect Of Climate Change On Forest Ecology In Canada. Informe del X Congreso Forestal Mundial. Vol 2 49-58.
- Heiseke, D. 1984. Regeneración por rebrotes en dos tipos de matorral subinermes de la región de Linares, N.L., Facultad de silvicultura y Manejo de Recursos Renovables, UANL, México, 17 p.
- Heiseke, D., R. Foroughbakhch. 1985. El matorral como recurso forestal. Reporte científico Número 1. Facultad de Ciencias Forestales UANL, Linares, N. L., México, 31 p.
- Hooda, M. S., R. Bahadur and K. S Bangarwa. 1993. Growth and biomass yield of six multipurpose trees of arid and semiarid India. *Nitrogen Fixing Tree Res. Reports*. 11:8-9.
- Houghton, R. A. and D. L. Skole, 1990. Carbon. In: B. L. Turner, W. C. Clark, R. W. Kates, J. F. Richards, J. T. Matthews, and W. B. Meyer (eds.): The Earth as transformed by human action. Cambridge University Press, NY, p. 393-408.
- IPCC. 1995: Climate Change 1995. The Science of Climate Change. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. 572 p.

- Kari, K. 1998. Desafíos de políticas y financiamiento forestal en América Latina y el Caribe. Primer Congreso Latinoamericano IUFRO Valdivia Chile 1998.
- Kyrklund, B. 1990. Cómo pueden contribuir los bosques y las industrias forestales a reducir el exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera. *Unasyiva* 163 Vol 41 12-14.
- Laiho, R., J. Laine. 1997. Tree stand biomass and carbon content in age sequence of drained pine mires in southern Finland. *For. Ecol. Manage.* 93: 161-169.
- Leith, H, R. Whithacker. 1975. Primary productivity of the biosphere. Ecological studies No. 14, New York, 1975.
- Llerena, C. A. 1991. Contaminación atmosférica, efecto de invernadero y cambios climáticos: sus impactos forestales. *Revista Forestal del Perú.* 18 (2) 101-135.
- Lugo, A. E. and S. Brown, 1992. Tropical forests as sinks of atmospheric carbon. *Forest Ecology and Management* 48: 69-88.
- Maclaren, J. P. 1996. New Zealand's planted forests as carbon sinks. *Commonwealth Forestry Review* 75 (1): 100-103.
- Maclaren, J., D. Hollinger, P. Beets, and J. Turland, 1994. Carbon sequestration by New Zealand's plantation forests. In: Kanninen, M. (ed.) 1994. Carbon Balance of World's forested ecosystems: towards a global assessment. Helsinki, Publications of the Academy of Finland 3/93: 201-214.
- Makela, A. 1997. A carbon Balance Model of growth and self-pruning in tress based on structural relationships. *For. Sci.* 43:7-23.
- Marklund, L. 1983. Collecting data for biomass equation development: some methodological aspects. Mesures des biomasses et des accroissements forestiers. Les Colloques de l'INRA Orleáns, France 19: 37-43.

- Marland, G., B. Schlamadinger. 1996. ¿Bosques para la captación y retención del carbono o para la sustitución de los combustibles fósiles? Un análisis de sensibilidad. XII Congreso Forestal Mundial , Antalya Turquía 131-141.
- Mery, G., M. Kanninen. 1998. Las plantaciones forestales y el secuestro de carbono en Chile. Primer Congreso Latinoamericano IUFRO Valdivia Chile 1998. 14p.
- Monserud, R., A. Onuchin and N. Tchebakova. 1996. Needle, crown, stem, and root phytomass of *Pinus silvestris* stands in Russia. *For. Ecol. Manage.* 82: 59-67.
- Návar, J., J. Méndez, R. B. Bryan and N. J. Khun. 1999. The contribution of shrinkage cracks to bypass flow during simulated rainfall experiments in northeastern Mexico. Trabajo de Investigación. Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N.L., México.
- Návar, J., T. Cavazos y P.A. Domínguez. 1994. Los balances hidrológicos mensuales con tres probabilidades de precipitación en el Estado de Nuevo León. Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra. De. C. Pola, J.A. Ramírez F., M.M. Rangel y I. Navarro-L. NANL. Linares, N. L. México.
- Návar, J. 1986. Aspectos hidrológicos importantes del terreno universitario de Linares, N. L. Trabajo de Investigación, Facultad de Ciencias Forestales, UANL, Linares, N.L., México.
- Nilsson S. and W. Schopfhauser. 1995 The carbon-sequestration potential of a global afforestation program. *Climatic Change* 30: 267-293
- Panhwar, F. 1996. Coserving, Agro-Forestry Is The Solution Of-Future Global-Warming And Biodiversity Sindh A Case.
- Persson, R. y K. Janz, 1997. Evaluación y monitoreo de recursos arbóreos. XII Congreso Mundial Forestal, Antalya Turquía. Vol 1 17-18

- Prado, J. A. y C. Alarcón. 1990. Funciones de biomasa de *Eucalyptus globulus* en la región costera central. *Ciencia e Investigación Forestal*. 5 (1): 59-70.
- Prado, J., P. Infante, M. Arriagada, S. Aguirre. 1987. Funciones de biomasa para seis especies arbustivas de la zona árida de Chile. *Ciencia e Investigación Forestal*. 1 (2), 11-20.
- Prado, J., S. Aguirre. 1987. Funciones para la estimación de biomasa total y de componentes del Quillay (*Quillaja saponaria Mol*). *Ciencia e Investigación Forestal*. 1 (1), 41-47.
- Raev, I., U. Asan, O. Grozev. 1996. Acumulación de CO₂ en la parte aérea de la biomasa de los bosques de Turquía y Bulgaria, en las últimas décadas. XII Congreso Mundial Forestal, Antalya Turquía . 123-130.
- Ramos de Freitas, A. 1998. Contribución de las industrias forestales al desarrollo económico y social de América Latina. Primer Congreso Latinoamericano IUFRO Valdivia Chile 1998.
- Reid, N., J. Marroquin, P. Beyer-Munzel. 1990. Utilization of shrubs and trees for browse, fuelwood and timber in the Tamaulipan thornscrub, northeastern México. *For. Ecol. Manage.*, (36): 61-79.
- Rivas, L., A. Catalán y E. Arends. 1990. Biomasa y contenido de nutrientes del *Brosimum alicastrum* y *Pouteria anibaefolia*, en la reserva forestal de Caparo, estado Barinas. *Rev. For. Venez.* No. 34 29-44.
- Rodríguez, S., M. González y J. A. Martínez. 1988. Árboles y arbustos del Municipio de Marín, N. L. México. Temas didácticos No. 2. Facultad de Agronomía, U.A.N.L, Marín N. L. 130 p.
- Roeb, G. W, F. Führ. 1990. Use of the Short-lived ¹⁴C radioisotope in phytophysiological research. *Plant Research and Development*. Vol (32) 55-70.

- Rotty, R.M., G. Marland. 1986. Production of CO₂ from fossil fuel burning by fuel type, 1860-1982. Report NDP-006. Carbon Dioxide Information Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- Sanderson, G. 1992. Climate Change: The Threat to Human Health, *The Futurist*, March-April, 34-38
- SARH. 1993. Síntesis ejecutiva sobre estadísticas de Deforestación. México, D.F
- SARH. 1994. Inventario Nacional Forestal Periódico. México, DF. 127 p.
- Schroeder, P., S Brown, J. Mo, R. Birsey and Cieszewski. 1997. Biomass estimation for temperate broadleaf forest of the United States using inventory data: *For. Sci.* 43:424-434.
- Schroeder, P. R. K. Dixon y J. K. Winjum. 1993. Ordenación forestal y agrosilvicultura para reducir el dióxido de carbono atmosférico. *Unasylva* 173 Vol 44 52-60.
- SEMARNAP. 1998. Programa Nacional de Acción Climática. Documento para Consulta Pública
- SEMIP. 1991. Balance Nacional de Energía 1990. México.
- Shand, E. 1996. Biodiversidad y retención de carbono. XII Congreso Mundial Forestal, Antalya Turquía . 143.
- SPP. 1981. Carta de climas. Esc. 1:1, 000, 000, Hoja Monterrey, Tipos de climas según Köppen, modificado por García, Secretaría de Programación y Presupuesto, México.
- SPP-INEGI. 1986. Síntesis geográfica del estado de Nuevo León, México, 170 p.
- Stamm, A. J. 1964. Wood and Cellulose Science. *The Ronald Press Company*, N. Y. 549 pp.
- Steinlin, H. 1984. The forest resources of the earth. *Plant Research and Development*. Vol (20) 74-92.

- Tipper, R., B. De Hong. 1998. Cuantification and regulation of carbon offsets from forestry: Comparison of alternative methodologies, with special inference to Chiapas, México. *Commonwealth Forestry Review* 77 (3), 219-228.
- Tipper, R.. 1996. Hacia un Programa Nacional de Captura de Carbono y Desarrollo Agroforestal. Documento de Trabajo Versión 1.2
- Tsiouvaras, C., B. Noitsakis, and V. Papanastasis. 1986. Clipping intensity improves growth rate of kermes oak (*Quercus coccifera* L.) twigs. *For. Ecol. Manage.* 15:229-237.
- Vanclay, J.K 1995. Growth models for tropical forests: A synthesis of models and methods. *For. Sci.* 41: 7-42.
- Villalón, H. 1989. Comparación de 3 métodos para la medición del volumen verde de madera en 13 especies del matorral espinoso de la región de Linares N.L., Simposio Agroforestal en México 14-16 de Noviembre de 1989. Memorias Tomo II. Facultad de Ciencias Forestales UANL, Linares, N. L., México, 481-497 p.
- Villegas, G. 1972. Tipos de vegetación de los municipios de Linares y Hualahuises, N. L. Tesis Lic. Escuela de Agricultura. Universidad de Guadalajara México, 96 p.
- Woerner, M. 1991. Los suelos bajo vegetación del matorral del noreste de México, descritos a través de ejemplos en el Campus Universitario de la UANL, Linares, N. L. Reporte Científico No. 22 Linares, N, L. México: Facultad de Ciencias Forestales.
- World Health Organization. 1990. Potential Health Effects of Climatic Change: Report of the WHO Task Group. WHO: Geneva.
- Zeide, B. 1993. Analisis of growth equations. *For. Sci.* 39 (3): 594-616.

ANEXOS

Cuadro 1. Base de datos para generar los modelos estadísticos y estimar biomasa aérea en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

SP	ARB	D.B	D10	Edad	AT	AFL	C	V.SM	V.XL	H.V	HS	RV	RS	FV	FS	TV	TS
1	1	13.20	11.60	27	4.17	1.25	1.98	10463.67	10986.80	2600.50	1421.62	10380.30	7020.05	13123.30	5068.77	26104.10	13510.44
1	2	12.80	11.20	24	3.90	1.40	2.88	8601.47	10737.10	2687.00	1475.49	17809.00	11219.69	20527.70	4156.32	41023.70	16851.50
1	3	4.80	3.90	9	3.10	1.00	0.32	759.96	998.80	165.50	106.17	557.70	396.49	1210.50	381.39	1933.70	884.05
1	4	9.50	5.20	18	3.70	1.75	0.49	2533.17	2996.40	312.00	190.83	2822.90	1855.40	3380.50	1262.31	6515.40	3308.53
1	5	13.00	11.90	21	3.78	1.75	3.20	12212.65	12485.00	5119.30	2953.22	25410.90	16135.37	19624.30	5787.49	50154.50	24876.08
1	6	14.00	14.00	30	4.12	1.20	3.59	15716.42	17479.00	3315.80	1630.20	20611.20	13809.83	24564.40	6919.69	48491.40	22359.72
1	7	14.30	14.10	21	4.12	2.40	3.42	26238.18	27467.00	3541.20	1876.26	20755.90	13336.18	29915.20	13606.69	54212.30	28819.12
1	8	8.00	6.90	18	3.65	2.30	1.62	5807.60	7491.00	2185.90	1114.15	5909.30	3493.31	8428.40	2661.42	16523.60	7268.89
1	9	12.80	11.50	27	3.73	1.25	1.80	9647.96	11985.60	2489.80	1273.64	11617.70	7612.89	13419.40	5091.93	27526.90	13978.46
1	10	10.20	7.30	21	3.50	0.80	1.41	2580.72	3495.80	710.00	437.66	4980.80	3504.33	7094.60	1306.47	12785.40	5248.46
1	11	8.00	8.00	18	3.50	1.80	1.31	5026.68	5992.80	1061.00	578.42	7283.80	4814.90	6586.50	2538.44	14931.30	7931.76
1	12	7.90	7.00	15	2.60	0.70	0.89	1820.16	1747.90	1299.80	673.53	4451.10	2891.64	2996.00	850.71	8746.90	4415.89
1	13	10.70	9.70	21	3.51	1.30	1.51	6882.10	6991.60	1858.30	977.37	7617.10	4871.69	7654.60	3175.00	17130.00	9024.06
1	14	11.40	9.50	21	3.34	1.75	1.90	6692.62	6741.90	991.30	502.43	7346.70	4774.76	4818.70	3332.76	13156.70	8609.95
1	15	5.50	5.20	15	2.63	1.25	0.75	2584.44	2247.30	446.10	249.76	2986.40	1957.99	2196.50	1256.21	5629.00	3463.96
1	16	3.00	2.20	9	1.79	0.75	0.35	260.87	499.40	228.30	135.19	553.90	340.69	500.60	133.99	1282.80	609.87
2	1	11.30	9.50	39	3.55	1.60	0.51	5495.87	5992.80	1738.70	915.28	8841.40	6358.48	6846.70	4473.90	17426.80	11747.66
2	2	4.30	3.70	12	3.45	1.00	0.25	666.60	998.80	485.80	268.80	1126.30	781.24	1094.00	533.90	2706.10	1583.95
2	3	11.00	9.30	33	4.90	1.75	0.49	7530.70	7740.70	825.60	471.52	4953.30	3503.24	8449.20	5559.90	14228.10	9534.66
2	4	11.70	9.90	36	4.80	1.85	0.99	11882.84	11486.20	3297.30	1858.19	16805.50	12385.00	14238.30	9738.06	34341.10	23981.26
2	5	7.50	6.20	27	3.40	2.40	0.58	5766.55	5743.10	1011.60	552.23	3183.00	2280.07	7222.00	4474.66	11416.60	7306.96
2	6	11.30	10.40	30	4.60	2.10	0.91	10676.10	10487.40	2405.70	1342.70	17362.00	12635.68	11239.30	8062.84	31007.00	22041.23
2	7	7.80	7.60	24	4.70	2.00	0.48	6810.01	6492.20	1393.20	789.22	7872.00	5813.79	7123.10	5327.14	16388.30	11930.16
2	8	9.40	8.20	27	5.10	1.60	0.36	5913.24	5992.80	1699.80	947.70	12194.60	8674.01	8130.00	4648.23	22024.40	14269.94
2	9	6.10	5.40	21	4.45	1.70	0.21	2411.53	2746.70	794.60	474.13	441.40	308.04	3058.60	1785.68	4294.60	2567.85
2	10	11.30	10.10	36	4.35	1.80	0.43	6223.77	6492.20	2204.90	1360.25	9698.20	6891.77	6837.10	4396.35	18740.20	12648.36
2	11	6.70	6.00	18	5.90	1.60	0.34	3000.09	2746.70	1289.10	851.84	5119.90	3741.12	3332.40	2387.77	9741.40	6980.74
2	12	5.90	5.70	12	4.10	1.55	0.36	2663.91	2996.40	1126.30	686.54	5272.60	3786.34	3152.10	1999.27	9551.00	6472.16
2	13	8.20	8.20	21	4.50	1.65	0.29	5546.95	5992.80	992.30	656.98	7047.40	5157.93	6555.30	3696.78	14595.00	9511.69
2	14	8.10	7.30	24	4.10	1.00	0.31	2891.72	3246.10	945.80	576.98	5422.90	3921.30	4401.00	1939.02	10769.70	6437.30
2	15	6.90	6.60	18	3.95	2.20	0.29	5125.72	4994.00	698.80	442.09	1170.20	846.44	5398.90	4111.07	7267.90	5399.60
3	1	3.50	3.50	9	2.90	0.80	0.40	735.20	749.10	55.89	26.55	2511.01	1758.55	711.60	648.12	3380.21	2433.23
3	2	9.00	8.10	27	3.90	1.60	1.75	6073.02	5493.40	149.81	71.18	8301.19	5833.57	5506.30	3989.70	14294.29	9894.45
3	3	12.70	10.90	24	5.46	1.60	2.17	11692.30	10737.10	1539.06	731.27	23496.14	16828.18	3437.10	9608.94	28966.04	27168.38
3	4	6.50	5.60	15	4.23	1.60	0.23	2663.80	2746.70	117.10	55.64	3513.00	2479.11	3312.90	2633.85	7090.50	5168.59
3	5	7.00	6.30	15	3.70	1.45	0.50	3092.98	2746.70	113.07	53.72	4335.83	3171.88	3435.90	2528.18	7908.63	5753.78
3	6	5.40	4.50	15	3.30	1.60	0.63	1710.94	1747.90	199.70	94.89	2449.10	1845.63	2064.40	1394.85	4886.70	3335.37

3	7	4.90	4.20	12	3.85	2.20	0.41	1741.03	1747.90	26.23	12.46	1604.67	1233.61	2236.40	1361.93	3938.87	2608.01
3	8	9.00	8.30	21	4.71	1.50	2.47	6348.40	5493.40	615.82	292.60	15322.38	10847.45	6669.90	7035.94	23918.48	18175.99
3	9	11.30	10.50	27	4.81	1.70	2.06	11764.24	10487.40	962.65	457.39	21406.05	14839.45	11163.10	8215.63	36338.95	23512.47
3	10	10.00	9.50	21	3.90	1.40	2.17	8680.19	7740.70	857.53	407.45	21431.77	14969.29	9338.30	7049.89	33775.87	22426.62
3	11	10.20	9.60	24	4.25	1.30	1.29	7890.96	7990.40	308.19	146.43	11099.41	7802.97	9348.50	6314.74	22147.71	14264.15
3	12	6.90	6.20	18	4.71	1.80	0.61	5441.44	4744.30	341.91	162.46	8888.49	6202.56	5770.60	4539.54	16140.99	10904.55
3	13	10.00	9.00	21	4.82	1.20	0.53	7799.53	7990.40	172.96	82.18	12725.54	9230.45	9782.70	6702.05	23169.44	16014.67
3	14	11.00	9.50	18	5.40	2.20	0.74	9401.49	9988.00	440.21	209.16	13138.09	9420.48	13226.70	8046.37	27618.89	17676.01
3	15	8.00	7.00	24	5.30	2.40	0.73	7557.48	7990.40	224.77	106.80	6643.83	4536.56	10179.00	6173.73	17468.73	10817.09
4	1	4.20	4.10	12	3.30	1.70	0.28	966.92	1248.50	410.39	204.67	1504.81	1086.99	2933.60	602.55	4931.71	1894.20
4	2	11.40	10.00	27	4.86	2.90	1.28	12144.88	12734.70	3084.16	1538.12	25486.04	16602.55	11762.60	8361.63	42248.64	26502.30
4	3	23.20	18.80	39	5.00	1.80	1.87	23856.27	23971.20	1922.98	959.02	31270.92	20501.73	36843.80	13877.91	71722.22	35338.66
4	4	5.70	5.30	15	4.25	2.20	0.26	2726.49	3495.80	568.22	283.38	4845.38	3041.78	3051.50	1702.75	8852.28	5027.91
4	5	6.90	6.30	18	4.15	1.80	0.47	4708.58	4994.00	1151.24	574.14	6691.16	4602.09	4957.10	2990.71	13122.96	8166.94
4	6	4.70	4.30	12	3.90	1.20	0.51	1573.42	1248.50	365.25	182.16	4173.25	2608.18	1906.40	1048.97	6599.75	3839.31
4	7	13.60	11.00	24	5.80	3.15	0.61	11662.49	11236.50	2890.73	1441.65	30246.97	19573.00	16385.50	7490.56	51691.37	28505.21
4	8	4.80	4.30	12	4.56	2.10	0.56	2663.38	2497.00	562.76	280.66	2476.14	1550.24	3888.50	1442.88	7252.04	3273.77
4	9	8.90	8.30	21	3.80	1.96	2.59	7717.35	8739.50	2015.61	1005.21	17561.09	11082.28	9604.60	5111.34	31171.69	17198.83
4	10	14.00	10.80	24	5.10	2.70	1.70	16529.39	17479.00	2657.85	1325.51	24219.75	16009.14	20880.20	10263.56	49323.15	27598.21
4	11	6.10	5.50	18	3.80	1.60	0.63	2323.95	2497.00	971.93	484.72	5871.97	3756.09	3576.90	1275.05	11217.17	5515.86
4	12	14.90	10.60	33	3.50	2.00	2.04	10376.21	12734.70	2495.44	1244.51	28790.06	18409.67	14770.80	6053.68	47190.86	25707.87
4	13	10.40	9.30	21	4.60	2.40	1.08	10948.62	12485.00	1937.98	966.50	14666.32	9120.73	14431.80	10313.04	31658.72	20400.27
4	14	10.60	8.30	18	4.80	2.60	0.36	9521.45	9488.60	1317.17	656.89	9002.13	5588.29	10324.20	5594.77	21078.83	11839.96
4	15	21.00	10.30	27	4.65	1.60	1.17	9720.79	11236.50	2796.80	1394.80	21159.20	14236.32	12629.80	5953.62	39133.60	21604.75
5	1	6.00	5.60	18	4.60	2.10	0.26	2850.20	2996.40	231.90	141.30	3776.30	2776.37	3793.10	2500.59	7801.30	5418.26
5	2	5.50	5.40	15	4.60	2.20	0.22	2737.63	3246.10	246.30	153.30	3510.30	2555.90	3764.10	2212.48	7520.70	4921.68
5	3	4.80	4.50	15	4.20	1.95	0.19	2072.76	1997.60	156.10	101.91	2324.40	1633.93	2406.00	1736.64	4886.50	3472.47
5	4	3.50	3.10	15	3.50	1.60	0.27	791.91	749.10	104.30	68.27	1141.40	818.64	1354.00	681.10	2599.70	1568.01
5	5	7.00	6.20	18	4.63	1.55	0.46	3503.06	3995.20	385.70	226.87	7520.20	5038.29	5693.40	2824.69	13599.30	8109.85
5	6	7.40	6.60	30	4.60	2.30	0.35	5482.76	5493.40	465.50	278.48	6647.80	4741.94	7267.60	4757.98	14380.90	9778.40
5	7	7.80	7.00	21	3.90	1.50	0.54	4330.78	4994.00	499.20	315.91	9145.40	6723.88	7108.40	3828.82	16753.00	10868.62
5	8	7.50	6.90	21	3.70	1.90	0.45	5045.54	4994.00	431.00	272.44	6275.10	4514.17	6677.20	4256.46	13383.30	9043.07
5	9	3.70	3.70	15	3.90	1.60	0.22	1142.63	1498.20	242.20	139.08	1572.40	1083.87	1678.30	889.89	3492.90	2112.84
5	10	5.80	5.40	21	4.10	2.10	0.62	3850.01	4244.90	308.70	197.49	5276.10	3649.54	4547.90	3280.10	10132.70	7127.13
5	11	9.20	8.10	33	4.10	1.75	2.14	6162.98	6492.20	589.30	396.59	15674.10	10786.86	7178.50	5292.62	23441.90	16476.07
5	12	4.70	4.40	12	3.80	2.40	0.20	2791.20	2746.70	205.00	124.85	1969.10	1442.23	3181.00	2193.27	5355.10	3760.35
5	13	5.30	5.00	15	3.10	1.50	0.43	2006.81	1997.60	317.10	185.65	3019.30	2091.30	2620.30	1567.89	5956.70	3844.85
5	14	5.30	5.30	15	3.15	1.10	0.37	1476.46	1997.60	291.70	182.29	3911.20	2837.06	2254.80	1178.77	6457.70	4198.11
5	15	3.10	2.80	9	2.20	1.00	0.18	375.26	249.70	117.30	75.05	887.70	666.09	506.10	315.89	1511.10	1057.04
6	1	4.70	4.20	12	4.51	2.70	0.49	2370.46	2746.70	368.30	197.85	4665.40	3178.44	4539.40	1674.15	9573.10	5050.45
6	2	4.70	4.50	12	4.50	2.50	0.38	3471.95	3246.10	297.00	173.21	2683.90	1810.56	3371.90	2622.88	6352.80	4606.66

6	3	6.40	15	4.80	2.20	1.01	4057.16	3995.20	677.70	351.56	5430.60	3587.82	4771.40	2987.78	10879.70	6927.16
6	4	5.40	15	5.50	2.31	0.65	3121.08	3246.10	383.10	203.30	4182.30	2905.71	3641.50	2353.11	8206.90	5462.11
6	5	2.40	6	2.95	2.36	0.42	578.48	499.40	224.00	132.84	452.00	310.24	1738.70	431.55	2414.70	874.63
6	6	5.60	12	4.25	2.20	1.31	2894.11	3246.10	873.00	523.32	3202.40	2148.38	3695.40	2050.73	7770.80	4722.43
6	7	7.90	21	4.85	2.10	1.61	6383.02	5992.80	612.00	336.34	9890.70	6533.31	7049.20	4800.32	17551.90	11689.97
6	8	8.80	21	7.35	2.82	3.63	10794.49	11486.20	1263.40	690.66	30324.60	20365.53	13879.10	8177.19	45467.10	29233.38
6	9	2.80	12	4.45	2.94	0.73	3759.44	4494.60	1163.30	577.31	3125.60	2055.09	4785.40	2854.93	9074.30	5487.34
6	10	4.20	9	3.41	1.40	0.84	992.84	1248.50	503.40	305.56	2799.50	1919.68	1362.10	754.46	4665.00	2979.70
6	11	4.30	9	4.20	1.70	0.82	1307.63	1248.50	592.80	375.25	3325.50	2265.60	1591.90	1071.43	5510.20	3712.28
6	12	3.00	6	4.20	1.72	0.70	882.14	998.80	357.50	222.18	2189.50	1466.57	1349.40	689.98	3896.40	2378.74
6	13	3.00	6	3.40	1.10	0.21	495.22	499.40	113.50	69.48	315.80	227.39	570.60	385.97	999.90	682.84
6	14	2.30	6	2.80	1.40	0.41	260.28	249.70	157.50	98.10	1191.80	778.97	377.70	196.77	1727.00	1073.84
6	15	4.70	12	4.60	5.80	1.34	1756.66	1997.60	689.90	425.09	4262.70	2865.50	2505.90	1353.98	7458.50	4644.57
7	1	9.90	24	4.90	2.00	2.14	10764.64	11486.20	2352.00	1428.98	23827.50	16724.38	13501.40	9003.29	39680.90	27156.65
7	2	5.70	15	3.95	2.20	0.34	2698.36	2996.40	225.90	138.66	2409.20	1721.46	3408.70	2264.27	6043.80	4124.38
7	3	7.90	21	4.00	1.60	0.57	3463.60	3495.80	290.80	170.50	6324.80	4964.82	4027.50	2887.05	10643.10	8022.37
7	4	5.00	15	4.30	1.75	0.36	2760.74	2247.30	203.70	121.56	2956.70	2101.60	2700.40	2245.02	5860.80	4468.17
7	5	8.00	21	4.40	2.10	0.75	5468.91	5243.70	301.90	186.21	5441.00	4041.51	5590.60	4286.06	11333.50	8513.78
7	6	6.80	18	4.05	2.00	0.38	2977.25	2996.40	208.20	128.96	2530.50	1950.69	3183.80	2314.53	5922.50	4394.18
7	7	5.20	9	4.45	1.45	0.40	1923.80	1997.60	290.00	173.99	3657.70	2698.45	2262.10	1486.55	6209.80	4358.99
7	8	5.60	18	4.80	2.30	0.61	2975.16	3495.80	791.80	457.20	4392.30	2940.97	3570.20	2373.64	8754.30	5771.82
7	9	8.80	24	4.40	2.00	1.30	8209.93	8739.50	685.80	391.83	9468.70	6876.93	10053.60	6144.63	20208.10	13413.39
7	10	7.40	21	4.50	2.10	1.08	5932.57	6242.50	498.50	520.64	7540.90	5309.91	7460.90	4737.22	15860.60	10567.77
7	11	7.00	15	4.40	2.30	0.67	5680.31	6492.20	498.50	318.78	4480.50	3274.18	6675.70	4590.75	11654.70	8183.71
7	12	6.90	15	4.30	2.20	0.62	5275.67	5493.40	548.90	316.46	6393.00	4454.22	5995.40	4136.53	12937.30	8907.21
7	13	6.80	15	4.30	1.70	0.75	3681.38	4244.90	116.80	73.48	7443.40	5704.26	4557.20	2745.18	12117.40	8522.92
7	14	7.40	18	4.20	1.85	1.64	4589.57	4494.60	186.50	115.68	9557.50	7264.21	4134.00	3461.89	13878.00	10841.78
7	15	6.70	18	4.30	1.60	1.08	3737.64	3995.20	111.40	69.82	6419.40	5100.11	4732.00	2718.82	11262.80	7888.75
8	1	5.60	12	3.62	1.40	0.81	2154.29	1747.90	981.70	459.07	4599.80	3162.64	2357.70	1622.40	7939.20	5244.10
8	2	7.50	12	4.10	1.60	0.99	2727.77	2996.40	415.50	209.50	5190.60	3407.65	3991.80	2338.90	9597.90	5956.05
8	3	6.80	15	3.90	1.75	1.43	3198.81	3495.80	455.90	254.37	8007.40	5738.10	4271.20	2299.40	12734.50	8291.87
8	4	6.50	12	3.70	2.10	0.81	3805.75	4244.90	294.70	165.40	4487.70	2782.39	4985.40	2774.13	9767.80	5721.92
8	5	12.10	33	4.65	1.50	2.24	9563.51	9988.00	2337.10	1184.49	28090.30	22170.28	11938.30	6755.09	42365.70	30109.87
8	6	10.00	30	4.75	1.95	2.99	8646.17	9738.30	2100.50	1571.46	24426.50	18663.02	11621.50	6371.92	38148.50	26606.40
8	7	7.50	21	3.22	1.30	0.98	3277.79	3495.80	479.70	238.93	7142.10	5547.38	2910.90	2285.68	10532.70	8071.99
8	8	6.80	15	4.63	2.30	1.04	4264.95	4244.90	357.90	179.54	5812.40	3622.48	4925.80	2858.94	11096.10	6660.96
8	9	5.70	15	5.40	2.70	0.16	2099.20	2497.00	111.10	75.41	1529.10	1026.25	2726.60	1416.02	4366.80	2517.68
8	10	3.40	9	2.40	0.75	0.44	457.53	749.10	258.00	138.00	1308.00	813.71	580.30	316.74	2146.30	1268.46
8	11	2.10	6	2.22	1.10	0.28	212.06	1498.20	20.10	7.03	281.80	227.17	328.60	155.38	630.50	389.58
8	12	3.40	9	3.30	2.00	0.16	765.15	998.80	97.90	60.18	333.10	242.80	999.50	634.35	1430.50	937.33
8	13	9.00	21	7.40	2.30	1.59	11331.42	12734.70	998.30	468.87	18133.20	11350.33	14872.20	8103.15	34003.70	19922.35

8	14	10.50	10.20	24	5.20	1.30	2.15	7377.48	7241.30	2485.90	1387.67	23148.80	13979.98	8549.90	4873.84	34184.60	20241.50
8	15	11.50	11.00	30	6.20	2.35	2.63	14457.13	16230.50	209.40	119.39	27801.30	17281.96	17775.60	10665.49	45786.30	28066.84
9	1	6.40	5.50	18	3.84	1.30	0.58	2103.23	2996.40	349.07	219.91	4450.43	2269.17	3179.70	1509.96	7979.20	3999.04
9	2	14.40	14.00	27	4.73	1.80	1.88	10837.13	10737.10	1189.60	749.44	10403.30	5304.39	8312.10	7488.52	19905.00	13542.36
9	3	9.30	7.10	24	5.00	2.30	1.54	5568.65	6991.60	2487.47	1567.11	6633.63	3382.33	7653.30	4632.50	16774.40	9581.94
9	4	9.70	8.40	27	4.22	2.90	0.59	11227.38	12235.30	2096.91	1321.05	8410.39	4288.25	12939.70	7792.19	23447.00	13401.49
9	5	5.70	5.00	18	3.95	1.50	0.47	1963.48	1747.90	691.05	435.36	2223.25	1133.58	2011.30	1266.49	4925.60	2835.43
9	6	7.00	5.50	21	4.55	1.60	0.39	2635.22	3246.10	1195.16	752.95	3974.04	2036.27	4468.70	1786.54	9637.90	4565.76
9	7	8.70	7.20	18	4.60	2.10	1.23	5986.73	5743.10	1716.36	1081.31	6926.34	3531.57	5846.10	3805.27	14488.80	8418.15
9	8	8.20	7.20	24	4.30	1.80	1.46	7109.36	6991.60	847.80	534.11	8664.80	4417.97	5632.10	6753.20	15144.70	11705.28
9	9	19.50	15.00	27	5.90	2.70	1.23	12382.52	14232.90	2184.75	1376.39	18475.45	9420.19	13352.60	6876.71	34012.80	17673.28
9	10	9.50	9.00	27	4.60	2.00	0.74	6096.04	7491.00	1465.27	923.12	6131.53	3126.32	8075.90	3912.54	15672.70	7961.98
9	11	13.00	10.00	36	5.60	3.10	0.47	8505.43	9488.60	1539.66	969.99	2906.64	1482.02	10171.20	5253.93	14617.50	7705.94
9	12	12.00	9.50	33	6.00	2.10	1.21	11338.73	12734.70	1457.20	918.03	16186.20	8252.95	13792.40	7496.06	31435.80	16667.05
9	13	14.00	10.50	36	7.15	2.40	1.21	13123.75	14982.00	2435.70	1534.49	13335.00	6799.19	15454.90	8912.67	31225.60	17246.35
9	14	5.00	4.50	12	4.53	2.80	0.30	2513.84	3246.10	477.68	300.94	1387.72	707.57	3085.80	1733.76	4951.20	2742.26
9	15	3.20	3.00	9	4.20	3.10	0.20	1486.46	1248.50	238.79	150.44	393.91	200.85	1383.30	906.34	2016.00	1257.62
10	1	5.20	4.10	12	5.70	2.90	0.14	2799.98	3495.80	175.60	129.26	922.90	684.88	3576.70	1840.84	4675.20	2654.98
10	2	6.70	5.70	15	4.35	1.60	0.75	2705.71	3995.20	364.00	260.39	4058.50	2950.59	4125.50	3332.76	8548.00	6543.73
10	3	5.50	5.20	15	6.15	3.80	0.16	4253.42	5243.70	179.50	144.57	1566.20	1197.71	5339.90	3061.85	7085.60	4404.14
10	4	4.00	3.70	15	4.70	1.50	0.50	1315.24	1747.90	176.10	138.80	2530.30	1882.35	2177.30	1049.70	4883.70	3070.84
10	5	9.00	7.00	18	6.12	3.00	0.78	5132.94	5493.40	138.10	103.44	3355.30	2564.46	6147.50	4076.89	9640.90	6744.80
10	6	9.00	8.50	27	6.00	3.30	0.25	9512.54	9988.00	434.20	309.44	5084.90	3631.59	10705.60	7445.34	16224.70	11386.38
10	7	7.80	6.80	24	5.55	2.70	0.34	5040.83	6242.50	317.20	233.40	3246.70	2447.88	7094.30	3747.59	10658.20	6428.87
10	8	9.10	7.20	15	5.60	2.70	0.38	5634.26	5743.10	415.60	308.32	4007.10	2977.19	5890.60	3447.53	10313.30	6733.04
10	9	15.30	13.70	33	5.78	2.20	1.03	14633.19	14982.00	545.40	416.62	17074.20	13602.59	15479.10	9183.43	33098.70	23202.64
10	10	11.20	9.50	27	6.22	2.30	0.72	14959.31	15731.10	682.80	420.06	14117.30	10167.74	14995.00	9084.55	29795.10	19672.35
10	11	9.70	8.80	21	6.21	2.70	0.71	8477.49	8240.10	506.90	314.14	8687.80	5932.89	9775.20	6283.24	18969.90	12530.27
10	12	3.80	3.40	9	5.11	2.80	0.24	1286.68	2247.30	253.40	164.28	1215.20	890.68	2880.70	1050.08	4349.30	2105.04
10	13	2.90	2.50	9	4.85	2.20	0.21	826.05	1248.50	153.00	104.72	954.20	697.81	1335.10	640.29	2442.30	1442.82
10	14	7.50	6.90	18	4.50	1.65	0.92	3561.94	3995.20	756.70	443.04	6596.00	4741.28	4685.00	2875.67	12037.70	8059.98
10	15	7.30	6.30	15	4.52	1.70	0.76	3246.46	3745.50	616.10	403.67	4535.00	3246.12	5606.20	2735.13	10757.30	6384.92

SP= Especie; ARB= Arbol; DB= Diámetro a la base del árbol; D10= Diámetro a 10 cm (cm); AT= Altura total (m); AFL= Altura de fuste limpio (m); C = Cobertura (m²).
V.SM= Volumen de Smalian (cm³); V.XL= Volumen del xilómetro (cm³); H.V= Hojas verdes (gr); HS= Hojas secas (gr); RV= Ramas verdes (gr); RS= Ramas secas (gr); FV= Fuste verde (gr); FS= Fuste seco (gr); TV= Total verde (gr); TS= Total seco (gr).

Cuadro 2. Estadísticos de ajuste de 4 funciones matemáticas para determinar el peso seco del follaje en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Especie	Modelo	R ²	C.V	Parámetros	Variables	C(p)	Ponderación.
1	1	0.76	40.59	1	1 de 1		
1	2	0.75	41.35	1	1 de 1	-1.33	
1	3	0.76	40.59	1	1 de 1		
1	4	0.75	41.34	1	1 de 1		
2	1	0.72	28.83	1	1 de 1		
2	2	0.72	28.85	1	1 de 1	-1.25	
2	3	0.72	28.83	1	1 de 1		
2	4	0.72	28.85	1	1 de 1		
3	1	0.90	35.38	2	2 de 2		
3	2	0.76	52.82	1	1 de 1	-0.65	
3	3	0.90	35.38	2	2 de 2		
3	4	0.76	52.82	1	1 de 1		
4	1	0.76	31.02	2	2 de 2		
4	2	0.88	21.81	2	2 de 2	0.34	
4	3	0.92	18.29	2	2 de 2		
4	4	0.95	15.20	4	3 de 4		
5	1	0.93	13.88	2	2 de 2	17.7	
5	2	0.92	14.49	2	1 de 2	1.75	
5	3	0.97	10.02	4	3 de 4		
5	4	0.93	13.25	1	1 de 1		
6	1	0.91	20.13	3	3 de 3	131.01	
6	2	0.82	27.76	3	2 de 3	2.14	
6	3	0.96	10.88	4	3 de 4		
6	4	0.98	10.69	4	3 de 4		
7	1	0.96	24.84	3	3 de 3	196.81	
7	2	0.84	50.24	3	2 de 3	2.08	
7	3	0.96	24.84	3	3 de 3		
7	4	0.91	37.29	3	3 de 3		
8	1	0.92	37.59	3	3 de 3	925.78	
8	2	0.62	77.87	2	1 de 2	0.63	
8	3	0.91	40.71	4	3 de 4		
8	4	0.61	82.42	3	1 de 3		
9	1	0.97	12.31	6	3 de 6	4692.17	
9	2	0.37	44.73	1	1 de 1	1.84	
9	3	0.79	28.21	3	1 de 3		
9	4	0.62	36.29	2	2 de 2		
10	1	0.85	20.26	2	2 de 2	96.43	
10	2	0.72	28.60	3	2 de 3	2.28	
10	3	0.58	32.28	1	1 de 1		
10	4	0.84	22.38	4	3 de 4		

Cuadro 3. Estadísticos de ajuste de 4 funciones matemáticas para determinar el peso seco de ramas en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Especie	Modelo	R2	C.V	Parámetros	Variables	C(p)	Ponderación.
1	1	0.93	21.95	1	1 de 1		
1	2	0.93	22.06	1	1 de 1	0.55	
1	3	0.93	21.95	1	1 de 1		
1	4	0.93	22.06	1	1 de 1		
2	1	0.79	35.40	1	1 de 1		
2	2	0.57	54.95	3	2 de 3	2.36	
2	3	0.79	35.40	1	1 de 1		
2	4	0.80	38.99	4	3 de 4		
3	1	0.91	23.01	2	2 de 2		
3	2	0.90	24.97	3	1 de 3	3.47	
3	3	0.91	23.01	2	2 de 2		
3	4	0.89	25.78	3	2 de 3		
4	1	0.86	29.02	2	2 de 2		
4	2	0.72	41.09	2	2 de 2	0.26	
4	3	0.89	26.53	2	1 de 2		
4	4	0.91	24.86	1	1 de 3		
5	1	0.98	11.63	3	3 de 3	2.011	
5	2	0.97	13.43	2	2 de 2	8.47	
5	3	0.99	10.43	4	1 de 4		
5	4	0.99	9.43	4	3 de 4		
6	1	0.99	17.33	2	2 de 2	13.73	
6	2	0.97	23.11	1	1 de 1	-0.89	
6	3	0.99	17.33	2	2 de 2		
6	4	0.97	23.11	1	1 de 1		
7	1	0.96	15.01	2	2 de 2	26	
7	2	0.93	21.23	2	2 de 2	1.26	
7	3	0.96	15.01	2	1 de 2		
7	4	0.93	21.23	2	2 de 2		
8	1	0.96	22.78	2	1 de 2	131.96	
8	2	0.95	29.22	3	2 de 3	3.57	
8	3	0.96	22.78	2	1 de 2		
8	4	0.95	29.24	3	2 de 3		
9	1	0.77	36.58	1	1 de 1	115.62	
9	2	0.66	44.01	1	1 de 1	0.96	
9	3	0.77	36.58	1	1 de 1		
9	4	0.86	30.68	3	1 de 3		
10	1	0.97	19.24	3	3 de 3	23.98	
10	2	0.95	25.63	4	2 de 4	4.92	
10	3	0.99	11.35	6	3 de 6		
10	4	0.96	21.79	4	4 de 4		

Cuadro 4. Estadísticos de ajuste de 4 funciones matemáticas para determinar el peso seco de fuste limpio en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Especie	Modelo	R2	C.V	Parámetros	Variables	C(p)	Ponderación
1	1	0.99	8.74	5	2 de 5		
1	2	0.96	19.75	1	1 de 1	-1.03	
1	3	0.99	8.74	5	2 de 5		
1	4	0.99	10.74	2	2 de 2		
2	1	0.96	13.77	3	1 de 3		
2	2	0.87	22.61	2	2 de 2	2.99	
2	3	0.93	16.87	2	2 de 2		
2	4	0.98	9.58	4	2 de 4		
3	1	0.99	8.46	5	2 de 5		
3	2	0.91	18.06	2	1 de 2	1.77	
3	3	0.98	9.71	4	3 de 4		
3	4	0.95	13.21	2	2 de 2		
4	1	0.89	25.98	2	2 de 2		
4	2	0.81	34.55	2	1 de 2	1.3	
4	3	0.91	23.80	2	1 de 2		
4	4	0.88	28.32	3	1 de 3		
5	1	0.97	10.60	1	1 de 1	0.92	
5	2	0.97	11.28	1	1 de 1	-0.88	
5	3	0.97	10.60	1	1 de 1		
5	4	0.97	11.28	1	1 de 1		
6	1	0.96	18.13	2	1 de 2	15.02	
6	2	0.96	21.22	2	1 de 2	1.38	
6	3	0.98	15.40	3	2 de 3		
6	4	0.96	21.22	2	1 de 2		
7	1	0.98	7.34	3	2 de 3	3.55	
7	2	0.93	13.79	1	1 de 1	0.5	
7	3	0.98	7.34	3	2 de 3		
7	4	0.97	10.47	2	2 de 2		
8	1	0.99	11.61	3	2 de 3	17.57	
8	2	0.98	14.02	2	2 de 2	0.77	
8	3	0.99	10.41	4	2 de 4		
8	4	0.98	14.02	2	2 de 2		
9	1	0.81	29.47	3	2 de 3	265.47	
9	2	0.64	36.72	1	1 de 1	-0.97	
9	3	0.77	29.23	1	1 de 1		
9	4	0.82	28.17	3	2 de 3		
10	1	0.90	24.29	2	1 de 2	138.13	
10	2	0.83	29.40	1	1 de 1	-1.23	
10	3	0.94	20.82	4	1 de 4		
10	4	0.93	19.20	2	1 de 2		

Cuadro 5. Estadísticos de ajuste de 4 funciones matemáticas para determinar el peso seco total en diez especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Especie	Modelo	R2	C.V	Parámetros	Variables	C(p)	Ponderación
1	1	0.97	16.18	2	2 de 2	4.96	
1	2	0.97	14.91	2	1 de 2		
1	3	0.97	16.18	2	2 de 2		
1	4	0.97	14.90	2	1 de 2		
2	1	0.92	19.18	2	1 de 2	2.02	
2	2	0.89	20.79	3	2 de 3		
2	3	0.93	19.18	2	1 de 2		
2	4	0.89	20.55	2	2 de 2		
3	1	0.94	20.09	2	2 de 2	4.01	
3	2	0.94	20.07	3	2 de 3		
3	3	0.94	20.09	2	2 de 2		
3	4	0.85	65.77	3	2 de 3		
4	1	0.99	8.71	6	4 de 6	2.47	
4	2	0.70	21.77	2	2 de 2		
4	3	0.97	8.80	3	1 de 3		
4	4	0.99	8.91	4	3 de 4		
5	1	0.98	9.19	3	3 de 3	0.22	
5	2	0.98	11.36	3	2 de 3	0.36	
5	3	0.98	9.19	2	2 de 2		
5	4	0.98	11.36	3	3 de 3		
6	1	0.99	13.70	3	2 de 3	6.04	
6	2	0.96	16.54	2	2 de 2	0.66	
6	3	0.99	13.70	3	2 de 3		
6	4	0.96	16.54	2	2 de 2		
7	1	0.98	10.64	3	2 de 3	8.6	
7	2	0.93	17.09	2	2 de 2	0.91	
7	3	0.98	11.36	3	3 de 3		
7	4	0.98	11.38	2	2 de 2		
8	1	0.98	17.07	2	2 de 2	57.31	
8	2	0.97	18.97	2	2 de 2	1.67	
8	3	0.98	17.07	2	2 de 2		
8	4	0.97	18.97	2	2 de 2		
9	1	0.75	28.07	1	1 de 1	186.22	
9	2	0.77	31.35	1	1 de 1	0.44	
9	3	0.83	25.99	1	1 de 1		
9	4	0.86	25.95	3	1 de 3		
10	1	0.91	24.84	1	1 de 1	86.29	
10	2	0.93	30.70	3	2 de 3	2.69	
10	3	0.98	23.00	5	1 de 5		
10	4	0.96	17.70	4	3 de 4		

