

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



**ECUACIONES DE BIOMASA PARA ESPECIES DE MATORRAL ESPINOSO
TAMAULIPECO DEL NORDESTE DE MÉXICO. DATOS CON APLICACIONES
PARA INVENTARIOS DE BIOMASA**

TÉSIS DE MAESTRÍA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA

ING. EDUARDO MÉNDEZ GONZÁLEZ

Linares, Nuevo León.

Diciembre de 2001

TM

Z59

FCH

200

M46



1020146528

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



**ECUACIONES DE BIOMASA PARA ESPECIES DE MATORRAL ESPINOSO
TAMAULIPECO DEL NORDESTE DE MÉXICO. DATOS CON APLICACIONES
PARA INVENTARIOS DE BIOMASA**

TÉSIS DE MAESTRÍA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA

ING. EDUARDO MÉNDEZ GONZÁLEZ

Linares, Nuevo León.

Diciembre del 2001

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

ECUACIONES DE BIOMASA PARA ESPECIES DE MATORRAL ESPINOSO
TAMAULIPECO DEL NORDESTE DE MÉXICO. DATOS CON APLICACIONES
PARA INVENTARIOS DE BIOMASA

TESIS DE MAESTRIA

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

PRESENTA

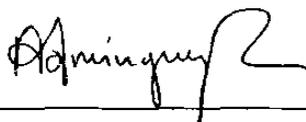
ING. EDUARDO MÉNDEZ GONZÁLEZ

COMITE DE TESIS



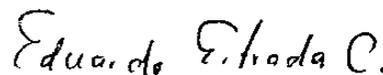
Ph. D. José de Jesús Nívar Cháidez

Presidente



Dr. Pedro Antonio Domínguez Calleros

Secretario



Dr. Eduardo Estrada Castellón

Vocal

Linares, Nuevo León

Diciembre de 2001

0151-34560

TH
25991
FCF
2001
H46



FONDO
TESIS

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme una beca para realizar mis estudios de Maestría en Ciencias Forestales

Al proyecto del CONACYT 28536-B titulado "Tecnologías matemáticas par el manejo sustentable de recursos forestales" y al PAICYT a través del proyecto CN 32300 por el apoyo económico para la realización de esta investigación.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León y a la Facultad de Ciencias Forestales por permitirme la oportunidad de formar parte del programa de Maestría en Ciencias y por la ayuda económica para culminar este trabajo de investigación

Al Dr. José de Jesús Návar Cháidez, director de esta investigación por su profesionalismo y dedicación, por la motivación para seguir adelante y por todas las excelentes sugerencias y consejos que siempre tendré presentes.

Al Dr. Antonio Domínguez Calleros, por formar parte del comité de este trabajo quien sus valiosos comentarios y sugerencias en la elaboración de este trabajo, gracias por su amistad y apoyo, por su hospitalidad brindada y por sus sugerencias en el escrito final.

Al Dr. Eduardo Estrada Castillón, por aceptar formar parte de este comité de tesis, por su excelente disponibilidad y amistad desde un inicio, por sus valiosos comentarios para enriquecer el escrito final de este trabajo.

A los maestros de la Facultad de Ciencias Forestales, que formaron mi perfil profesional con sus conocimientos. Así como al personal técnico, administrativo y manual de esta institución.

A mis amigos y compañeros de generación Javier Corral, Sergio Talavera y Pedro Cerda , por los buenos y malos momentos en perseguir la misma meta, por su valiosa amistad.

A mis compañeros de laboratorio Santos Laureano, Mario Manzano, Jesús Graciano, Nicolás González, David Maldonado y José Dueñez por y ese ambiente de compañerismo y amistad que prevaleció en todo momento.

A la familia Méndez Bazaldúa por brindarme su cálida amistad y desinteresada hospitalidad durante mi estancia en Linares.

A todos mis compañeros de Maestría y Licenciatura de la Facultad de Ciencias Forestales

A los paisanos Félix Cervantes, Edgar Torres, Eduardo de Los Ríos, Manuel Soto, Manuel Unzueta y César Torres, por su cálida amistad durante mi estancia en el programa de Maestría.

A los compañeros Joel Bravo, Alfredo Ortega, Asención Garcia, Juan López, Leonel Reséndiz por su apoyo en la toma de datos de campo.

A los doctores Horacio Villalón Mendoza y Ricardo López Aguillón por las facilidades otorgadas en equipo de laboratorio y material de medición.

Al Ing. Oscar Ramírez, y a Juany Castillo por la colaboración en la encuadernación de este escrito.

DEDICATORIAS

A Dios

por darme el don mas grande que puede existir: la vida

A mis padres

Rafael Méndez y Amparo González, por darme la vida, por sus incansables sacrificios y por sus infinitos esfuerzos para hacer de mi lo que ahora soy, por sus innumerables consejos y por darme la mejor herencia que puede existir : mi profesión

A mi hijo

Eduardo Jared por ser el tesoro mas valioso que me ha regalado la vida y por llenar de alegría mis pensamientos con su ternura e inocencia,

A mis hermanos

Teresa, Francisco, Elsa, Nolberto, Jorge, Ana María, Julieta y Rafael por su apoyo en todo momento

A mis sobrinos

Por formar parte de mi vida y por regalarme esos momentos tan divertidos

A Joahna

Con mi más profundo amor, por compartir todos los momentos buenos y malos y por sus palabras de aliento que me han motivado a seguir adelante. Gracias pr estar conmigo.

CONTENIDO

i

Contenido	i
Indice de cuadros.....	ii
Resumen	iii
Abstract	iv

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

CAPITULO II

OBJETIVOS.....	6
Objetivo general	6
Objetivos específicos.....	6
Hipótesis.....	6

CAPITULO III

REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
-----------------------------	---

CAPITULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS	22
Colecta de datos	24
Especies estudiadas	24
Procedimiento.....	25

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros ecológicos de las especies estudiadas.....	31
Componentes de biomasa para cada especie.....	31
Ecuaciones para cada especie.....	31
Comparación entre procedimientos aditivos.....	31
Comparación entre ecuaciones.....	31
Ecuaciones para grupos de especies.....	34
Comparación entre procedimientos aditivos.....	34
Ecuaciones simples para todas las especies.....	35
Comparación entre procedimientos aditivos.....	35
Comparación entre biomasa total medida y estimada para las 37 parcelas.....	37

CONCLUSIONES	42
RECONOCIMIENTOS.....	42

CAPITULO VI

REFERENCIAS	43
-------------------	----

ÍNDICE DE CUADROS

CAPITULO VI

Tabla 1. Características de las especies del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México usadas para ajustar ecuaciones aditivas de biomasa.	
Tabla 2. Estadísticos de bondad de ajuste para ocho ecuaciones aditivas de biomasa para especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México usando el número de especies proporcionadas en la Tabla 1.	49
Tabla 3. Estadísticos de bondad de ajuste para seis ecuaciones aditivas de biomasa para especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México utilizando el número de especies proporcionadas en la Tabla 1	50
Tabla 4. Estadísticos de bondad de ajuste para seis ecuaciones aditivas de biomasa para las especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México usando el número de especies proporcionado en la Tabla 1.	51
Tabla 5. Biomasa total estimada (kg por arbusto para cada una de 15 especies) de cada procedimiento de estimación para especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México	51
Tabla 6. Estadísticos de bondad de ajuste y biomasa estimada para ocho ecuaciones de biomasa desarrolladas en tres procedimientos aditivos para cuatro grupos de especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.	52
Tabla 7. Estadísticos de bondad de ajuste y biomasa estimada para ocho ecuaciones de biomasa desarrolladas en tres procedimientos aditivos para todas las especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.	53
Tabla 8. Estimadores de la biomasa total aérea de 37 parcelas (25m ²) desde tres diferentes procedimientos aditivos en ocho diferentes formas de ecuación para una ecuación simple para cada especie típica del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.	54
Tabla 9. Biomasa aérea total estimada de 37 parcelas (25m ²) de tres diferentes procedimientos aditivos en ocho diferentes formas de ecuación para cuatro grupos de especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México. Cuatro grupos de especies (1): <i>A. berlandieri</i> , <i>A. rigidula</i> , <i>A. texana</i> , <i>Croton spp.</i> , <i>H. parvifolia</i> , <i>P. glandulosa</i> , <i>Z. fagara</i> , <i>Z. obtusifolia</i> ; (2) <i>A. farnesiana</i> , <i>C. pallida</i> , <i>C. hoockeri</i> , <i>C. boissieri</i> , <i>R. rhag</i> ; (3) <i>F. angustifolia</i> , <i>L. frutescens</i> , <i>K. humboldtiana</i> ; (4) <i>B. myricaefolia</i> , <i>C. gallina</i> , <i>D. texana</i> , <i>E. polystachia</i> , <i>G. hypoleuca</i> , <i>P. pallens</i> , <i>P. angustifolia</i>	55
Tabla 10. Biomasa aérea total estimada d 37 parcelas (25m ²) de tres diferentes procedimientos aditivos en ocho diferentes formas de ecuación simple para todas las especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.	56
Tabla 11. Bondad de ajuste de los parámetros para la biomasa estimada en 37 parcelas con ecuaciones para (a) cada especie, (b) grupo de especies, y (c) todas las especies en tres procedimientos aditivos de ocho diferentes formas. Cuatro grupos de especies (1): <i>A. berlandieri</i> , <i>A. rigidula</i> , <i>A. texana</i> , <i>Croton spp.</i> , <i>H. parvifolia</i> , <i>P. glandulosa</i> , <i>Z. fagara</i> , <i>Z. obtusifolia</i> ; (2) <i>A. farnesiana</i> , <i>C. pallida</i> , <i>C. hoockeri</i> , <i>C. boissieri</i> , <i>R. rhag</i> ; (3) <i>F. angustifolia</i> , <i>L. frutescens</i> , <i>K. humboldtiana</i> ; (4) <i>B. myricaefolia</i> , <i>C. gallina</i> , <i>D. texana</i> , <i>E. polystachia</i> , <i>G. hypoleuca</i> , <i>P. pallens</i> , <i>P. angustifolia</i>	57

- Tabla 12.** Las ecuaciones de regresión aparentemente no relacionadas desarrolladas en el procedimiento aditivo 3 para cada una de las catorce especies, para cuatro grupos de especies, y para todas las especies de 37 parcelas en el Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México. 58
- Tabla 13.** Cuatro grupos de especies (1): *A. berlandieri*, *A. rigidula*, *A. texana*, *Croton spp.*, *H. parvifolia*, *P. glandulosa*, *Z. fagara*, *Z. obtusifolia*; (2) *A. farnesiana*, *C. pallida*, *C. hoockeri*, *C. boissieri*, *R. rhag*; (3) *F. angustifolia*, *L. frutescens*, *K. humboldtiana*; (4) *B. myricaefolia*, *C. gallina*, *D. texana*, *E. polystachia*, *G. hypoleuca*, *P. pallens*, *P. angustifolia* 58

RESUMEN

Se realizaron comparaciones entre ecuaciones alométricas para estimar biomasa total por componente para especies arbustivas típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México con aplicaciones para inventarios forestales de biomasa. Tres procedimientos aditivos de estimación de componentes de biomasa fueron probados en ocho diferentes ecuaciones. Las ecuaciones desarrolladas en regresión lineal generalizada son recomendadas para estimar biomasa en componentes para especies individuales, para grupos de especies, y para todas las especies probadas. Las ecuaciones desarrolladas en regresión lineal generalizada también resultaron en estimadores sesgados de la biomasa total al nivel de la parcela. Una ecuación para cada especie aumenta la eficiencia en la estimación de biomasa por un 25% en contraste al uso de ecuaciones simples para todas las especies.

Palabras clave: Componentes de biomasa aérea, Secuestro de dióxido de carbono, no lineal, transformaciones, modelos no lineales y lineal múltiples, técnicas cuadráticas aditivas, covarianza, ecuaciones aparentemente no relacionadas, datos de inventarios forestales de biomasa, Coahuila, Tamaulipas, Nuevo León, México.

ABSTRACT

Comparisons between allometric equations are presented to estimate component -total biomass for shrub species typical of the Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico with applications to biomass forest inventory. Three additive procedures of component biomass estimation were tested in eight different equations. Equations developed in seemingly unrelated regressions are recommended to estimate biomass components for single shrub species, for groups of species, and for all species tested. These equations also provided unbiased biomass estimates at the quadrat scale. A single equation for each species improves efficiency in biomass estimates by 25% in contrast to using a single equation for all species.

Key words: Aboveground biomass components, Carbon dioxide sequestration, nonlinear, log-transformed, multiple linear and nonlinear models, additive least square techniques, covariance, seemingly unrelated equations, biomass forest inventory data, Coahuila, Tamaulipas, Nuevo Leon, Mexico.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El calentamiento global de la biósfera ha sido reconocido como una amenaza para la naturaleza por prácticamente todos los países del mundo y por los organismos multilaterales. Como una manera de tratar el problema a escala global, se instituyó, después de la histórica reunión de Río de Janeiro en 1991, el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). Este panel ha hecho una serie de propuestas a los estados relativos a la problemática destinadas a combatir las causas del mencionado cambio. Una de ellas se refiere a la reducción de las emisiones de los denominados gases con efecto de invernaderos, los cuales atrapan las emisiones de radiación infrarroja en la atmósfera generando un incremento de la temperatura. De no existir esos gases la mayoría de la radiación infrarroja (producto del cambio de longitud de onda de las radiaciones solares alta energía al chocar con la tierra), cerca de un 30 %, abandonaría la atmósfera sin causar calentamiento, pero las moléculas de esos gases las retienen y producen lo que se conoce como el efecto invernadero.

La quema de combustibles fósiles, la producción de cemento y la deforestación son actividades humanas responsables de las emisiones de gas de invernadero que amenazan con alterar el equilibrio energético de la tierra y así elevar la temperatura global de la biósfera. El calentamiento global podría provocar cambios significativos en los patrones climáticos de la Tierra, alterando los ecosistemas naturales y la estructura de la actividad humana. Los gases de invernadero ocurren naturalmente en la atmósfera absorbiendo la radiación térmica emitida por la superficie de la tierra, tienen un efecto de protección sobre ella conocido como el *efecto invernadero natural* (ECOFRONTERAS, 1998). Ciertos gases de la atmósfera captan un calor que generalmente se difundiría en el espacio. Sin este efecto invernadero, que se produce naturalmente, la temperatura media de la tierra sería de unos 30 °C inferior a la actual. (FAO, 1994).

Los gases de invernadero que preocupan por su magnitud y efecto son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), los óxidos de nitrógeno (NO₂) y los fluoroclorocarbono (FCC). El primero de ellos es el más abundante de los gases producidos por la actividad económica del hombre (agricultura, cambio de uso del suelo, industria, transporte, producción de energía, actividades domésticas, incendios forestales, etc). Casi un tercio de la emisiones de este gas de invernadero, en el caso de México, están ligadas a la actividad rural. El metano y los óxidos de nitrógeno también están relacionados en proporción importante, a la agricultura y la ganadería (ganado rumiante y uso de fertilizantes nitrogenados, respectivamente). Los FCC son de origen doméstico e industrial principalmente (refrigeración, transformadores).

El CO₂ atmosférico ha aumentado su concentración en un 31 % en los últimos 250 años, al pasar de 280 a 367 ppm de CO₂ (Deans *et al.*, 1996) y continua incrementando a una tasa promedio de aproximadamente 1.8 ppm al año (Cannel, 1996;) Dicha concentración es la mayor de los últimos 420 mil años y probablemente la mayor de los últimos 20 millones de años de la historia de la tierra.

Como consecuencia del mencionado calentamiento global, el ciclo hidrológico se modificará. Habrá mayor humedad ambiental y lluvias a nivel general, aunque a niveles regionales las variaciones podrían ser la regla. Se estima que en el hemisferio norte se incrementarán las precipitaciones en las latitudes medias y altas, y continuará el proceso de adelgazamiento de las capas de hielos. A nivel global se espera un aumento del nivel de los mares de 88 cm (IPCC, 2001), lo cual provocará efectos catastróficos en los litorales y territorios insulares, afectando de paso tierras de cultivo y otros sistemas productivos.

Estudios recientes sobre la manera de como procede el calentamiento global, dados a conocer en la reunión de enero 2001 del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2001) en Shangai, señalan un panorama bastante más preocupante para los próximos 100 años que las proyecciones previas. Las temperaturas medias del globo pudiesen alcanzar incrementos de entre 1.4 y 5.6°C en este siglo, superiores a las previsiones de 1 a 3.5°C hechas con anterioridad.

El manejo de los recursos forestales tiene el potencial de amortiguar la tasa de incremento en el bióxido de carbono por su efecto de almacenamiento. Los bosques mundiales cubren una superficie de 3,454 millones de ha, es decir, un 26.6% de la superficie terrestre total del globo aunque aproximadamente 1,700 M ha son también reportados como bosques (FAO, 1995). Las existencias reales de la superficie boscosa se aproximan a 374,000 millones de m³. En su biomasa y del suelo los bosques mundiales almacenan 830 Pg de carbono (10x15 g). Los bosques de las zonas boreales y templadas han estado incrementando su superficie a una tasa de 1.76% (Persson y Janz, 1997) y estos bosques se encuentran almacenando carbono a una tasa de 0.7 Pg año⁻¹ (Brown, 1997).

Para México, con cifras del inventario nacional forestal con una superficie de bosques y selvas de 49,647,709 ha, con existencias reales de 2,799, 966, 781 m³, (SARH, 1992) es posible que se encuentren almacenados 0.7 Pg de carbono en los fustes de la biomasa aérea, 0.12 Pg en las ramas y hojas y probablemente 1.23 Pg en el suelo forestal (Návar, 1999). Los bosques, selvas y otras áreas con vegetación natural ocupan 72% del territorio nacional, abarcan 141.7 millones de hectáreas de las cuales 55 millones de ha⁻¹ son bosques y selvas que representan más del 25% del territorio nacional; aproximadamente 32.5 millones de ha⁻¹ son formaciones cerradas (58% del total del arbolado) y 22.9 millones de ha⁻¹ son formaciones abiertas (42%).

El nordeste de México, cuenta con una superficie forestal de 1, 150, 070 ha, y existencias reales de 77,473, 635 m³ se estima que existen almacenados en los fustes una cantidad de carbono equivalente a 19.37 millones de toneladas con 3.874 millones de toneladas en las ramas y 34. 86 millones de toneladas en los suelos de estas superficies forestales (Návar, 1999). El Matorral Espinoso Tamaulipeco de la llanura Costera del Golfo Norte cubre 200,000 km² del noreste de México y sur de Texas y los límites sureños de la Sierra Azul en Tamaulipas (González, 1985) hasta el Altiplano Edwards (Edwards Plateau) en Texas (Diamond *et. al.*, 1987) y constituye la vegetación natural que abarca aproximadamente el 80% de la superficie de los estados de Nuevo León y Tamaulipas. Este ecosistema se encuentra en un estado dinámico por los efectos de la deforestación asociados con la practica de tumba, roza y quema. Esta actividad, aunada a la

actividad agropecuaria mas intensiva por el sector privado han hecho que se deforesten aproximadamente 170,000 ha de este ecosistema en el periodo de 1980-1986 (Proderleon, 1990).

Un sistema de ordenación forestal por medio de un manejo de bosques para la fijación de CO₂ a través de plantaciones o prácticas silvícolas adecuadas, permite que estos bosques se conviertan en fuentes almacenadoras de CO₂ ya que este se encuentra almacenado en la superficie terrestre en suelos, océanos, rocas y vegetación principalmente. Los bosques se consideran potencialmente los mejores capturados y reductores del CO₂ atmosférico y algunos otros sistemas, reduciendo los efectos causados por los gases de invernadero. Por lo tanto, un buen manejo de la vegetación permite reducir el consumo de combustibles fósiles por el ser humano y en su lugar la biomasa almacenada en las plantas sea utilizada en los procesos de producción permitiendo un menor consumo de energía y buscando estabilizar la concentración de CO₂ en la atmósfera y de esta manera disminuir su acelerada concentración en la atmósfera. Dentro de este proceso, es necesaria la cuantificación del carbono almacenado en la biomasa vegetal y su proporción de carbono.

Las estimaciones de biomasa se han realizado utilizando técnicas alométricas (Clutter et al., 1983; Brown, 1989). La biomasa se mide generalmente en diferentes componentes y por consiguiente existen procedimientos aditivos (Cunia y Briggs, 1984; Parresol, 1999). La aditividad consiste en que la suma de cada uno de los componentes resulta en la biomasa total. El desarrollo de sistemas de ecuaciones que integre compartimentos ha sido discutido previamente por Reed y Green (1985), Cunia y Briggs (1985) y Parresol (1999). Las comparaciones entre procedimientos convencionales de estimación de biomasa y los procedimientos aditivos no han sido probados en árboles y arbustos del ecosistemas semi-áridos, subtropicales o tropicales. Tampoco se han contrastado estas técnicas a diferentes escalas, nivel de especies, grupos de especies o especies representativas de ecosistemas.

El presente trabajo está enfocado a: (1) desarrollar ecuaciones alométricas a escalas diferentes de especies para la estimación de la biomasa aérea y de sus componentes por el ajuste de tres procedimientos de aditividad de biomasa en ocho diferentes formas, (2) comparar la

de tres procedimientos de aditividad de biomasa en ocho diferentes formas, (2) comparar la eficiencia en estimar la biomasa entre procedimientos aditivos, escalas y ecuaciones, y (3) probar las estimaciones de las ecuaciones aditivas con medidas de biomasa en la escala parcelaria. El análisis fue realizado para datos en especies arbustivas colectadas dentro de un radio de 150 km del Matorral Espinoso Tamaulipeco de Coahuila, Tamaulipas, y Nuevo León, en el nordeste de México.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

Objetivo general

Ajustar y comparar modelos aditivos de biomasa aérea a nivel especie, grupos de especies, especies representativas del Matorral Espinoso Tamaulipeco y por unidad de superficie de las especies presentes en el área de estudio.

Objetivos específicos

Desarrollar ecuaciones alométricas a diferentes escalas de especies para la estimación total de la biomasa aérea de los componentes, posición de la biomasa por ajuste de tres procedimientos de aditividad de biomasa en ocho diferentes formas para:

Comparar la eficiencia en estimaciones de la biomasa entre procedimientos aditivos y ecuaciones, y probar como las ecuaciones aditivas se comparan con medidas de biomasa al nivel parcela.

Generar información útil para la investigación científica alusiva a la captura de CO₂ para buscar alternativas que permitan mitigar las emisiones de CO₂ atmosférico.

HIPÓTESIS

Las especies a estudiar almacenan y capturan a través de la fotosíntesis el CO₂ integrándolo como biomasa en el fuste, ramas y hojas a una tasa diferente entre especies en tiempo y en espacio. Estos comportamientos pueden ser predichos con modelos matemáticos y computacionales desarrollados a diferentes escalas. Los diferentes modelos describen similarmente la biomasa total de las especies y a escala de la parcela.

CAPITULO III

LITERATURA REVISADA

La amenaza del cambio climático

El cambio climático es, quizá, la principal amenaza que se cierne sobre el ambiente a nivel planetario. Esta aseveración, desgraciadamente es el resultado de las investigaciones realizadas por un grupo de cerca de 2000 científicos de todo el mundo, agrupados en el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (PICC), bajo los auspicios de la ONU. Si bien, se reconoce que aún existen muchas incertidumbres, es claro que el riesgo es sumamente grave. La alteración de los patrones de temperatura y lluvia en todo el mundo podría conllevar desastrosos efectos para los ecosistemas y para la gente: sequías en unas partes, excesiva lluvia en otras; tormentas y ciclones cada vez más violentos y frecuentes; mayor incidencia de plagas agrícolas y enfermedades humanas. La velocidad del cambio climático podría ser tal, que algunos ecosistemas serían incapaces de adaptarse. Países enteros, ubicados en pequeñas islas, podrían desaparecer con la elevación del nivel del mar ocasionada por el derretimiento de los ^{glaciares de} polos y ~~glaciares~~ y por la expansión térmica de los océanos.

Existe consenso en la comunidad científica de que, para evitar el riesgo de disrupciones peligrosas en el sistema climático de nuestra Tierra, es indispensable reducir las concentraciones atmosféricas de gases con efecto invernadero. En el caso del dióxido de carbono (CO₂) (el más importante de los gases de invernadero generados por la actividad humana) el PICC considera que, por precaución, las emisiones deberían reducirse para el año 2050 en un 60 ó 70%, en relación con las emisiones de 1990. Esta reducción es responsabilidad, principalmente, de los países industrializados. Son éstos los que mayor cantidad de gases de invernadero generan, por la quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) y, además, buena parte de los gases emitidos por esos países desde el siglo pasado siguen en la atmósfera, captando energía calorífica. Hay, pues, un efecto acumulativo (Alatorre, 1997).

Convención sobre el cambio climático

En 1992, en Río de Janeiro, las naciones del mundo suscribieron la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. En la Convención, los países desarrollados se propusieron regresar en el año 2000 a los niveles de emisión de 1990. La primera y segunda Conferencias de las Partes de esta Convención (Berlín, 1995 y Ginebra, 1996), constatando la insuficiencia de los compromisos establecidos, decidieron completar la Convención con un Protocolo que estableciera compromisos cuantitativos de reducción de emisiones, con plazos definidos y jurídicamente vinculantes.

Ante la perspectiva de que la Convención estableciera directrices orientadas a "castigar" la explotación y quema de combustibles fósiles, las corporaciones petroleras, carboneras y automotrices emprendieron en países como los Estados Unidos una férrea resistencia, que incluyó multimillonarias campañas de prensa orientadas a cuestionar la veracidad de la amenaza climática y a "alertar" a la población sobre los "peligros" que se cernían sobre la economía, el nivel de vida, las fuentes de empleo. Estas campañas hicieron mella en una parte de la población, más interesada en mantener sus tres automóviles por familia que en asegurar la habitabilidad a largo plazo del planeta.

Estas campañas de prensa se pronunciaban también en contra de la adopción de compromisos firmes por parte de los EE.UU., mientras no se comprometieran también algunos países subdesarrollados como México, Brasil, China o India. Ciertamente, estos dos últimos países emiten una cantidad considerable de gases de invernadero, debido a su numerosa población. Sin embargo, siguiendo un elemental criterio de equidad vemos que todos los seres humanos tenemos el mismo derecho a beneficiarnos de la capacidad del planeta para absorber los gases de invernadero. Existe un nivel máximo permisible de emisiones *per cápita* que debe respetarse para proteger al sistema climático planetario. Actualmente, las emisiones *per cápita* en los EE.UU. son 7 veces superiores a ese nivel permisible, y 23 veces superiores a las emisiones *per cápita* en la India.

El protocolo de Kyoto

Del 1° al 10 de diciembre de 1997 se celebró en Kyoto, Japón, la Tercera Conferencia de las Partes de la Convención sobre Cambio Climático (COP3). 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. La Alianza de Pequeños Estados Islas (AOSIS), que agrupa a aquellos países cuya existencia misma está en peligro, propuso para el año 2005 reducciones de 20% (en relación con el mismo año base de 1990). Pero ni los EE.UU. ni Japón ni muchos otros países industrializados estaban dispuestos a realizar un esfuerzo significativo. Diversas propuestas apuntaban hacia reducciones inferiores al 5%, y los EE.UU. sólo ofrecieron regresar a sus niveles de emisión de 1990 en el periodo 2008-2012. Para este período, la Unión Europea, como grupo, reducirá sus emisiones en 8%, con respecto a 1990; los Estados Unidos en 7%; Japón y Canadá en 6%; Rusia, Ucrania y Nueva Zelanda no tendrán ninguna reducción; algunos países como Australia, podrán inclusive aumentar sus emisiones. Se decidió no incluir en esta etapa compromisos adicionales para el Tercer Mundo.

El Protocolo de Kyoto abarca seis gases con efecto invernadero no cubiertos por el Protocolo de Montreal: 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 un 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 (no existen "sumideros" naturales); tienen un enorme potencial de captación de radiaciones caloríferas y permanecerán en la atmósfera, absorbiendo calor, durante miles de años. Por mantener ciertos modelos de producción y de consumo para la generación actual, estamos heredando un problema a numerosísimas generaciones futuras. Lo mismo puede decirse, de hecho, para el problema global del cambio climático y para otros impactos ambientales del actual modelo civilizatorio (Alatorre, 1997).

Consecuencias del aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera: El efecto invernadero

El dióxido de carbono es un gas imprescindible para la vida, ya que constituye una de las materias primas de la fotosíntesis vegetal; es la fuente del elemento carbono (C), base de las moléculas orgánicas. Su presencia en la atmósfera, pero, no debe sobrepasar unos ciertos límites, ya que este gas desempeña una función de invernadero que resulta saludable únicamente en su justa medida, pero que puede "asfixiar" a la vida si se encuentra en exceso. La concentración de dióxido de carbono no se mantiene constante a lo largo de la historia de la vida, oscila al igual que oscilan la temperatura y otras constantes vitales del planeta, por diversos motivos. En este último siglo esta concentración ha experimentado un aumento no atribuible a causas naturales. El aumento de dióxido de carbono puede conllevar un aumento de temperatura a nivel planetario, con un consecuente cambio del clima planetario. Las predicciones científicas cifran este aumento entre 1 y 5 grados, y predicen la extremación del clima, es decir, un aumento de las inundaciones, huracanes, sequías prolongadas, etc, así como una subida del nivel de los océanos próximo a 1 metro.

Las consecuencias del cambio climático podrían ser nefastas para la economía, zonas ahora cultivables dejarían de serlo, y áreas cultivables serían castigadas por violentas tormentas que dañarían las cosechas.

Emisiones de CO₂ atmosférico.

Actualmente se emite tal cantidad de gases de invernadero a la atmósfera, que ha sido rebasada la capacidad de absorción de los ecosistemas "sumideros" (bosques y océanos, principalmente). Peor aún: la deforestación se ha convertido en una fuente importante de dióxido de carbono (Alatorre, 1997).

Cannel (1996) menciona que del total de las emisiones de CO₂ generadas hacia la atmósfera el 80% se debe a la quema de combustibles fósiles mientras que el restante 20%

corresponde a los procesos de deforestación, con una tasa anual de emisión de CO₂ a la atmósfera de aproximadamente de 5.4 GtC por quema de combustibles fósiles y 2.0 GtC debidas a la deforestación. En nuestro país, los principales emisores de gases de efecto invernadero son el sector de energía, por el uso de combustibles fósiles, con 83.8 % MtC¹ (Gay y Martínez 1995), el cambio de uso del suelo y forestería con 30.2 MtC (Masera *et al.*, 1995) y los procesos de la industria del cemento con 3.1 MtC, (Gay y Martínez 1995), dando un total de 117.1 MtC. El Panel Intergubernamental sobre el cambio Climático (IPCC, 1995) estimó que las emisiones de México contribuyen con el 1.45 % de las emisiones totales de carbono que se dan en nuestro planeta cada año. Las proyecciones de 1990 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre los Cambios Climáticos (IPCC) demostraron que el consumo de combustibles fósiles contribuirá con el 65 % del efecto invernadero previsto durante el periodo actual hasta el año 2025 . La contribución de la deforestación y la quema de biomasa durante el mismo periodo se prevé en el 15 % (IPCC). Se estima que entre 1980 y 1989, fueron liberadas 5.5 GtC año⁻¹ a través de la quema de combustibles fósiles para la producción de cemento (Scimel, 1995); La cual es una 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 (Tipper, 1996).

Una consecuencia del uso de los combustibles fósiles es la emisión de carbono. La emisión global por el uso de estos combustibles ha incrementado 3.5 veces desde 1950 y actualmente se ubica en alrededor de 6.2 GtC año⁻¹. Se estima que la temperatura global sería aproximadamente 30 °C menor sin la presencia de CO₂. Pero al contrario, si se incrementa la concentración de CO₂ se provocará un aumento en la temperatura global y posiblemente cambios o trastornos profundos en los regímenes de los climas regionales (Tipper, 1996).

Flujos y *stocks* de carbono en el planeta

Del volumen de la atmósfera, sólo 0.04 por ciento es carbono. En los suelos y la vegetación hay casi tres veces más, por lo cual un aumento ligero de emisiones de la biosfera a la atmósfera puede fácilmente elevar la concentración de ese *gas invernadero*. Cada año se vierte a la atmósfera un exceso de 4 o 5 gigatoneladas, que no pueden ser absorbidas por los ecosistemas del planeta. La respiración es actualmente un flujo equilibrado con la fotosíntesis, pero es un proceso biológico mucho más sensible a las elevaciones de la temperatura. Hay, por ende, el riesgo de un efecto de retroalimentación positiva: el calentamiento acelera la respiración, lo que aumenta la emisión de CO₂ y acentúa el *efecto invernadero*. Los bosques son un importante reservorio: de 90 a 160 (y hasta 280) toneladas de carbono por hectárea (TonC/ha). La deforestación es responsable de 30 por ciento de las emisiones. En cuanto a su capacidad de absorción (como *sumideros*) el rango va desde 6 hasta 10 TonC/ha/año en bosques en crecimiento,

Formas de capturar carbono

Captura de carbono normalmente consiste en la idea de almacenar reservas de carbono en suelos, bosques y otros tipos de vegetación, donde dichas reservas están en peligro inminente de ser perdidas. También se promueve el incremento de las reservas de carbono por el establecimiento de nuevas plantaciones forestales, sistemas agroforestales y la rehabilitación de bosques degradados. Conservación, reforestación y un manejo optimizado de la administración de bosques son los principales métodos mediante los cuales el carbono atmosférico puede ser capturado. 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).

La atmósfera contiene por si misma alrededor de 750 GtC, intercambia alrededor de 100 GtC cada año (13%) con la superficie del suelo y alrededor de 90 GtC cada año (12%) con los océanos. De las 100 GtC que recibe la vegetación anualmente, 50 GtC regresan a la atmósfera por medio de la respiración, las otras 50 GtC pasa al suelo. Sin embargo, el suelo aparece como un sumidero neto de carbono secuestrando una cantidad que es menor que el 2% (aproximadamente 1.7 GtC por año, de la producción neta de los ecosistemas) de las 100 GtC que esta intercambia anualmente con la atmósfera (Cannel, 1996).

La vegetación y los suelos de los bosques del mundo contienen grandes cantidades de carbono, más de 11/4 de la cantidad almacenada en la atmósfera. El dióxido de carbono se libera cuando se aclaran o degradan los bosques, se quema o pudre la vegetación. La quema de la vegetación forestal también libera otros gases de efecto invernadero como el metano (CH₄), el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x), el óxido nitroso (N₂O) etc. (FAO, 1997). Por ello, se necesitan inventarios con resultados confiables para calcular las pérdidas y ganancias de bióxido de carbono de los ecosistemas forestales (Brown *et al.*, 1993).

Principales almacenes de carbono en los ecosistemas forestales

Los principales almacenes de carbono en los ecosistemas forestales son la vegetación, el suelo y el mantillo. La vegetación es la encargada de incorporar el carbono atmosférico al ciclo biológico por medio de la fotosíntesis. Los bosques del mundo tanto templados como tropicales capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan con el 90 % del flujo anual de carbono entre la atmósfera y el suelo (Apps *et al.*, 1993; Brown *et al.*, 1993; Dixon *et al.*, 1994). De igual manera, el suelo juega un papel muy importante en el ciclaje y almacén de carbono en estos ecosistemas. Como ejemplos de la influencia global de los procesos del suelo están los productos de la desnitrificación, tales como N₂O, N₂, así como los producidos por la descomposición de la materia orgánica del suelo, como el CO₂, CH₄, y otros gases

asociados al ciclo del carbono (Melillo *et al.*, 1989; Mosier *et al.*, 1991), el suelo tiene una gran capacidad de secuestrar carbono (Jonson, 1992), debido a que puede acumularlo por miles de años (Schlesinger, 1990).

Fotosíntesis

Es el proceso fundamental por medio del cual se producen carbohidratos a partir de materias inorgánicas al convertir la energía solar en energía química (Daniel, *et al.*). El CO₂ utilizado en este proceso en las plantas superiores penetra en las hojas a través de los estomas de la epidermis foliar. El CO₂ se disuelve fácilmente en el agua y penetra así en las células de las hojas. La energía necesaria para la fotosíntesis es absorbida por la clorofila y proporcionada por la luz solar. De la luz que cae sobre una hoja, una porción es reflejada de las superficies foliares, una porción pasa a través de las hojas sin ser absorbida, y otra porción es absorbida por las células verdes de la hoja. Se estima que únicamente de 5 a 8 por 100 de la energía lumínica total que cae sobre una hoja es convertida en energía química de alimentos en la fotosíntesis (Fuller, *et al.*, 1974). La fotosíntesis, el crecimiento y productividad de las plantas son afectadas directamente por la temperatura y por el incremento de CO₂ atmosférico aunque es difícil de conocer cual de los dos factores tiene mayor contribución en estas consecuencias (Hughes, 2000).

Las plantas necesitan H₂O para formar carbohidratos. El proceso de la fotosíntesis toma lugar en los cloroplastos, específicamente a través de la utilización de la clorofila, los pigmentos verdes involucrados en la fotosíntesis que es el más importante entre los procesos removiendo CO₂ de la atmósfera. La cantidad de carbono fijada por organismos fotosintetizadores sobre una escala global está estimado en un rango de 100¹⁵ g anualmente, el cual está por arriba 15 veces más que el uso de combustibles fósiles por los humanos. Esta fotosíntesis juega un papel fundamental en el ciclo global del carbono y en los niveles atmosféricos de CO₂, mientras que al mismo tiempo conjunta el ciclo global del carbono con el ciclo del oxígeno. El presupuesto del carbono neto de un bosque está en un balance fino entre los procesos de adquisición de carbono (fotosíntesis, crecimiento de árboles, acumulación de carbono en el suelo) y procesos de

liberación de carbono (Mortalidad de árboles, descomposición de materia orgánica, oxidación del carbono del suelo, degradación y disturbancia) (Rajaselvam, 1999).

Influencia del incremento del CO₂ sobre la dinámica de la vegetación

El incremento en el CO₂ atmosférico se ha visto reflejado en cambios de temperatura, precipitación, deposición de nitrógeno (Norby, 1999). Las respuestas del elevado carbono varían no sólo entre especies y clones sino también varían sustancialmente entre tejidos maduros y jóvenes y entre plantas fertilizadas y no fertilizadas (El Kohen et al, 1992). Generalmente, el crecimiento de la biomasa a largo plazo muestra positivas respuestas y la fotosíntesis es estimulada de un 40 – 80 %. La densidad de los estomas ha mostrado una *disminución* y el uso eficiente del agua incrementa cuando los árboles crecen bajo condiciones de alto CO₂ en medio ambiente controlado (Solomon, 1993). Aunque la respiración en la oscuridad incrementa debido a la elevada concentración (Makewicz *et al.*, 1995) es necesaria mas investigación sobre la respuesta de la respiración, particularmente con la observación del contenido de carbohidratos y proteínas.

Aunque el CO₂ no es la molécula con la mayor capacidad para retener energía infrarroja una vez liberado a la atmósfera, es el más abundante de todos los gases invernadero de origen antropogénico y de ahí la preocupación preponderante por reducir su emisión a la atmósfera. El gas invernadero más abundante es el vapor de agua, pero su concentración en la atmósfera está regulado por los ciclos hidrológicos y la participación del hombre en este fenómeno es casi nula.

En México, el Instituto Nacional de Ecología ha señalado que la contribución del sector rural a la emisión de CO₂ corresponderá 30.6 % del total debido al cambio de uso del suelo y a la deforestación. El CO₂ que proviene de este sector es mayormente producto de la oxidación de los residuos orgánicos acumulados en suelo y en la superficie de la tierra, que al desaparecer el bosque quedan desprotegidos y expuesto a la mencionada transformación química. De acuerdo a una muy reciente publicación (Schulze *et al.*, 2000), la contribución de CO₂ al ambiente atribuible por esta vía, es mayor que la captura que pueda realizar una nueva plantación forestal,

generándose un flujo neto de este gas hacia la atmósfera. Esta posición es contraria a lo que comúnmente se indica en la literatura a este respecto, que propone la sustitución de masas boscosas viejas por nuevas plantaciones. Esto quiere decir que el CO₂ que los árboles jóvenes absorben mediante el proceso de fotosíntesis (captura de carbono) en una cierta superficie, es menor que la emisión de este gas desde esa misma superficie, generándose un balance negativo. Esta situación se suma al balance general negativo que existe entre la emisión de CO₂ desde distintas fuentes (agricultura, generación de energía, industria, transporte, usos domésticos, etc.) y la captura de carbono por el bioma, lo cual permite que haya una acumulación neta de este gas en la atmósfera, con las posibles consecuencias arriba descritas.

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).

Biomasa en la raíz

La biomasa radicular es una importante parte de la biosfera, y puede contener hasta un 30 % de la biomasa aérea (Grier et al., 1981; Noordwijk et al., 1996). Esto es importante para el modelo del ciclo del carbono que ha sido muy reconocido. El agrupamiento de los datos sobre la distribución de la biomasa de la raíz es un proceso muy tedioso, incluyendo excavación, cribado separación dentro de las especies y clases diamétricas deshidratación y pesaje (Polomski and Jun, 1998). La distribución de las raíces puede ser muy heterogénea debido a las rocas y a estratos o capas impermeables en el suelo. Esto puede, dependiendo de las especies de árboles, ser fuertemente influenciado por el suministro de agua y profundidad de enraizamiento es también limitada por la presencia de agua en el suelo. La biomasa de la raíz es frecuentemente reportada por unidad de area solo (Harris et al., 1973; Santantonio et al., 1977; Grier et al., 1981; Haland and Braekke, 1989), hacen estos datos inusuales para modelos basados en árboles individuales.

Pocas publicaciones han procedido con el diámetro de la raíz y profundidad de enraizamiento para árboles individuales (Krepki, 1987; Haland and Braekke, 1989; Drexhage et al). Sus descubrimientos son frecuentemente difíciles para comparar debido a varias razones. La biomasa de los tocones no esta definida uniformemente. Diferentes intervalos de profundidad han sido utilizados también tales como 0.2 m (Vyskot, 1973, 1976; Verzunov, 1980; Bencat, 1989), 0.5 m (Krepki, 1987) variables de intervalos de 0.5 a 1 m (Jeník, 1971) y de 0.1 a 0.2 m (Haland and Braekke, 1989).

Los sistemas radiculares constituyen una cantidad significativa de la biomasa, que puede alcanzar hasta un 25% de la producción total de peso seco. La mayor parte del sistema radicular referido a la longitud se encuentra en las raicillas (menores a 3 mm de diámetro) (Safford y Bell, 1972; citado por Daniel, et al, 1982). La profundidad de las raíces está, hasta cierto punto, controlado genéticamente; algunas especies presentan raíces someras y otras muestran una tendencia hacia la formación de una raíz central principal que penetra en el suelo (Sutton, 1969; citado por Daniel, et al., 1982). La mayor parte de estas raicillas se encuentran cerca de la

superficie del suelo donde se encuentran las mayores cantidades de humus y nutrientes. pero sólo del 14 al 60% del peso total de la raíz (Schultz, 1972; citado por Daniel, *et al.*, 1982).

Principios de estimación de biomasa

La biomasa (sobre peso seco) de los árboles puede ser medida directamente cortando el árbol dividiéndolo dentro de sus componentes (madera de diferentes tamaños, hojas, frutos etc.) pesándolas en fresco y secando cada muestra de cada componente para determinar contenido de humedad de la cual el peso seco puede ser calculado (Stewart, 1989). Esto pudiera, sin embargo, ser tiempo consumido para medir todas las muestras por esta vía, y cortando todos los árboles podríamos predecir cualquier medida en el futuro. Directamente pesando es por lo tanto, limitado a una submuestra de los árboles eligiendo para cubrir todo el tamaño de rango del experimento.

La estimación de la biomasa en la vegetación es un importante parámetro para la aplicación de modelos basados en el crecimiento de los árboles (West 1987, McMurtie *et al.* 1989 Bassow *et al.* 1990, Korol *et al.* 1991) y son muy importantes para estudios de producción de la vegetación, ciclo de nutrientes, hidrología, hábitat de fauna silvestre y comportamiento del fuego (Waring 1985, Long and Smit 1988). La medición directa de la biomasa por medio del método destructivo y muestreo, es sin embargo, laborioso y caro. Frecuentemente las ecuaciones alométricas son usadas en las cuales la biomasa es relacionada

Incremento de la biomasa vegetal

Para reducir la concentración de CO₂ atmosférico es importante incrementar la biomasa del bosque. Sedjo y Solomon (1989) señalan que el incremento neto anual de carbono atmosférico (aproximadamente 3, 000 millones de toneladas) se podría captar mediante unos 465 millones de hectáreas de bosques de plantación en unos 30 años, lo que requeriría el aumento de más del 10 % de la superficie actual de bosques de la tierra. Los principales argumentos de esta medida son, primero que la biomasa de los árboles fijan grandes cantidades de CO₂ atmosférico sobre un largo periodo. Segundo, la biomasa del bosque puede directamente (o indirectamente) se utilizada para propósitos de energía y por lo tanto, reducir el uso de

combustibles fósiles, o se pueden sustituir por otros materiales de construcción. Tercero, el incremento de almacenamiento del CO₂ en los bosques proporciona flexibilidad mitigando los impactos ocasionados por el calentamiento global. Cuarto, el incrementar la biomasa de los bosques puede en muchos ecosistemas brindar grandes beneficios ambientales tales como mejorar la biodiversidad, mejor calidad del agua, disminución de la erosión, y mejora las oportunidades de recreación. Finalmente, la producción del bosque está basada sobre un buen funcionamiento de la tecnología y estructuración de las normas (Solberg, 1997).

Carbono en el suelo

Es el carbono contenido en las capas que conforman el suelo forestal; este suelo es originado por fragmentación de la roca madre expuesta (material parental), donde se establece un organismo vegetal, que a lo largo del tiempo va formando capas por depositación de materiales, las que al irse acumulando y compactando almacenan una cierta cantidad de carbono, la cual se incrementará por la continuidad del proceso de formación del suelo (Ordóñez y Masera, 2001).

El papel de los bosques en el ciclo global del carbono.

Los bosques juegan un papel muy importante en el ciclo global del carbono. A través del proceso fotosintético capturan el CO₂ formando carbohidratos integrándolo como biomasa en sus distintos componentes y durante el proceso de respiración los carbohidratos sufren una oxidación liberando CO₂ (Sedjo 1990, Dixon et al. 1994). Entre 1980 y 1995 la extensión de los bosques en el mundo disminuyó en unos 180 millones de ha, una superficie casi de un tamaño aproximado de México (FAO, 1997). Sin embargo, actualmente la deforestación de aproximadamente 17 millones de hectáreas por año causa emisiones anuales a la atmósfera de 1.8 Gt de carbono como bióxido de carbono, gas que mayor contribución tiene en el calentamiento global. Esto representa el 20% del total de bióxido de carbono emitido por el hombre (Schimel *et al.*, 1996). Por tal motivo, cuando los bosques son renovados o conservados pueden servir como depósitos para el bióxido de carbono. La forestación permite capturar CO₂ reduciendo de esta manera el calentamiento global y preservando a su vez los recursos forestales.

Los bosques como sumideros de carbono

Actualmente los bosques del mundo se consideran fuentes netas de CO₂, sobre todo debido a la deforestación. Los bosques templados y boreales que a nivel mundial están aumentando ligeramente en superficie y en algunos lugares en biomasa por unidad de superficie, son sumideros netos de carbono. Los bosques tropicales encierran el mayor potencial de retención del carbono ya que pueden contribuir con un 80 % al aumento del almacenamiento de carbono en los bosques del mundo, principalmente mediante la regeneración de los bosques y la reducción de la reforestación (FAO, 1997).

INTRODUCCIÓN

Numerosos investigadores han estimado la biomasa de especies individuales de arbustos (Murray and Jacobson, 1982; Frandsen, 1983; Vora, 1988; Návar *et al.*, 2001). Los manejadores de recursos naturales e investigadores requieren confiabilidad al estimar la biomasa total de arbustos o el peso de sus componentes para evaluar la productividad del sitio, abundancia de alimento, efectos de tratamientos, y consumo de combustible (Kie and White, 1985). Hoy en día, las estimaciones de biomasa son requeridas para estimar los almacenes y flujos de dióxido de carbono, CO₂, dentro del sistema atmosférico de la tierra (Houghton, 1991; Marland *et al.*, 1997; Schimel *et al.*, 2000). Varios modelos de CO₂ requieren la estimación de biomasa o parámetros relacionados con la biomasa para evaluar los cambios del CO₂ en la biósfera (Massera, 1994; Makela, 1997; Marland *et al.*, 1997; Bhatti *et al.*, 1998; Schimel *et al.*, 2000). Dada esta importancia medioambiental, las ecuaciones de biomasa han sido recopiladas o desarrolladas para especies tropicales, templados y especies de bosques boreales (Brown *et al.*, 1989; Schroeder *et al.*, 1997; Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997; Jenkins *et al.*, 2001). Sin embargo, las ecuaciones de biomasa para otros ecosistemas han sido poco estudiadas.

Para estimar componentes de biomasa por el método no-destructivo son necesarias técnicas rápidas, relativamente exactas, y con un poco de instrucción. Los procedimientos para estimación de biomasa de árboles individuales consisten de relacionar los componentes de biomasa o el total con las características arbustivas tales como el diámetro basal (Brown, 1976; Návar *et al.*, 2001), cobertura de copa (Harniss and Murray, 1976; Frandsen 1983), y volumen de copa (Harniss and Murray, 1982; Murray and Jacobson, 1982; Vora, 1988). Las estimaciones de biomasa aérea consiste de la suma de los componentes de biomasa de arbustos individuales.

La elección del modelo y el método de ajuste de los parámetros son dos de los errores más comunes que deben ser considerados en la estimación de la biomasa (Woods *et al.*, 1991). Por omisión de estas consideraciones, una variedad de modelos no aditivos de regresión han sido usados para estimar la biomasa total de los árboles o la biomasa de los componentes del árbol (Clutter *et al.*, 1983), pero caen dentro de tres formas principales: (a) error lineal aditivo, (b) error

nolineal aditivo, y (c) error no lineal multiplicativo (Parresol, 1999). Una característica deseable de las ecuaciones de regresión de los componentes del árbol es que la suma de las predicciones para los componentes sea igual a la predicción para el total de los árboles (Cunia and Briggs, 1984, 1985; Reed and Green, 1985; Parresol, 1999). Tres procedimientos para forzar la aditividad han sido propuestos. La biomasa total es estimada: (1) usando las mismas variables independientes para la estimación de cada componente, (2) sumando los estimadores de las mejores funciones de regresión de cada componente de biomasa, y (3) forzando los coeficientes de regresión para estimar la biomasa total, con regresiones lineales generalizadas (Cunia and Briggs, 1985; Parresol, 1999). Estos procedimientos han sido utilizados para ecosistemas templados pero no para estimar la biomasa total para árboles o arbustos de otros ecosistemas tales como ecosistemas semi-áridos y sub-húmedos. Ciertamente, Cunnia y Briggs (1985) señalan la importancia de probar la aplicabilidad de técnicas aditivas en árboles o arbustos de otros ecosistemas.

El objetivo de este estudio fue (1) desarrollar ecuaciones alométricas a escalas diferentes de especies para la estimación de la biomasa aérea y de sus componentes por el ajuste de tres procedimientos de aditividad de biomasa en ocho diferentes formas, (2) comparar la eficiencia en estimar la biomasa entre procedimientos aditivos, escalas y ecuaciones, y (3) para probar como las ecuaciones aditivas se comparan con medidas de biomasa en la escala parcelaria. El análisis fue realizado para datos en especies arbustivas colectadas dentro de un radio de 150 km del Matorral Espinoso Tamaulipeco de Coahuila, Tamaulipas, y Nuevo León, en el nordeste de México.

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

El Matorral Espinoso Tamaulipeco consiste de vegetación subtropical, semi-árida que cubre parte de la costa baja del nordeste de México. El estudio fue llevado a cabo el nordeste de Coahuila, noroeste de Tamaulipas y sudeste de Nuevo León. El clima del área de estudio es subtropical en el centro sur de Tamaulipas y suroeste de Nuevo León en la parte baja del este de la Sierra Madre, y semi-arido en el noroeste de Coahuila y noreste de Tamaulipas y en el este de

Nuevo León. La región presenta veranos muy calientes e inviernos cortos. El área tiene una altitud promedio de 120-350 m sobre el nivel del mar. La temperatura y la precipitación media anual es de 22.3°C y 500 mm, respectivamente (Návar, 1999). La precipitación mensualmente esta distribuida uniformemente en la porción noroeste de la region y bimodalmente en las pendientes del este de la Sierra Madre Oriental. La última región tiene la primera precipitación mensualmente mas alta durante finales de primavera e inicio del verano y la segunda mayor en la ultima caída del verano. La precipitación en el área se origina de varias fuentes: (1) La posición de la zona inter tropical de convergencia, ITCZ, (2) la colocación de celdas de alta presión en los océanos Atlántico y Pacífico, (3) el tiempo de evolución y la circulación global de masas de aire, y (4) ciclones tropicales (Gracia, 1987). Los frentes fríos generan la mayor parte de la lluvia invernal, considerando para menos del 10% del largo plazo promedio anual. 65% de todas las tormentas que tienen menos de 5 mm de lluvia y estimada para un 35% de la precipitación anual, y sólo 15% del total de las tormentas son capaces de producir escurrimientos (Návar and Synnott, 2001). La evaporación se aproxima a 2000 mm, aunque el potencial estimado de evapotranspiración, es medido usando el método de Thornthwaite, es 1150 mm (Návar et al., 1994).

Los suelos de la planicie costera del nordeste del golfo de México están dominados por (a) xerosoles en el centro y oeste del área, (b) yermosoles en la región oeste, (c) litosoles y rendzinas en laderas de la planicie central y el este de la Sierra Madre, y (d) vertisoles en la planicie de la este de la región. Los principales usos de la tierra son: (1) vegetación nativa de arbustos (matorral espinoso Tamaulipeco y sus diferentes formaciones de vegetacion) ocupando 65% de el total del área; (2) bosques de coníferas y bosques de latifoliadas cubriendo 6.37% de el total del área, y (3) y áreas de agricultura de riego y temporal cubriendo 18% de la región (Aranda *et al.*, 1998). Reservas naturales, áreas urbanas, pastizales, vegetación secundaria son otros de los de los usos de la tierra enel área.

La vegetación es bastante densa y diversa, con más de 22 especies arbustivas ocurriendo en parcelas de 0.1 ha (Romero, 1999; Manzano and Návar, 2000). Las formas de vida más importantes son arbustos medianos y pequeños. Entendida como vegetación que está compuesta

de hierbas perenes y anuales y pastos, pero estas son inconspicuas bajo altas densidades y doseles cubiertos de arbustos. Cotecoca-Sarh (1973) y Reid *et al.* (1990) observaron que las especies arbustivas dominantes de este ecosistema son *Acacia berlandieri* Benth., *A. farnesiana* (L.) Wild., *A. rigidula* Benth., *Calliandra conferta* Gray, *Celtis pallida* Torr., *Condalia hookeri* M.C. Johnst., *Cordia boissieri* DC., *Diospyros palmeri* Scheele, *Diospyros texana* Scheele, *Ehretia anacua* (Terán & Berl.) I.M. Johnst., *Eysenhardtia polystachya* (Ort.) Sarg., *Eysenhardtia texana* Scheele, *Forestiera angustifolia* Torr., *Fraxinus greggii* A. Gray, *Gochnatia hypoleuca* DC., *Helietta parvifolia* (Gray) Benth., *Leucophyllum texanum*, *Malpighi glabra* L., *Mimosa biuncifera*, *Pithecellobium pallens*, *Pithecellobium ebano*, *Prosopis laevigata*, *Prosopis glandulosa*, *Schaefferia cuneifolia*, and *Zanthoxylum fagara*.

Colecta de datos. Treinta y siete parcelas cuadradas (5 m x 5 m), cubriendo la porción oeste de la distribución del Matorral Espinoso Tamaulipeco fueron estudiadas para desarrollar ecuaciones aditivas de biomasa. Las parcelas fueron sistemáticamente ubicadas desde el noroeste de Coahuila (6), noroeste de Tamaulipas (6), y este de Nuevo León (25). En cada parcela, todos los arbustos en pie fueron medidos en su diámetro basal, altura total, y cobertura de copa. Los arbustos fueron derribados y separados en hojas, ramas, y fuste principal. Cada componente de biomasa fue pesado en fresco, y aproximadamente 10% de cada componente fue enviada al laboratorio de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Nuevo León para realizar los análisis de peso seco.

Especies estudiadas. Un total de 30 especies maderables arbustivas fueron encontradas en todas las 37 parcelas. Las 15 especies de menor frecuencia con menos de 12 individuos en 25 m² fueron agrupadas dentro de un grupo simple, llamadas el otro grupo de especies. El promedio y la desviación estandar del diámetro basal, DB, altura total, H, y cobertura de copa, CT, son reportadas en la Tabla 1. En adición a esta información, los datos de biomasa colectados en el Matorral Espinoso Tamaulipeco de el área de Linares y reportados por Navar *et al.* (2001) para 10 especies arbustivas fueron usadas para aumentar las estimaciones de biomasa para cada especie. Los datos colectados para este estudio consideraron el 72% de toda la información y el 28% restante por datos previamente reportados.

Procedimiento. En esta investigación, tres procedimientos aditivos fueron utilizados para desarrollar las ecuaciones para los componentes de biomasa: (i) una variable independiente, (ii) mejor modelo de regresión, y (iii) regresión no relacionada para cada especie, grupos de especies, y total de las especies. Las ecuaciones para cada especie consideraron sólo especies que tenían datos de más de 12 plantas, y solo 13 especies se encontraron en esta categoría. Para el resto de las especies con menos de 12 plantas una ecuación sencilla fue desarrollada. Grupos de especies fueron formados por contraste de pendiente de las ecuaciones de regresión lineal desarrolladas entre la biomasa total y DB^2H . Este procedimiento de covarianza formó cuatro grupos de especies, y ecuaciones aditivas de biomasa fueron desarrolladas para cada grupo de especies. Una ecuación aditiva simple para todas las especies fue también desarrollada. Las ecuaciones aditivas se describen a continuación.

$$\begin{aligned}
 [1] \quad & \hat{y}_1 = x'b_1 \\
 & \hat{y}_2 = x'b_2 \\
 & \cdot \\
 & \hat{y}_k = x'b_k \\
 & \hat{y}_{total} = x'[b_1 + b_2 + \dots + b_k]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [2] \quad & \hat{y}_1 = f_1(x'_1) \\
 & \hat{y}_2 = f_2(x'_2) \\
 & \cdot \\
 & \hat{y}_k = f_k(x'_k) \\
 & \hat{y}_{total} = [\hat{y}_1 + \hat{y}_2 + \dots + \hat{y}_k]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [3] \quad & \hat{y}_1 = f_1(X_1) + \epsilon_1 \\
 & \hat{y}_2 = f_2(X_2) + \epsilon_2 \\
 & \cdot \\
 & \hat{y}_k = f_k(X_k) + \epsilon_k \\
 & \hat{y}_{total} = f_{total}[X_1 + X_2 + \dots + X_k] + \epsilon_{total}
 \end{aligned}$$

Donde: $\hat{y}_{1,2,\dots,k}$ = biomasa estimada del componente k; 1 = hoja, 2 = rama, y 3 = biomasa del fuste (kg), \hat{y}_{total} = biomasa total estimada (hoja+rama+fuste)(kg); $\epsilon_{1,2,\dots,total}$ = error de biomasa estimada del componente k.

Una revisión gráfica y estadística de las variables independientes indicaron que DB^2H consistentemente explicó la mayor parte de la variación en los componentes de la biomasa. Por lo tanto, el procedimiento aditivo [1] consideró exclusivamente el parámetro DB^2H como la variable independiente simple en tres diferentes formas: (1) regresión no lineal, ONL, (Ecuación 5); (2) regresión en log-transformación, LTP, (Ecuación 6); y (3) regresión lineal simple, SLR, (Ecuación 7). El procedimiento aditivo [2] fue trabajado usando cuatro tipos de modelos en regresión lineal múltiple en stepwise: (1) lineal múltiple, MLSP, (Ecuación 8), (2) log-transformado, MNLP (Ecuación 9), (3) modelos de covarianza lineal con variables dummy, CLM (Ecuación 10), y (4) modelo de covarianza con transformación logarítmica, con variables dummy, LCM (Ecuación 11). El procedimiento aditivo [3], regresión no relacionada, SUR, fue corrido con las variables independientes que surgieron de MLSP, puesto que el procedimiento señalado tuvo los mejores estadísticos bondad de ajuste y presenta tres ecuaciones completas, uno de cada componente de biomasa. Los modelos aditivos están definidos a continuación:

- [5] $\hat{y}_{leaf} = b_{01} (DB^2H)^{b_{11}}$
 $\hat{y}_{branch} = b_{02} (DB^2H)^{b_{12}}$
 $\hat{y}_{stem} = b_{03} (DB^2H)^{b_{13}}$
 $\hat{y}_{total} = \hat{y}_{leaf} + \hat{y}_{branch} + \hat{y}_{stem}$
- [6] $L\hat{y}_{leaf} = Lb_{01} + b_{11} (LDB^2H)$
 $L\hat{y}_{branch} = Lb_{02} + b_{12} (LDB^2H)$
 $\hat{y}_{stem} = Lb_{03} + Lb_{13} (LDB^2H)$
 $\hat{y}_{total} = 10^{\hat{y}_{leaf}} + 10^{\hat{y}_{branch}} + 10^{\hat{y}_{stem}}$
- [7] $\hat{y}_{leaf} = b_{01} + b_{11} (DB^2H)$
 $\hat{y}_{branch} = b_{02} + b_{12} (DB^2H)$
 $\hat{y}_{stem} = b_{03} + b_{13} (DB^2H)$
 $\hat{y}_{total} = \hat{y}_{leaf} + \hat{y}_{branch} + \hat{y}_{stem}$
- [8] $\hat{y}_{leaf} = b_{01} + b_{11} (DB^2H) + \dots + b_{1k} (CT) + b_{12} (LDB^2H) + \dots + b_{1n} (LCT)$
 $\hat{y}_{branch} = b_{20} + b_{21} (DB^2H) + \dots + b_{2k} (CT) + b_{2k+1} (LDB^2H) + \dots + b_{2n} (LCT)$
 $\hat{y}_{stem} = b_{30} + b_{31} (DB^2H) + \dots + b_{3k} (CT) + b_{3k+1} (LDB^2H) + \dots + b_{3n} (LCT)$
 $\hat{y}_{total} = \hat{y}_{leaf} + \hat{y}_{branch} + \hat{y}_{stem}$
- [9] $L\hat{y}_{leaf} = b_{01} + b_{11} (DB^2H) + \dots + b_{1k} (CT) + b_{12} (LDB^2H) + \dots + b_{1n} (LCT)$
 $L\hat{y}_{branch} = b_{20} + b_{21} (DB^2H) + \dots + b_{2k} (CT) + b_{2k+1} (LDB^2H) + \dots + b_{2n} (LCT)$
 $L\hat{y}_{stem} = b_{30} + b_{31} (DB^2H) + \dots + b_{3k} (CT) + b_{3k+1} (LDB^2H) + \dots + b_{3n} (LCT)$
 $\hat{y}_{total} = 10^{\hat{y}_{leaf}} + 10^{\hat{y}_{branch}} + 10^{\hat{y}_{stem}}$
- [10] $\hat{y}_{total} = b_{01} + b_{11} (DB^2H) + \dots + b_{1k} (CT) + b_{12} (LDB^2H) + \dots + b_{1n} (LCT) +$
 $+ b_{21} (DB^2H) + \dots + b_{2k} (CT) + b_{2k+1} (LDB^2H) + \dots + b_{2n} (LCT) +$
 $+ b_{31} (DB^2H) + \dots + b_{3k} (CT) + b_{3k+1} (LDB^2H) + \dots + b_{3n} (LCT)$
- [11] $L\hat{y}_{total} = b_{01} + b_{11} (DB^2H) + \dots + b_{1k} (CT) + b_{12} (LDB^2H) + \dots + b_{1n} (LCT) +$
 $+ b_{21} (DB^2H) + \dots + b_{2k} (CT) + b_{2k+1} (LDB^2H) + \dots + b_{2n} (LCT) +$
 $+ b_{31} (DB^2H) + \dots + b_{3k} (CT) + b_{3k+1} (LDB^2H) + \dots + b_{3n} (LCT)$
 $\hat{y}_{total} = 10^{\hat{y}_{total}}$

Donde: L = Logaritmo de base 10

A parte de usar DB, H, CT, y su transformaciones logarítmicas como variables explicatorias, varias interacciones entre las variables independientes fueron incluidas en el

análisis de regresión ($DB \times H$, $DB^2 \times H$, $DB^2 \times H^2$, $DB \times CT$, $DB^2 \times CT$, $DB^2 \times CT^2$, también con sus transformaciones logarítmicas).

Las ecuaciones desarrolladas en los procedimientos MLSP y SUR tienen la misma variable independiente pero diferentes parámetros. Por que un análisis de regresión múltiple en stepwise fue realizado por el procedimiento aditivo [2], solo las variables que estadísticamente explicaron mayormente la varianza total en los componentes de biomasa fueron incluidos en la ecuación ($p=0.1$).

Una característica deseable de estas estimaciones es que la predicción para los componentes de biomasa suman la biomasa total predicha, modelos de aditividad (Cunia and Briggs, 1985; Reed and Green, 1985; Parresol, 1999). La aditividad de los componentes es asegurada en el procedimiento aditivo [1] por el uso de las mismas variables independientes, en el procedimiento aditivo [2] por la adición de las mejores funciones de regresión, y en el procedimiento aditivo [3] por ajuste de restricciones en los coeficientes de regresión. La ecuación de covarianza con variables dummy, expresada en las ecuaciones [10] y [11] es una expansión del procedimiento aditivo [2] por que estas consideran sólo una intercepta para todos los componentes de biomasa, y los parámetros para cada componente de biomasa surge del misma análisis de datos con la ayuda de las variables dummy. Cunnia y Briggs (1985) definieron un procedimiento similar como armonización de las ecuaciones de los componentes de biomasa. Esto es, el procedimiento de la covarianza descrito aquí hace que las ecuaciones de los componentes de biomasa se comporten consistentemente con cada otra y nunca la biomasa de un compartimento menor es mayor a la del compartimento mayor.

La varianza total para los modelos aditivos [1] y [2] fueron determinados desde las ecuaciones [12] y [13], como sigue:

$$[12] \quad \text{Var}(\hat{y}_{\text{total}}) = \sum_{i=1}^k \text{Var}(\hat{y}_i)$$

$$[13] \quad \text{Var}(\hat{y}_{\text{total}}) = \sum_{i=1}^k \text{Var}(\hat{y}_i) + 2 \sum_{i < j} \text{Cov}(\hat{y}_i, \hat{y}_j)$$

Donde: var=varianza, cov=covarianza.

La evaluación de la bondad de ajuste y la comparación de alternativas de los procedimientos aditivos y ecuaciones de aditividad se realizaron por seis estadísticos: el índice de ajuste o coeficiente de determinación (r^2), el error estandar (S_x), el coeficiente de variación (CV), el índice de Furnival (FI), el error estandar porcentual ($S(\%)$), y el error porcentual (Pe). Las bondad de ajuste de las ecuaciones son reportadas en [14], [15], [16], [17], [18], y [19]:

$$[14] \quad r^2 = 1 - (\text{RSS}/\text{TSS}) \quad \text{RSS} = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad \text{TSS} = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad \bar{Y} = \left[\sum_{i=1}^n y_i \right] / n$$

$$[15] \quad S_x = \sqrt{\text{RSS}/(n-p)}$$

$$[16] \quad \text{CV} = (S_x / \bar{Y}) * 100$$

$$[17] \quad \text{FI} = [f'(Y)]^{-1} * \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / n - p}$$

$$[18] \quad S(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i / \hat{Y}_i|$$

$$[19] \quad \text{Pe} = \left[\frac{(196)^2}{\chi^2_{(n-p)}} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{\hat{Y}_i}{Y_i} - 1 \right\}^2 \right]^{1/2} \quad \chi^2_{(v)} = 0.853 + v + 1.645(2v-1)^{1/2}$$

Donde: n = número de observaciones, \hat{Y}_i = biomasa total estimada (kg), Y_i = biomasa total observada (kg), p = número de coeficientes o parámetros estadísticos estimados, v = n-p-1; f' = una función de.

Estas estadísticas fueron estimadas solo para la biomasa total, en lugar de para cada componente de biomasa por separado. Los estadísticos de bondad de ajuste de los modelos transformados al logaritmo no posee estadísticos de bondad de ajuste compatibles, con la

excepción de el índice Furnival. Parresol (1999) y Cunia y Briggs (1985) sugieren un factor de corrección cuando se empleen transformaciones en datos de biomasa. En este reporte, cuando las variables fueron transformadas, primeramente los parámetros fueron estimados con el procedimiento de transformación logarítmica y entonces las ecuaciones fueron usadas para obtener las unidades originales de la biomasa total. Finalmente las estadísticas fueron estimadas con la biomasa total observada y biomasa total estimada en unidades convencionales. Las técnicas de cuadrados mínimos en no lineal, linear, regresión múltiple, regresión múltiple con variables dummy, y sistema linear de ecuación procedimiento fue usado para el cómputo de parámetros. El método de Marquardt en SÁS fue empleado en el procedimiento no lineal. El sistema de ecuaciones aditivas de la biomasa total aérea estima por el cálculo de cada componente de biomasa de cada arbusto, grupos de arbustos o el total de los arbustos. Esta serie de ecuaciones siguen las metodologías de Burkhardt y Sprintz (1984), Cunia y Briggs (1984), Cunia y Briggs (1985), Green y Reed (1985), Reed y Green (1985), y Parresol (1999).

La comparación entre los procedimientos aditivos fueron realizados para evaluar la eficiencia en la estimación de biomasa total. Los procedimientos aditivos [1] y [2] fueron trabajados en tres y cuatro diferentes formas, respectivamente. Por lo tanto, los promedios fueron estimados para los estadísticos de bondad de ajuste y biomasa total. La comparación entre las ecuaciones fue también enfocado a evaluar la bondad de ajuste. La comparación entre la biomasa total observada y estimada para cada una de las 37 parcelas fue también realizada. La comparación se hizo sobre los estadísticos de bondad de ajuste estimados para todas las 37 parcelas. La principales fuentes de variación fueron (1) total, estimada de la varianza total de la biomasa medida, (2) error, estimado de la varianza total del error, calculado de la desviación cuadrática entre la biomasa medidas y estimada total. Los estadísticos de bondad de ajuste fueron el coeficiente de determinación, r^2 , el error estándar, S_x , el coeficiente de variación, CV, el error porcentual, Pe, y el error estándar porcentual, S(%). Las ecuaciones de estos estadísticos fueron descritas anteriormente.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros ecológicos de las especies estudiadas. La distribución de los ecosistemas de Matorral Espinoso Tamaulipeco esta limitada a el noroeste por el desierto chihuahuense, a el oeste por el cadena montañosa de la Sierra Madre Oriental y al sur por el bosque tropical lluvioso en el cadena montañoso de la Sierra Azul en Tamaulipas, México (González, 1985). La frecuencia, dominancia, densidad y valor de importancia relativa el análisis de las 30 especies indicaron que *Prosopis glandulosa* es la especie dominante y la mas frecuente de todas las especies (Figura 1). Sin embargo, *P. glandulosa* fue encontrada solo en 11 parcelas colocados en la parte noreste de los estados de Coahuila y Tamaulipas. Esta especie se distribuye ampliamente en el Desierto Chihuahuense así como: *Cordia boissieri*, *Pithecellobium pallens*, *Acacia rigidula*, *Diospyros texana*, *Gochmatia hypoleuca*, *Acacia berlandieri* siguieron a *P. glandulosa* en importancia relativa. Estas especies están mas ampliamente distribuidas y son entonces mas representativas del Matorral Espinoso Tamaulipeco. Indicando que, algunas de las especies dominantes estuvieron distribuidas ampliamente en el este de Nuevo León por que pertenecen a mas grupos florísticos observados. Otras especies *C. boissieri*, *H. parvifolia*, y *G. hypoleuca* han sido previamente correlacionadas con un índice de cosecha por que tienen su importancia como maderable y para la producción de carbon (Reid *et al.*, 1990).

Componentes de biomasa para cada especie. El promedio de los componentes de la biomasa medida para los componentes hojas, ramas y fuste fue 8.7%, 64.5%, y 26.8%, respectivamente. En la escala de especies individuales, solo nueve especies tuvieron relación de hojas con la biomasa total mas del 10% (*A. madrensis*, *A. texana*, *B. myricaefolia*, *Croton spp.*, *G. hypoleuca*, *H. parvifolia*, *L. frutescens*, *P. angustifolia*, y *Z. obtusifolia*). Solo tres especies tuvieron relación ramas con la biomasa total arriba de 80% (*A. madrensis*, *F. angustifolia*, y *P. pallens*). Las especies que tuvieron el mas alto contenido de biomasa en hoja y rama también tuvieron la mayor biomasa fustal, menos del 10% de la biomasa total. Prado *et al.*, (1998) también observaron que las especies semi-áridas de Chile también poseen la mayoría de su biomasa en las ramas.

Ecuaciones para cada especie.

Comparación entre procedimientos aditivos. Los procedimientos aditivos tuvieron diferentes estadísticos de bondad de ajuste (Tablas 2-4). Existen algunas diferencias en los valores de los coeficientes estimados, r^2 , Sx, CV, FI, S(%), y Pe. El procedimiento [3], SUR, incrementó la eficiencia en la estimación de la biomasa total, sobre el promedio 48% y -4% en contraste a los procedimientos aditivos [1] y [2], respectivamente. En particular, el procedimiento SUR incrementó la eficiencia en la estimación de la biomasa total por 28% y 6% para valores de r^2 , 73% y 15% para valores de Sx, 63% y 23% para valores de CV, 75% y 10% para valores de FI, 97% y -22% para valores de el S(%), y -41% y -55% para valores de Pe, en contraste a los procedimientos [1] y [2], respectivamente. El procedimiento aditivo [2] fue el segundo en rango de bondad de ajuste estadístico, con un aumento global en eficiencia de 57% en contraste al procedimiento [1]. Una desventaja de los procedimientos [2] y [3] es que ellos usan como promedio de 133 parametros, mientras el procedimiento 1 usa solo 84 parametros para todas las 14 especies. Cuando se usan las ecuaciones de covarianza en el procedimiento [2], el número de parámetros a ser estimado se reduce a 115 para todas las 14 especies.-

Comparación entre ecuaciones. Las ecuaciones SUR y LCM de los procedimientos aditivos [3] y [2], respectivamente, incrementaron consistentemente la precisión en la estimación de la biomasa total se observa por el mejor promedio de bondad de estadísticos de ajuste para la $r^2=0.88$ y 0.86 , Sx= $3.4 \text{ kg arbusto}^{-1}$ y $3.4 \text{ kg arbusto}^{-1}$, CV= 38% y 38%, y FI= $3.4 \text{ kg arbusto}^{-1}$ y $3.4 \text{ kg arbusto}^{-1}$. Sin embargo, el SUR generó los valores mas altos de S(%)= 233 y de Pe= 77. SUR y LCM incrementaron la eficiencia en la estimación de parámetros en comparación al resto de las ecuaciones aplicadas por 10% en r^2 , 29% en Sx, 35% en CV, y por 33% en FI bondad de ajuste estadístico pero disminuyó la eficiencia en 11% por S(%), y 30% en Pe bondad de ajuste estadístico. En general, considerando todas estas estadísticas, el SUR y LCM incrementaron la eficiencia en la estimación de parámetros sobre el promedio por 11% en contraste al resto de las ecuaciones empleadas.

Las ecuaciones no lineales mostraron el promedio mas pequeño de r^2 (0.44), el mas alto promedio Sx ($6.8 \text{ kg arbusto}^{-1}$), el mas alto promedio CV (79%), el mas alto valor de FI (6.8 kg

arbusto⁻¹), el valor mas alto de S(%) (743), y uno de los mas altos valores de Pe (51). Las ecuaciones no lineales (SLR, MLSP, CLM) tuvieron el mejor ajuste de biomasa total de los datos de las las ecuaciones de log-transformados (LTP, MNSP, LCM) por que la anterior tuvo una valores mas altos de r^2 (0.81 and 0.74), valores mas pequeños de Sx (3.8 kg arbusto⁻¹ y 4.6 kg arbusto⁻¹), valores mas pequeños de de CV (42% y 56%), valores de FI con medias bajas (3.4 kg arbusto⁻¹ y 4.8 kg arbusto⁻¹), valores pequeños de los promedios de Pe (34 y 40) pero el mas alto promedio de valores de S (%) (299 y 114), respectivamente. Usando todas las bondades de ajuste estadístico, las funciones lineales de la estimación de parametros incremento la confiabilidad por 7% en comparación a las funciones de logaritmos transformados en la biomasa total. En particular, los procedimientos lineales incrementaron su r^2 por 8%, redujo el Sx por 21%, redujo el CV por 32%, redujo el FI por 26%, redujo el Pe por 16%, pero incrementó el S(%) por 62%.

La biomasa total observada y estimada para cada una de las 14 especies estan dadas en la Tabla 5. Las ecuaciones lineales (SLR, MLSP, y CLM) predicen la misma media biomasa total como unas de las observadas para todas las especies. El resto de los procedimientos para la estimación de la biomasa total, no tuvieron diferencias, sobre el promedio, por mas del 10.9% para cualquier ecuación desarrollada. En particular, las ecuaciones de logaritmos transformados (LTP, MNSP, y LCM) sesgaron el promedio de la biomasa total por 7.6% en contraste a la ecuación ONL o la SUR, los cuales sesgaron en el promedio la biomasa total en 4.4% y 1.2%, respectivamente (Tabla 5).

En particular, las ecuaciones LTP, MNSP, LCM, y SUR sesgaron la biomasa total para otras especies por 26%, 24%, 10%, y 0.6%, respectivamente. *P. pallens*, *P. glandulosa*, *H. parvifolia*, *A. berlandieri*, *C. pallida*, *F. angustifolia*, and *E. polystachia* tuvieron sesgos promedios cuando se emplearon estas ecuaciones en biomasa total(14.2%, 8.6%, 8.2%, 7.7%, 7.1, y 6.9%).

La variación de la biomasa total de este estudio se aproximó a 49,000 kg², de las cuales las ecuaciones explicaron un 75% del promedio. Promediando, solo dos especies explicaron en promedio la varianza por arriba de 90% de la varianza de la biomasa total (*F. angustifolia* y *P.*

glandulosa). Las ecuaciones no lineales aditivas explicaron sólo el 47% de la varianza de la biomasa total para la especie *H. parvifolia*. En contraste la varianza total explicada entre las ecuaciones, SLR, MLSP, MNSP, CLM, LCM, y SUR mostraron valores promedio por arriba del 75% de la variación total. La ecuación ONL solo explicó sobre el promedio un 44% de la variación total.

Ecuaciones para grupos de especies.

Comparación entre procedimientos aditivos. La estimación de la bondad de ajuste de los estadísticos para la biomasa total para cada grupo de especies usando las ocho ecuaciones de tres procedimientos aditivos de la estimación de parámetros están dados en la Tabla 6. Diferencias en los valores de los coeficientes estimados entre procedimientos de aditividad son observados. El procedimiento aditivo [3] incrementó consistentemente la precisión en la estimación de la biomasa total para los cuatro grupos de especies, observada por sus estadísticos de bondad de ajuste ($r^2=0.85$, $S_x= 3.7 \text{ kg arbusto}^{-1}$, $CV= 49\%$, $FI= 3.7 \text{ kg arbusto}^{-1}$, $S(\%)=35$, y $Pe=224$). El procedimiento SUR incremento la eficiencia en la estimación de parámetros en comparación al resto de las ecuaciones aplicadas por 18% en r^2 , 33% en S_x , 31% en CV , 27% en FI , 61% en $S(\%)$, y por 76% en valores de Pe . En general, el procedimiento [3] incrementó la eficiencia en los parámetros estimados sobre el promedio por 68% y 17% en contraste a los procedimientos [1] y [2], respectivamente. El procedimiento [2] también incrementó la eficiencia en la biomasa total estimada en un 59% en contraste al procedimiento [1].

Los procedimientos aditivos resultaron en diferentes valores de biomasa total estimada, con excepción de las ecuaciones aditivas lineales (Tabla 6). En general, los procedimientos [1] y [2] se desviaron por 4.1% y 5.2% de la biomasa total observada. En el grupo de especies, los procedimientos [1] y [2] se desviaron mas de la biomasa observada al estimar la biomasa total para los grupos 4 (11.7%) y 3 (11.3%). A escala de ecuaciones, las ecuaciones lineales (SLR, MLSP, y CLM) producen biomasa estimada insesgada para los cuatro grupos de especies mientras que las ecuaciones de logaritmos transformados sesgaron la mayor parte de la biomasa total estimada (LTP=15.4%, MNSP=10.1%, y LCM=7.4%).

Ecuaciones simples para todas las especies.

Comparación entre procedimientos aditivos. Los estadísticos de bondad de ajuste estimados para la biomasa total para todas las especies usando las ocho ecuaciones de tres procedimientos aditivos de de la estimación de parámetros están dados en la Tabla 7. Diferencias notorias se observan en los estadísticos de bondad de ajuste entre los procedimientos de aditividad. El procedimiento [3] incrementó consistentemente la precisión en la estimación de la biomasa total para todas las especies, observadas por los estadísticos de bondad de ajuste ($r^2=0.84$, $S_x= 4.2$ kg arbusto⁻¹, $CV= 44.9\%$, $FI= 4.2$ kg arbusto⁻¹, $S(\%)=38$, y $Pe=289$). El procedimiento SUR incrementó la eficiencia en la estimación de parámetros en comparación al resto de las ecuaciones aplicadas por un 19% en r^2 , 33% en S_x , 33% en CV , 32% en FI , 36% en $S(\%)$, y por 69% en valores de Pe . En general, el procedimiento [3] incrementó la eficiencia e la estimación de parámetros sobre el promedio por 30.8% y 8.0% en contraste a los procedimientos [1] y [2], respectivamente. El procedimiento [2] también incrementó la eficiencia en la biomasa estimada por 0.7% en contraste al procedimiento [1].

Los procedimientos aditivos resultaron en diferente biomasa total estimada, con la excepción de el procedimiento aditivo SUR (Tabla 7). Los procedimientos [1] y [2] se desviaron en un 3.1% y 5.0% de la biomasa total observada. En la ecuación individual, los metodos de regresión lineal (SLR, MLSP, CLM, y SUR) produjeron similares estimaciones de biomasa total. ONL, LTP, MNSP, y LCM desviaron las ecuaciones por 7.0%, 16.3%, 11.2%, y 8.8%, respectivamente. Por lo tanto, las ecuaciones transformadas influyeron en los resultados de la biomasa total estimada.

Las ecuaciones SUR y CLM de los procedimientos [3] y [2] proporcionaron la mejor bondad de ajuste estadístico, incrementando la confiabilidad en la estimación de la biomasa. Para el grupo simple de especies, grupo de especies, y todas las especies. El procedimiento SUR incrementó la confiabilidad sobre la biomasa total estimada en contraste al procedimiento CLM con amplia muestra de datos dados por la biomasa total. Por ejemplo, el procedimiento SUR tuvo la mejor bondad de ajuste para *C. hookeri*, *C. boissieri*, *D. texana*, *F. angustifolia*, *H. parvifolia*, y los otros grupos de especies. Estas especies tienen una biomasa promedio de 493.2 kg, y en

número promedio de arbustos observados por especie fueron 46. Sobre el otro trabajo, el procedimiento CLM aumentó la bondad de ajuste estadístico en las especies *A. berlandieri*, *A. farnesiana*, *A. rigidula*, *C. pallida*, y *P. pallens*. Estas especies tienen una biomasa promedio de 324 kg, y un número promedio de arbustos estudiados por especies de 39. A nivel de especies, el procedimiento SUR proporcionó el mejor ajuste e los grupos de especies 1 y 2 mientras CLM no lo hizo para los grupos de especies 3 y 4. La ecuación SUR para todas las especies también resultó ser mas eficiente que la ecuación CLM.

Las ecuaciones SUR y CLM de los procedimientos [3] y [2] resultaron en la mejor bondad de ajuste estadístico y produjo poca desviación y consistencia en la biomasa total estimada. Sin embargo, la ecuación CLM presenta deficiencias en la estimación de la biomasa foliar de varias especies (*A. farnesiana*, *C. pallida*, *E. polystachia*, *F. angustifolia*, y *G. hypoleuca*) por predicción de valores constantes dados por la intercepta de la ecuación. Esta delicadeza de la ecuación CLM fue notada primariamente en especies que tenían la mas pequeña biomasa foliar relative en sus componentes. La ecuación SUR del procedimiento [3] fue consistente el que estimó los componentes de biomasa dentro del promedio la bondad de ajuste estadístico mostrada para la biomasa total.

El promedio de la biomasa estimada no cambió estadísticamente entre ecuaciones a diferentes escalas contrario a los parámetros de bondad de ajuste estadístico. Adicionando mas especies dentro de la ecuación (i.e grupos de especies o todas las especies), la bondad de los estadísticos de ajuste redujo la confiabilidad en la biomasa total estimada por que incrementó la variación de la biomasa total. Aunque el número total de parámetros estimados se redujo con el incremento del número de especies dentro de las ecuaciones, esta estrategia matemática no compensó para el incremento de la variación de la biomasa total. La bondad de los estadísticos de ajuste para la ecuación SUR no cambió significativamente cuando fueron estimadas de las ecuaciones para cada grupo de especies ($S_x=3.67$ kg y $CV=48.8$) o para todas las especies ($S_x=4.22$ kg y $CV=44.8$), en contraste a los promedios estadísticos para cada especie ($S_x=3.4$ kg y $CV=38.0$). Por lo tanto, los inventarios de biomasa en el matorral espinoso tamaulipeco del noreste de Mexico que requieren incremento de la precisión deben usar ecuaciones simples

(Tabla 7). Cuando muchas aproximaciones son requeridas sobre los componentes de biomasa o total una ecuación simple (Tabla 8) incrementará el coeficiente de variación por un 18% cuando se usa la ecuación SUR.

Comparación entre biomasa total observada y estimada para las 37 parcelas.

La biomasa total observada y estimada para cada especie, grupo de especies, y para el total de las especies son reportadas en las Tablas 9-11. El promedio total observado de la biomasa aérea fue $38.28 \pm 4.86 \text{ Mg ha}^{-1}$, de las cuales $2.35 \pm 0.34 \text{ Mg ha}^{-1}$, $24.89 \pm 3.29 \text{ Mg ha}^{-1}$, y $11.04 \pm 2.20 \text{ Mg ha}^{-1}$ pertenecen a hojas, ramas y componentes del fuste, respectivamente. La variación espacial de los componentes de la biomasa medida fue bastante grande, con un rango de 13.80 Mg ha^{-1} a 74.50 Mg ha^{-1} de la biomasa total aérea. La biomasa foliar estuvo en un rango de 0.51 Mg ha^{-1} a 4.92 Mg ha^{-1} . La biomasa de ramas presentó un alto rango de biomasa desde 10.62 Mg ha^{-1} a 57.11 Mg ha^{-1} . El rango de la biomasa fustal estuvo desde 1.28 Mg ha^{-1} a 29.20 Mg ha^{-1} . Los porcentajes de la biomasa aérea total de hojas, ramas, y fustes fue desde 6.14, 65.02, y 28.84%. Esto es, las especies de este ecosistema tienen más biomasa en ramas y mucho menos en hojas.

El promedio de la biomasa total aérea estimada y observada no diferió estadísticamente entre procedimientos aditivos o ecuaciones de aditividad para cada especie, grupos de especies, y para todas las especies. Cuando se usa una ecuación simple para cada especie (Tabla 9), el promedio de la biomasa aérea fue subestimado por 4.30 Mg ha^{-1} o por 11.23%, cuando se usa el procedimiento aditivo [1] y ecuaciones lineales de logaritmos transformados. La ecuación no relacionada del procedimiento [3] sobrestimó la biomasa total por 0.10 Mg ha^{-1} o por 0.10%. Cuando se usan cuatro ecuaciones para estimar la biomasa total, una para cada grupo de especies (Tabla 10), la ecuación lineal de transformación logarítmica del procedimiento [1] también subestimó la biomasa promedio por un 6.75 Mg ha^{-1} o por 17.63%. La ecuación SUR del procedimiento aditivo [3] tuvo también el mejor promedio de la biomasa total estimada puesto que es sobreestimada por solo 0.17 Mg ha^{-1} o por 0.17%. Cuando se usa una ecuación simple para todas las especies (Tabla 11), la ecuación lineal con transformaciones logarítmicas del procedimiento aditivo [1] de nuevo subestima la biomasa promedio por 7.11 Mg ha^{-1} o por

18.57%. La ecuación múltiple lineal de la ecuación stepwise del procedimiento aditivo tuvo el mejor promedio de biomasa estimada con un sesgo de 0.10 Mg ha^{-1} o por 0.26%. la ecuación SUR del procedimiento [3] tuvo uno de los mejores promedios totales con una desviación de 0.66 Mg ha^{-1} o 1.72%.

Los estadísticos de bondad de ajuste a escala de la parcela se presentan en la Tabla 12. Las ecuaciones de biomasa total tuvieron diferentes valores en los coeficientes. Usando la ecuación simple para cada especie, y cuando se comparan los procedimientos por los promedios de sus coeficientes a los procedimientos, la ecuación SUR del procedimiento [3] incrementa la eficiencia en estimaciones sobre el promedio por 57% y por 20% en comparación a los modelos aditivos [1] y [2], respectivamente. En particular el r^2 aumentó cuando se usó el procedimiento SUR por 19% y 5%, el Sx por 61% y 22%, el CV por 61% y 21%, el S(%) por 72% y 26%, y la Pe por 72% y 26%, en comparación a los procedimientos [1] y [2], respectivamente.

La ecuación SUR del procedimiento [3] también mejoró la bondad de ajuste de los coeficientes la confiabilidad en la estimación de la biomasa, cuando se usan cuatro ecuaciones, una para cada grupo de especies. El promedio de incremento en eficiencia fue 64% y 33% en comparación a los procedimientos aditivos [1] y [2], respectivamente. En particular, El procedimiento SUR aumentó la r^2 por 24% y 13%, el Sx por 63% y 38%, el CV por 63% y 37%, el S(%) por 84% y 40%, y el Pe por 84% y 40%, en comparación a los procedimientos aditivos [1] y [2], respectivamente.

La ecuación SUR del procedimiento [3] también aumentó la bondad de ajuste estadístico e incrementó la eficiencia en la estimación de la biomasa cuando se usa una ecuación aditiva simple para todas las especies observadas por 39% y 17% en contraste a los procedimientos aditivos [1] y [2], respectivamente. La r^2 aumentó por 16% y 7%, el Sx por 29% y 13%, el CV por 29% y 13%, el S(%) por 61% y 16%, y el Pe por 61% y 26% usando la ecuación SUR del procedimiento aditivo [3], en contraste a los procedimientos aditivos [1] y [2], respectivamente.

En general, la ecuación SUR del procedimiento aditivo [3] mejora el ajuste de la biomasa estimada e incrementó la eficiencia en la estimación de la biomasa usando las tres diferentes

series de ecuaciones. Esta tendencia es más importante cuando se usa una ecuación simple y una serie de cuatro ecuaciones para todos los cuatro grupos de especies. La ecuación lineal múltiple del procedimiento aditivo [2] mejora el ajuste de datos de biomasa a escala de la parcela cuando se usa una ecuación simple para todas las especies. La ecuación con transformaciones logarítmicas de los procedimientos aditivos [1] y [2] tuvo la peor bondad de ajuste estadístico así como la peor estimación de biomasa.

El procedimiento aditivo [1] de este estudio fue trabajado sobre tres diferentes funciones de regresión (procedimientos no lineal, lineal y log-transformados) y empleó dos diferentes bondades de estimación de parámetros (cuadrados mínimos no lineales y cuadrados mínimos lineales). Por lo tanto, tiene la ventaja de que una puede usar funciones de regresión de cualquier forma y los procedimientos de estimación de cualquier método para construir tablas de biomasa de cada componente. Cunia y Briggs (1984) mencionan que la mayor desventaja del procedimiento aditivo [1] es que información sobre la confiabilidad de las tablas de biomasa no pueden ser fácilmente derivadas desde estos requerimientos. Parresol (1999) señaló fuera que el uso del mismo predictor de variables en todos los componentes las ecuaciones permiten la posibilidad real de multicolinealidad, la cual puede causar inestabilidad en la estimación de parámetros y aumentar el error estándar. Este fue el caso para varias especies para varios componentes.

El procedimiento aditivo [2] tiene problemas de multicolinealidad porque no reúne la suposición de independencia sugerida por Cunia y Briggs (1985). Esto es, los componentes de biomasa de todas las especies estuvieron todas estadísticamente correlacionadas ($p=0.05$) a escala de especies, a escala de grupos de especies, y a escala de todas las especies. Por lo tanto, la independencia estadística de los componentes de biomasa deben ser asumidos al desarrollar tablas de biomasa usando el modelo múltiple lineal stepwise, como lo sugieren Chiyenda y Kozak (1984). Esta suposición puede ser engañosa al aplicar la regresión generalizada de cuadrados mínimos, SUR, con simulación de variables (Cunia and Briggs, 1985), o en procedimiento syslin (Parresol, 1999). La regresión no relacionada del procedimiento [3] es una extensión de los procedimientos aditivos [1] y [2], y ha sido ampliamente recomendada por que es más flexible y

se toma en cuenta para dependencias estadísticas entre muestra de datos (Cunina and Briggs, 1985; Parresol, 1999). Sin embargo, fue el método más difícil de aditividad calculado en este análisis, y las predicciones mas allá de las características de los arbustos usados para estimar parámetros son inciertos (Cunina and Briggs, 1984).

La ecuación de regresión de covarianza, CLM, aplicada en esta investigación es una mejoría del procedimiento de armonización propuesto por Cunina y Briggs (1985) porque incluye solo una *intercepta* y el sistema de ecuaciones emerge del conjunto de datos simultáneamente. La desventaja de este procedimiento es que no contempla las correlaciones contemporáneas entre componentes de biomasa y sesga las estimaciones de los componentes con la menor importancia relativa; i.e biomasa foliar.

En general, las ecuaciones individuales no aditivas desarrolladas en regresiones no lineal, lineal o regresión múltiple aumentan las estimaciones de biomasa total para más especies (Parresol, 1999; Návar *et al.*, 2001). La pérdida de eficiencia en la estimación de biomasa cuando se usan modelos aditivos ha sido discutida en términos de reducir el número de parámetros estimados para especies simples, Parresol (1999) y Reed y Green (1985), así como para varias especies arbustivas por Návar *et al.* (2001). En general, las ecuaciones no aditivas han sido desarrolladas para estimar la biomasa total (Deans *et al.*, 1996; Brown *et al.*, 1989) e información es perdida porque los componentes de biomasa son generalmente medidos por separado. En otros estudios, la estimación individual de los componentes de biomasa se realiza con métodos no aditivos (Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997) y pueden resultar en problemas de multicolinealidad, con coeficientes inestables, y no explora la ventaja de este sistema de regresión lineal. Otras formas de ecuaciones no aditivas para estimar la biomasa total incluye el uso de ecuaciones de tipo no lineal, transformados al logaritmo y ecuaciones polinomiales (Ter-Mikaelian and Korzukhin, 1997; Deans *et al.*, 1996; Brown *et al.*, 1989), donde el diámetro a la altura del pecho es la variable independiente mas común. Para nuestros arbustos estudiados del matorral espinoso tamaulipeco este tipo de ecuaciones resultó en sesgo de la biomasa total estimada, así como con la peor bondad de ajuste estadístico. Otras ecuaciones incluyen la variable

compuesta del diámetro a la altura del pecho, DBH, y altura total, H, DBH^2H , densidad de la madera y la zona de vida de Holdridge como los parámetros explicatorios (Brown *et al.*, 1989).

El procedimiento SUR satisface las características de las propiedades de la biomasa; i.e. la biomasa total es dividida dentro de pequeños compartimentos (fuste, raíz, hojas, etc) y fuste es dividido dentro de pequeños compartimentos (corteza, madera, ramas, etc). La ventaja de usar ecuaciones aditivas para estimar componentes de biomasa y biomasa total incluye (a) la suma de los componentes para la predicción de la biomasa total, (b) los coeficientes son mas consistentes, y (c) los compartimentos simples de biomasa no son estimados mas allá de la biomasa total (Cunia and Briggs, 1984; Parresol, 1999). Por otro lado, hay una necesidad de estimar los compartimentos de biomasa para entender otras variables medio ambientales relacionados con la productividad y valor económico. Varios modelos, i.e. el CO_2 fix, requiere estimar las proporciones relativas de los componentes de la biomasa. El manejo del suelo requiere estimaciones precisas y consistentes de madera para combustible, dados por ramas y biomasa del fuste, y la capacidad de carga, dados por la palatabilidad de la biomasa de las hojas. Los forestales requieren estimaciones precisas de ramas y biomasa fustal para estimación de madera para combustible, producción de pulpa, y estudios de productividad.

En este estudio el procedimiento aditivo [3], usando el procedimiento syslin de estimación de parámetros es recomendado para estimar componentes de biomasa y biomasa total para especies simples, grupos de especies, y para todas las especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México. Las ecuaciones proporcionadas en este reporte pueden ser aplicadas a especies arbustivas con las características generales reportadas en la Tabla 1. Esta serie de ecuaciones cuando sean utilizadas para estimar la biomasa aerea varias fuentes de error deben ser consideradas. Estas fuentes son: (a) el componente debido a la selección aleatoria de la unidad de muestra (b) el error de la regresión de la biomasa. Woods *et al.* (1991) y Parresol (1999) señalan que fuera de la anterior esta es una función del diseño de muestreo, el tamaño de la muestra, el tipo de estimador usado, y la variación inherente entre las unidades de muestreo. La exploración de las fuentes de error es el centro de atención de un compañero de trabajo (Návar *et al.* En prep.).

CONCLUSIONES

Se desarrollaron ecuaciones para estimar biomasa aérea para especies individuales, grupos de especies, y todas las especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México. Las ecuaciones fueron desarrolladas usando procedimientos aditivos en regresiones lineales, no lineales, múltiples, covarianza y en regresión lineal generalizada. Las ecuaciones desarrolladas por este último procedimiento proporcionan mejor confiabilidad en la estimación de la biomasa total. Por lo tanto, son recomendadas para estimar componentes de biomasa y total para las especies descritas. Estas ecuaciones pueden ser usadas en bosques en inventarios de biomasa del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México por que fueron desarrolladas con datos colectados de parcelas discretos cubriendo un amplio rango de condiciones.

RECONOCIMIENTOS

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACyT, y el Programa de Apoyo para la Ciencia y la Tecnología, PAICYT, financiaron este proyecto a través de los convenios 28536-B y CN 323-00, respectivamente.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS

- Agee, J.K. 1983. Field weights of understory-grown conifers in southern Oregon. *Can. J. For. Res.* 13: 648-656.
- 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>
- Aranda, R., R. Zamarripa, L. Rojas, G. Navarro, and J. Návar. 1998. Ordenamiento hidrológico de la cuenca del río San Juan. In *ninth US/Mexico Border States Conference on Recreation, Parks, and Wildlife*. USDA For. Ser. RMRS-P5. Tucson, Arizona.
- Bhatti, J.S., N.W., Foster, T. Oja, M.H. Moayeri, and P.A. Arp. 1998. Modelling potentially sustainable biomass productivity in jack pine forest stands. *Canadian Journal of Soil Science* 78: 105-113.
- Brown, S. 1997. Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. In *Actas del XI Congreso Mundial Forestal: Recursos Forestales y Árboles*. Vol 1. Antalya Turkia 13-22 October of 1997.
- 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.
- 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.
- Burkhart, H.E. and P.T. Sprinz. 1984. Compatible cubic volume and basal area projection equations for thinned old-field loblolly pine plantations. *For. Sci.* 30: 86-93.
- Chiyenda, S.S. and A. Kozak. 1984. Additivity of component biomass regression equations when the underlying model is linear. *Can. J. For. Res.* 14: 441-446.
- Cannel, M. G. 1996. Forests as carbon sinksmitigating the greenhouse effect. *Commonwealth Forestry Review* 75 (1): 92 – 99.
- Clair, J. B. 1993. Family Differences in Equations for Predicting Biomass and Leaf Area in Douglas – Fir (*Pseudotsuga menziessi* var. *menziessi*). *For. Sci.* 39 (4): 743 – 755.
- Clutter, J.L., J.C. Forston, L.V. Pienaar, G.H. Brister, and R.L. Bailey. 1983. *Timber management: A quantitative approach*. Wiley, New York. 333 p.

- Cotecoca-Sarh (Comisión Técnico Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1973. Coeficientes de agostadero de la República Mexicana, Edo. de N. L. México. D.F.
- Cunia, T., and R.D. Briggs. 1984. Forcing additivity of biomass tables – some empirical results. *Canadian Journal of Forest Research* 14: 376-384.
- Cunia, T., and R.D. Briggs. 1985. Forcing additivity of biomass tables – use of the generalized least-square method. *Canadian Journal of Forest Research* 15: 23-28.
- Deans, J. D., Moran, J. and Grace, J. 1996. Biomass relationships for tree species in regenerating semi-deciduous tropical moist forests in Cameroon. *Forest Ecology and Management* 88:215-225.
- Diamond, D., D. Riskind and S. Orzell. 1987. A framework for plant community classification conservation in Texas at Dallas. *Texas Journal of Science* 39:203-221.
- Dixon, R. K., S. Brown, R. A. Houghton, A. M. Solomon, M. C. Tiexler, and J. Wisniewski. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263, 185 – 190.
- ECOFRONTERAS. 1998. Proyecto piloto internacional para la captura de carbono. Scolel-té. Gaceta bimensual. ECOSUR. No. 5.
- El Kohen A. & M. Mousseau 1992. Changes in dry-weight and nitrogen partitioning induced by elevated CO₂ depend on soil nutrient availability in Sweet Chestnut. *Annals of Science* 49, 83-90
- FAO. 1994. El desafío de la ordenación forestal sostenible. Perspectivas de la silvicultura mundial. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 36 – 37 pp.
- Fuller, H., Z. Carothers, W. Payne and M. Balbach. 1974. Botánica. Quinta edición. Editorial Interamericana. 512 p
- Frandsen, W.H. 1983. Modelling big sagebrush as a fuel. *Journal of Range Management* 36: 596-600
- González, D. 1993. Productividad del matorral mediano subinermé bajo distintos tratamientos silvícolas. Tesis Profesional de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. U.A.N.L. Linares, N. L., México.

- González, M. 1985. El límite sur de la Provincia Biótica Tamaulipeca. II Simposio Internacional bre la Provincia Biótica Tamaulipeca UAT-UNAM 7 p.
- Hoffmann, C. W. And V. Usoltsev. 2000. Modelling root biomass distribution in *Pinus sylvestris* forests of the Turgai Depression of Kazakhstan. *For. Ecol. And Manage* 149: 103-114.
- Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Forest Ecology and Management* Vol (15), (2) 56 – 61.
- Green, E.J. and D.D. Reed. 1985. Compatible tree volume and taper equations for pitch pine. *rth. J. Appl. For.* 2: 14-16.
- Harniss, R.O., and R.B. Murray. 1976. Reducing bias in dry leaf weight estimates of big sagebrush. *Journal of Range Management* 29: 430-432.
- Houghton, R.A. 1991. Tropical deforestation and carbon dioxide. *Climate Change* 19: 99-118.
- Jenkins, J.C., R.A. Birdsey, and Y. Pan. 2001. Biomass and NPP estimation for the mid-atlantic region (USA) using plot-level forest inventory data. *Ecological Applications* 11: 1174-1193.
- Kie, J.G., and M. White. 1985. Population-dynamics of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) on the Welder wildlife refuge, Texas. *Southwestern Naturalist* 30: 105-118.
- Kyrklund, B. 1990. Cómo pueden contribuir los bosques y las industrias forestales a reducir el exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera. *Unasylva* 163 Vol 41 12-14.
- Maclaren, J. P. 1996. New Zeland's planted forests as carbon sinks. *Commonwealth Forestry Review* 75 (1): 100-103.
- Mákelá: A. 1997. A carbon balance model of growth and self-pruning in tree based on structural relationships. *Forest Science* 43: 7-24.
- Manzano, M.G., and Návar, J. 2000. Processes of desertification by goats overgrazing in the tamaulipan thornscrub (matorral) in north-eastern Mexico. *Journal of Arid Environments* 44: 1-17.
- 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.

- Marland, G., B. Schlamadinger, and P. Leiby. 1997. Forest/biomass based mitigation strategies: Does the timing of carbon reduction matter?. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 27: S213-S226.
- 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.
- Marklund, L. 1983. Collecting data for biomass equation development: some methodological aspects. *Mesures des biomasses et des accroissements forestiers. Les Colloques de l'INRA Orleans, France* 19: 37-43.
- Mery, G., M. Kanninen. 1998. Las plantaciones forestales y el secuestro de carbono en Chile. *Primer Congreso Latinoamericano IUFRO Valdivia Chile 1998*. 14p.
- Mohren, F. 1994. CO₂ Fix Model. Institute of Forestry and Nature Research. Wageningen, Netherlands.
- Monserud, R.; A. Onuchin and N. Tchepakova. 1996. Needle, crown, stem and root phytomass of *Pinus silvestris* stands in Russia. *For. Ecol. Manage.* 82: 59-67.
- Monserud, R., A. Onuchin, and N. Tchepakova. 1996. Needle, crown, stem, and root phytomass of *Pinus silvestris* stands in Russia. *Forest Ecology and Management* 82: 59-67.
- Murray, R.B, and M.Q. Jacobson. 1982. An evaluation of dimension analysis for predicting shrub biomass. *J. of Range Management* 35: 451-454.
- Nájera, J. A. 1999. 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 Profesional de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. U.A.N.L. 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. Ed. C. Pola, J.A. Ramírez F., M.M. Rangel y I. Navarro-L. NANL. Linares, N. L. México.*
- Návar, J., Charles, F. and Jurado, E. 1999. Spatial variations of interception loss components by Tamaulipan thornscrub in northeastern Mexico. *Forest Ecology and Management* 124: 231-239.

- Návar, J. 1999. Agua y desarrollo sustentable en la cuenca baja de los ríos Bravo y San Juan. *Ciencia UANL* 2: 356-362.
- Návar, J., J. Nájera, E. Jurado, and P.A. Dominguez. 2001. Biomass estimation equations in the Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. In Press in *Journal of Arid Environments*.
- Návar, J., and T.J. Synnott. 2001. Soil erosion and land use in northeastern Mexico. *Terra* 18: 247-253.
- Norby R. J.; Gunderson C. A. & Johnson D. W. (1999) Tree responses to rising CO₂ in field experiments: implication for future forests. *Plant, Cell and Environment* 22, 683-714.
- Ordóñez, A. y Masera, O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y bosques* 7 (1), 3 –12.
- Panhwar, F. 1996. Conserving, Agro- Forestry Is The Solution Of Future Global-Warming And Biodiversity Sindh A Case.
- Parresol, B. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *For. Sci.* 45: 573-593.
- 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.
- Reed, D. and Green, E.J. 1985. A method of forcing additivity of biomass tables when using nonlinear models. *Can. J. For. Res.* 15: 1184-1187.
- 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. *Forest Ecology and Management* 36: 61-79.
- Rizzo. 2000. Contribution of increasing CO₂ and climate to carbon storage by ecosystems in the United States. *Science* 287: 2004-2006.
- Romero, F.G. 1999. Caracterización ecológica y definición de esquemas de muestreo en el matorral espinoso tamaulipeco del nordeste de México. Tesis Profesional de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias Forestales. UANL. Linares, N.L., México.
- Sedjo, R. 1990. The global carbon cycle . *Journal of Forestry* 88, 33 – 34.

- Schimel, D., J. Mellillo, H.Q. Tian, A.D., McGuire, D. Kicklighter, T. Kittel, N. Rosenbloom, S. Running, P. Thornton, D. Ojima, W. Parton, R. Kelly, M. Sykes, R. Neilson, and B. 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.
- 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.
- 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.
- Solomon A. M. & Shugart H. H. 1993. *Vegetation Dynamics and Global Change*. Chapman & Hall, New York, USA.
- SPP. 1981. Carta de climas. Esc. 1:1'000,000, Hoja Monterrey, Tipos de climas según Koeppen, modificado por García. Secretaría de Programación y Presupuesto. México.
- Ter-Mikaelian, M.T. and Korzukhin, M.D. 1997. Biomass equations for sixty five North American tree species. *Forest Ecology and Management* 97: 1-24.
- Tipper, R.; B. De Hong. 1998. Cuantificación and regulación of carbon offsets from forestry: Comparison of alternative methodologies, with special inference to Chiapas, México. *Q Commonwealth Forestry Review* 77 (3), 219-228.
- Tipper, R. 1996. Hacia un Programa Nacional de Captura de Carbono y Desarrollo Agro-forestal. Documento de Trabajo Versión 1.2
- Vora, R.S. 1988. Predicting biomass of 5 shrub species in northeastern California. *Journal of Range Management* 41: 63-65.
- Woods, K.D., A.H., Feiveson, and D.B., Botkin. 1991. Statistical analysis for biomass density and leaf-area index estimation. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 974-989.

Tabla 1. Características de las especies del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México usadas para ajustar ecuaciones aditivas de biomasa.

Clave/Especie	N	Diámetro basal (cm)		Altura total (m)		Cobertura de copa (m ²)	
		Promedio	Desvest	Promedio	Desvest	Promedio	Desvest
1/ <i>Acacia berlandieri</i>	41	7.17	2.81	4.13	1.47	2.97	3.33
2/ <i>Acacia farnesiana</i>	15	7.23	2.99	4.31	1.38	1.25	0.90
3/ <i>Acacia rigidula</i>	56	5.47	2.69	2.94	1.08	1.54	1.57
4/ <i>Celtis pallida</i>	20	4.84	2.13	4.36	1.29	1.79	2.20
5/ <i>Condalia hookeri</i>	24	6.22	3.54	3.63	1.20	1.23	0.94
6/ <i>Cordia boissieri</i>	53	9.82	3.25	3.56	0.83	4.21	2.80
7/ <i>Diospyros texana</i>	42	9.19	5.33	4.06	0.85	3.46	3.58
8/ <i>Eysenhardia polystachya</i>	30	5.43	3.22	3.95	1.66	0.89	0.94
9/ <i>Forestiera angustifolia</i>	14	2.54	1.97	2.20	0.34	1.15	1.32
10/ <i>Gochnatia hypoleuca</i>	24	8.49	5.13	3.11	0.85	2.76	2.67
11/ <i>Helietta parvifolia</i>	35	7.20	3.02	3.84	0.96	1.51	1.44
12/ <i>Otras especies</i>	82	4.06	3.13	2.46	1.68	1.95	3.06
13/ <i>Pithecellobium pallens</i>	63	7.29	3.58	4.44	1.42	3.20	3.23
14/ <i>Prosopis glandulosa</i>	37	10.61	6.42	3.02	1.05	6.00	6.27
Promedio	38	6.83	3.51	3.57	1.15	2.42	2.45

Otras especies = *Croton*. spp., *Z. fagara*, *Z. obtusifolia*, *Randia*. rhag, *L. frutescens*, *K. humboldtiana*, *B. myricaefolia*, *C. gallina*, *P. angustifolia*.

Tabla 2. Estadísticos de bondad de ajuste para ocho ecuaciones aditivas de biomasa para especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México usando el número de especies proporcionadas en la Tabla 1.

No Especies	Estadísticos de bondad de ajuste															
	Índice de ajuste (%)								Error Estandar (kg)							
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
1	24	71	59	78	73	78	75	77	6.2	3.8	4.5	3.4	3.9	3.3	3.6	3.6
2	24	91	89	97	98	98	96	98	11.5	4.0	4.4	2.6	2.2	2.3	2.8	2.6
3	35	59	59	69	57	69	56	70	4.8	3.8	3.8	3.4	3.9	3.3	4.0	3.5
4	29	83	76	86	82	86	86	85	6.2	3.0	3.7	2.9	4.1	2.7	2.8	3.0
5	35	88	87	93	90	93	93	95	7.8	3.4	3.4	3.3	3.5	2.8	3.0	2.4
6	20	66	64	77	75	77	75	83	9.4	6.1	6.3	5.3	5.5	5.2	5.5	4.5
7	56	62	66	84	87	84	85	88	9.7	9.1	8.5	6.1	5.9	6.1	6.1	5.7
8	27	92	84	93	75	92	89	95	5.2	1.8	2.5	1.9	3.4	1.7	2.2	1.7
9	96	96	90	96	83	96	92	99	1.4	1.4	2.2	1.4	3.7	1.2	2.0	0.9
10	72	71	4	83	74	83	73	84	7.3	7.4	13.5	5.9	7.5	5.7	7.8	5.7
11	18	44	42	59	57	54	37	68	6.9	5.7	5.8	5.0	5.3	5.0	6.2	4.7
12	41	93	82	96	76	95	68	97	6.9	2.3	3.8	1.8	4.6	2.0	5.2	1.7
13	43	45	51	73	71	72	73	66	5.0	4.9	4.6	3.6	3.6	3.5	3.5	4.1
14	87	87	86	97	94	97	94	98	7.0	6.9	7.2	3.3	4.9	3.2	4.5	3.0
Xp	44	75	67	84	78	84	78	86	6.8	4.5	5.3	3.6	4.4	3.4	4.2	3.4
SD	25	18	24	12	12	13	17	12	2.4	2.3	2.9	1.5	1.3	1.5	1.7	1.5

E1=no lineal; e2=lineal; e3=log; e4=Step Lin; e5=Step Log; e6=Cov Lin; e7=cov Log; e8=SUR.

Tabla 3. Estadísticos de bondad de ajuste para seis ecuaciones aditivas de biomasa para especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México usando el número de especies proporcionadas en la Tabla 1.

No Especies	Estadísticos de bondad de ajuste															
	Coeficiente de Variación (%)								Índice Fumival (kg)							
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
1	60	37	44	34	38	33	35	35	6.2	3.8	5.4	3.4	5.7	3.3	1.0	3.6
2	101	35	38	23	19	20	25	23	11.5	4.0	9.2	2.6	9.9	2.3	0.6	2.6
3	73	57	58	52	59	50	61	53	4.8	3.8	4.9	3.4	5.0	3.3	0.5	3.5
4	106	52	63	49	70	46	47	51	6.2	3.0	4.5	2.9	6.5	2.7	0.5	3.0
5	90	39	40	38	40	32	35	28	7.8	3.4	7.6	3.3	9.0	2.8	0.8	2.4
6	68	45	46	39	40	38	40	33	9.4	6.1	8.3	5.3	8.7	5.2	1.2	4.5
7	62	58	54	39	37	39	39	36	9.7	9.1	7.4	6.1	9.2	6.1	1.4	5.7
8	108	37	51	40	71	36	45	38	5.2	1.8	4.4	1.9	5.0	1.7	0.6	1.7
9	46	46	75	46	124	41	69	29	1.4	1.4	4.5	1.4	4.9	1.2	0.5	0.9
10	62	63	115	50	64	48	66	48	7.3	7.4	8.0	5.9	8.5	5.7	1.1	5.7
11	74	62	63	54	57	54	66	51	6.9	5.7	4.9	5.0	5.3	5.0	0.7	4.7
12	157	52	86	41	103	44	118	39	6.9	2.3	3.6	1.8	3.7	2.0	0.7	1.7
13	58	57	54	42	42	41	41	47	5.0	4.9	6.5	3.6	6.7	3.5	1.1	4.1
14	38	38	39	18	27	17	25	16	7.0	6.9	11.3	3.3	11.7	3.2	1.9	3.0
Prom	79	48	59	41	57	38	51	38	6.8	4.5	6.5	3.6	7.1	3.4	0.9	3.4
Desst a	31	10	21	10	29	10	24	11	2.4	2.3	2.2	1.5	2.4	1.5	0.4	1.5

E1=no lineal; e2=lineal; e3=log; e4=Step Lin; e5=Step Log; e6=Cov Lin; e7=cov Log; e8=SUR.

Tabla 4. Estadísticos de bondad de ajuste para seis ecuaciones aditivas de biomasa para las especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México usando el número de especies proporcionado en la Tabla 1.

No Especies	Estadísticos de bondad de ajuste															
	Porcentaje del Error Estandar (%)								Error Porcentual (%)							
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
1	184	99	61	74	55	64	52	85	38.9	28.5	36.5	24.5	28.2	24.4	30.1	26.2
2	1132	92	77	98	28	130	41	66	68.7	32.7	25.6	24.6	11.2	33.7	16.9	35.8
3	369	255	86	134	76	157	66	142	52.5	42.2	45.8	31.1	35.5	33.2	38.9	40.6
4	514	75	79	120	66	140	71	196	50.3	30.5	26.8	25.6	24.5	13.7	22.5	28.4
5	1009	169	72	260	56	197	74	141	65.5	41.2	45.4	33.4	28.4	9.9	26.8	55.8
6	946	185	94	94	61	106	61	95	53.0	32.6	37.3	19.2	27.8	40.6	28.8	206.8
7	204	161	77	62	61	62	67	69	39.5	33.9	42.5	24.5	28.0	23.1	33.0	30.9
8	597	159	90	129	82	146	82	127	62.2	35.8	47.0	38.0	37.1	33.2	39.6	36.0
9	289	226	180	226	224	208	206	214	45.1	52.9	60.5	52.9	40.1	52.9	51.3	83.7
10	2292	2593	381	1231	378	912	360	926	42.4	41.7	51.3	23.7	45.6	23.9	45.0	401.2
11	852	514	155	170	151	513	172	339	50.7	41.9	56.5	30.3	51.4	39.5	50.9	56.0
12	1092	530	211	414	179	388	159	411	63.2	66.7	86.2	45.1	77.8	49.2	97.2	11.8
13	367	387	83	179	75	136	78	153	45.1	43.2	45.5	7.9	36.7	40.6	39.1	35.7
14	547	592	60	81	54	99	51	104	38.4	34.3	27.4	25.9	24.4	26.4	25.5	22.2
Xp	743	431	122	234	110	233	110	219	51.1	39.9	45.3	31.3	35.5	31.8	39.0	76.5
SD	555	646	88	302	95	232	88	227	10.3	10.1	15.9	16.6	15.7	12.4	19.7	105.1

E1=no lineal; e2=lineal; e3=log; e4=Step Lin; e5=Step Log; e6=Cov Lin; e7=cov Log; e8=SUR.

Tabla 5. Biomasa total estimada (kg por arbusto para cada una de 15 especies) de cada procedimiento de estimación para especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Biomasa Total por arbusto para cada especie (kg)									
Especie	O	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
<i>Acacia berlandieri</i>	419.2	425.5	419.2	350.1	419.2	371.8	419.2	381.1	419.6
<i>Acacia farnesiana</i>	170.0	176.5	170.0	155.0	170.0	166.6	170.0	168.5	170.0
<i>Acacia rigidula</i>	371.2	386.5	371.2	315.6	371.2	349.1	371.2	356.1	375.4
<i>Celtis pallida</i>	117.0	124.4	117.0	105.7	117.0	111.4	117.0	112.1	129.5
<i>Condalia hoockeri</i>	206.0	221.0	206.0	188.8	206.0	198.9	206.0	205.1	206.0
<i>Cordia boissieri</i>	727.2	744.1	727.2	648.8	727.2	674.1	727.2	686.0	727.1
<i>Diospyros texana</i>	661.3	669.9	661.3	584.5	661.3	609.7	661.3	625.2	660.3
<i>Eysenhardia polystachia</i>	144.0	154.8	144.0	120.8	144.0	139.1	144.0	135.8	143.1
<i>Forestiera angustifolia</i>	41.7	44.2	41.7	33.6	41.7	41.8	41.7	38.2	41.8
<i>Gochnia hypoleuca</i>	281.8	289.2	281.8	293.9	281.8	267.4	281.8	270.4	281.8
<i>Helietta parvifolia</i>	324.0	330.0	324.0	273.4	324.0	283.9	324.0	288.2	324.1
Otras especies	362.5	457.7	362.5	274.7	362.5	327.3	362.5	399.2	360.5
<i>Pithecellobium pallens</i>	540.2	532.3	540.2	465.7	540.2	484.6	540.2	487.2	582.7
<i>Prosopis glandulosa</i>	678.3	707.9	678.3	683.8	678.3	644.6	678.3	660.4	682.6
Promedio	360.3	376.0	360.3	321.0	360.3	333.6	360.3	343.8	364.6
Desviación estándar	221.4	225.6	221.4	205.6	221.4	203.6	221.4	209.5	223.8

E1=no lineal; e2=lineal; e3=log; e4=Step Lin; e5=Step Log; e6=Cov Lin; e7=cov Log; e8=SUR.

Tabla 6. Estadísticos de bondad de ajuste y biomasa estimada para ocho ecuaciones de biomasa desarrolladas en tres procedimientos aditivos para cuatro grupos de especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Ecuación	Biomasa (Mg)	Estadísticos de Bondad de ajuste					
		r ²	Sx	CV	FI	S(%)	Pe
No lineal Ordinaria	2067.78	0.26	10.14	98.32	10.14	59.52	1184.40
	1349.06	0.26	8.30	78.24	8.30	61.37	946.13
	77.72	0.64	3.19	100.64	3.19	50.17	462.69
	1876.30	0.24	8.60	100.71	8.60	63.78	1536.03
	5370.86	0.35	7.56	94.48	7.56	58.71	1032.31
Lineal Simple	1929.18	0.84	4.67	45.23	4.67	39.43	613.18
	1294.11	0.77	4.64	43.77	4.64	36.16	180.99
	69.63	0.58	3.45	108.86	3.45	53.75	364.69
	1751.64	0.64	5.92	69.32	5.92	50.06	826.33
	5044.56	0.71	4.67	66.79	4.67	44.85	496.30
Log Simple	1607.99	0.81	5.18	50.26	6.24	47.24	131.91
	1119.94	0.73	5.01	47.23	6.77	44.20	96.20
	56.80	0.60	3.36	106.22	3.08	63.67	218.91
	1482.08	0.67	5.66	66.29	5.98	65.65	233.23
	4266.81	0.70	4.81	67.50	5.52	55.19	170.06
Lineal Stepwise	1929.18	0.89	4.02	38.99	4.02	30.35	300.21
	1294.11	0.79	4.52	42.64	4.52	13.03	137.77
	69.63	0.93	1.89	59.80	1.89	28.38	507.83
	1751.63	0.81	4.39	51.36	4.39	138.29	277.02
	5044.55	0.85	3.71	48.20	3.71	52.51	305.71
Log Stepwise	1733.86	0.87	4.31	41.78	6.31	40.73	141.83
	1191.33	0.71	5.31	50.09	6.97	35.23	78.62
	59.01	0.82	2.33	73.66	3.27	49.54	194.56
	1549.75	0.76	4.83	56.58	6.05	55.60	246.71
	4533.95	0.79	4.20	55.53	5.65	45.27	165.43
Covarianza Lineal	1751.63	0.81	4.33	50.73	4.33	197.37	271.02
	1294.11	0.79	4.44	41.87	4.44	96.69	132.36
	69.64	0.92	1.48	46.87	1.48	27.96	361.01
	1929.17	0.89	3.98	38.57	3.98	29.30	349.23
	5044.55	0.85	3.56	44.51	3.56	87.83	278.41
Covarianza Log	1788.03	0.67	6.86	66.51	0.80	45.92	126.61
	1202.03	0.77	4.86	45.77	0.79	35.66	92.48
	68.07	0.90	1.76	55.45	0.52	70.46	169.34
	1615.27	0.67	5.80	67.84	0.84	64.96	199.22
	4673.40	0.75	4.82	58.89	0.74	54.25	146.91
SUR	1929.17	0.89	4.05	39.23	4.05	27.41	261.76
	1294.11	0.84	4.07	38.37	4.07	35.93	91.75
	92.99	0.85	2.26	68.12	2.26	41.98	258.60
	1728.27	0.82	4.30	49.51	4.30	35.10	283.93
	5044.54	0.85	3.67	48.81	3.67	35.10	224.01

Cuatro grupos de especies (1): *A. berlandieri*, *A. rigidula*, *A. texana*, *C. spp.*, *H. parvifolia*, *P. glandulosa*, *Z. fagara*, *Z. obtusifolia*; (2) *A. farnesiana*, *C. pallida*, *C. hookeri*, *C. boissieri*, *R. rhag*; (3) *F. angustifolia*, *L. frutescens*, *K. humboldtiana*; (4) *B. myricaefolia*, *C. gallina*, *D. texana*, *E. polystachia*, *G. hypoleuca*, *P. pallens*, *P. angustifolia*.

Tabla 7. Estadísticos de bondad de ajuste y biomasa estimada para ocho ecuaciones de biomasa desarrolladas en tres procedimientos aditivos para todas las especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Ecuación	Biomasa (Mg)	Estadísticos de Bondad de ajuste					
		r ²	Sx	CV	FI	S(%)	Pe
Observada	5044.52						
No linear Ordinaria	5396.91	0.26	8.93	94.93	8.93	62.17	1377
Linear Simple	5044.56	0.72	5.47	58.18	5.47	45.29	687
Log Simple	4220.24	0.73	5.35	56.85	6.13	56.22	192
Linear Stepwise	5044.55	0.82	4.42	46.99	4.42	54.36	251
Log Stepwise	4478.61	0.81	4.55	48.32	6.19	48.15	199
Covarianza Linear	5044.54	0.82	4.39	46.74	4.39	40.26	276
Covarianza Log	4599.51	0.74	5.33	56.64	2.28	56.10	168
SUR	5044.54	0.84	4.22	44.87	4.22	38.25	289

Tabla 8. Estimadores de la biomasa total aérea de 37 parcelas (25m²) desde tres diferentes procedimientos aditivos en ocho diferentes formas de ecuación para una ecuación simple para cada especie típica del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

No Parcela	Biomasa total aérea (Mg ha ⁻¹)								
	O	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
1	73.0	66.3	63.9	54.2	75.9	74.0	76.6	74.7	78.8
2	37.5	25.5	27.9	22.2	31.1	27.5	31.5	26.4	37.4
3	40.0	35.5	32.6	30.0	36.9	30.0	33.7	27.9	31.9
4	35.4	34.9	39.8	30.5	34.9	35.7	35.5	35.6	35.2
5	40.5	40.7	42.6	36.5	41.5	38.7	42.9	40.4	41.4
6	44.9	50.7	47.3	48.1	54.4	43.9	52.1	45.0	46.9
7	38.1	44.3	43.4	38.9	42.3	39.9	41.1	41.6	39.5
8	37.8	50.8	51.2	42.9	47.5	39.7	48.9	40.6	48.3
9	45.1	55.6	49.4	39.3	49.4	38.9	49.2	41.6	47.6
10	38.9	46.7	47.5	50.0	43.0	48.0	42.8	50.3	42.8
11	25.7	20.1	16.6	18.3	22.5	18.8	22.3	19.7	21.9
12	41.4	40.0	37.2	40.9	41.4	38.3	41.5	39.1	40.6
13	14.4	13.9	12.9	12.7	16.3	17.3	16.1	17.3	15.6
14	32.3	35.9	30.8	30.8	34.0	32.6	33.9	33.9	33.2
15	13.8	13.9	14.4	10.5	11.6	12.4	12.3	12.2	12.5
16	41.3	38.5	40.0	44.1	42.1	37.9	42.1	38.3	41.9
17	26.9	24.2	23.1	19.9	27.4	21.8	25.9	22.9	27.0
18	27.1	27.2	32.0	31.4	23.6	24.9	25.5	24.1	23.7
19	30.4	29.9	30.7	29.8	27.2	27.4	27.7	28.4	26.1
20	38.8	33.0	33.0	32.7	37.8	35.6	37.2	35.0	39.9
21	52.8	46.8	49.0	41.2	49.1	45.4	49.4	48.9	46.0
22	69.6	46.2	46.7	45.9	53.6	48.6	51.2	47.9	55.5
23	56.1	42.3	43.2	43.2	56.7	54.1	55.5	53.2	62.9
24	24.2	20.8	28.6	24.0	27.5	24.2	26.1	27.1	25.1
25	42.3	30.2	28.8	30.3	38.7	36.4	40.1	37.6	41.3
26	26.1	28.0	29.3	23.7	26.3	23.4	28.1	22.7	26.9
27	23.6	37.3	27.9	28.4	31.0	28.9	30.4	30.8	32.0
28	29.8	27.9	30.6	26.8	33.1	29.5	32.9	28.7	36.6
29	70.6	68.5	74.8	57.3	76.1	66.8	79.2	82.1	72.4
30	33.7	32.4	27.1	21.5	33.1	26.1	33.3	25.9	28.6
31	25.8	35.1	28.7	26.0	31.4	28.0	32.1	27.5	32.8
32	74.5	69.1	72.6	88.4	70.5	75.5	74.1	75.0	72.5
33	34.0	36.8	28.4	21.1	30.2	22.6	29.1	21.3	28.0
34	46.2	43.5	50.7	45.8	55.2	53.4	54.8	56.9	49.6
35	30.8	27.2	25.1	23.1	27.7	22.9	27.3	25.2	26.2
36	21.4	20.7	19.9	19.7	19.6	17.6	20.1	22.5	18.6
37	31.7	35.1	29.7	26.5	33.8	40.9	33.4	43.5	32.9
Media	38.3	37.2	36.7	34.0	38.8	35.9	38.8	37.1	38.4
Des Est	15.1	13.6	14.4	14.7	15.2	15.0	15.5	16.1	15.4
CI(95%)	4.87	4.38	4.64	4.74	4.90	4.83	4.99	5.19	4.96

E1=nolineal; e2=lineal; e3=log; e4=Step Lin; e5=Step Log; e6=Cov Lin; e7=cov Log; e8=SUR; CI= intervalos de confianza.

Tabla 9. Biomasa aérea total estimada de 37 parcelas (25m²) de tres diferentes procedimientos aditivos en ocho diferentes formas de ecuación para cuatro grupos de especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México. Cuatro grupos de especies (1): *A. berlandieri*, *A. rigidula*, *A. texana*, *Croton spp.*, *H. parvifolia*, *P. glandulosa*, *Z. fagara*, *Z. obtusifolia*; (2) *A. farnesiana*, *C. pallida*, *C. hoockeri*, *C. boissieri*, *R. rhag*; (3) *F. angustifolia*, *L. frutescens*, *K. humboldtiana*; (4) *B. myricaefolia*, *C. gallina*, *D. texana*, *E. polystachia*, *G. hypoleuca*, *P. pallens*, *P. angustifolia*.

No parcela	Biomasa aerea Total (Mg ha-1)								
	Observada	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	SUR
1	73.00	57.44	53.12	43.74	59.92	59.92	65.87	82.47	66.77
2	37.51	21.50	29.77	21.65	23.55	23.55	26.78	24.84	35.20
3	40.01	31.48	31.22	26.83	29.74	29.74	31.00	30.54	28.62
4	35.36	33.88	36.88	30.65	33.05	33.05	34.31	31.31	33.25
5	40.49	44.12	42.24	39.31	43.87	43.87	45.65	38.46	44.48
6	44.94	43.52	41.96	38.93	46.76	46.76	52.69	46.97	51.35
7	38.10	41.90	39.57	36.27	38.32	38.32	39.95	36.66	39.59
8	37.77	42.62	52.33	43.47	42.11	42.11	49.38	41.17	46.30
9	45.12	51.43	48.11	42.10	45.56	45.56	49.55	41.53	48.85
10	38.95	44.76	45.86	38.37	46.59	46.59	48.42	43.04	44.99
11	25.68	17.40	17.49	15.48	19.89	19.89	19.71	18.41	20.89
12	41.44	36.82	37.21	32.29	43.96	43.96	40.31	49.96	44.62
13	14.40	14.20	13.07	12.96	15.90	15.90	16.31	15.39	16.78
14	32.34	30.44	27.99	27.85	32.96	32.96	34.24	30.46	34.23
15	13.80	11.25	12.42	10.56	12.41	12.41	14.71	11.45	14.46
16	41.27	38.83	40.48	32.67	43.60	43.60	43.48	63.84	38.40
17	26.86	22.49	21.03	17.98	23.62	23.62	26.30	21.95	28.38
18	27.08	26.66	33.16	22.51	24.32	24.32	26.42	21.04	25.02
19	30.39	27.00	29.74	23.95	28.74	28.74	29.84	26.45	29.09
20	38.84	28.12	28.84	24.75	33.67	33.67	35.64	29.73	33.98
21	52.78	48.08	47.79	42.61	47.67	47.67	49.01	43.20	49.34
22	69.65	41.49	52.17	41.41	47.05	47.05	50.54	47.40	53.99
23	56.10	50.86	50.74	47.93	57.26	57.26	59.02	59.92	59.66
24	24.22	19.27	28.23	23.32	25.46	25.46	26.63	22.27	27.11
25	42.33	38.34	32.60	34.33	38.53	38.53	44.03	40.34	40.62
26	26.06	35.13	30.86	23.68	25.27	25.27	25.57	21.91	28.90
27	23.56	40.06	29.59	28.15	29.62	29.62	31.20	28.63	31.31
28	29.82	25.85	34.35	26.38	32.60	32.60	34.80	30.88	35.49
29	70.59	76.44	74.72	66.47	77.94	77.94	79.45	77.54	76.77
30	33.75	30.13	30.13	21.69	26.60	26.60	32.59	24.74	34.69
31	25.77	30.40	32.86	26.15	28.21	28.21	31.00	27.51	31.03
32	74.50	64.75	74.61	66.01	80.40	80.40	73.63	60.61	75.89
33	33.96	34.29	22.59	17.88	21.09	21.09	25.26	18.02	24.53
34	46.16	41.51	48.66	40.27	49.74	49.74	48.98	42.24	47.19
35	30.82	27.20	24.66	23.01	24.05	24.05	27.27	23.37	26.88
36	21.36	32.01	24.66	24.38	23.49	23.49	22.94	23.50	21.62
37	31.74	28.10	34.62	30.51	45.04	45.04	39.16	42.48	32.53
Media	38.28	35.94	36.66	31.53	36.99	36.99	38.69	36.22	38.45
Des Est	15.07	13.56	14.11	12.61	15.39	15.39	15.02	16.62	14.82
CI (95%)	4.86	4.37	4.55	4.06	4.96	4.96	4.84	5.36	4.78

E1=nonlineal; e2=lineal; e3=log; e4=Step Lin; e5=Step Log; e6=Cov Lin; e7=Cov log; e8=SUR; CI= intervalos de confianza.

Tabla 10. Biomasa aérea total estimada d 37 parcelas (25m²) de tres diferentes procedimientos aditivos en ocho diferentes formas de ecuación simple para todas las especies típicas del Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

No. parcela	Biomasa Aérea Total (Mg ha-1)								
	Observada	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	SUR
1	73.00	54.35	63.53	48.54	66.36	57.36	66.21	62.32	63.48
2	37.51	24.45	27.07	21.55	31.63	26.20	32.10	29.19	32.18
3	40.01	31.93	36.11	28.67	30.91	26.88	31.82	25.46	30.98
4	35.36	31.84	35.33	27.85	33.16	28.34	33.56	29.23	35.06
5	40.49	41.00	39.34	36.45	44.91	40.24	44.88	41.65	46.33
6	44.94	46.16	44.92	40.81	49.83	41.98	50.08	42.93	49.99
7	38.10	41.11	40.65	36.32	39.21	35.03	39.26	35.28	40.82
8	37.77	47.60	47.00	42.06	50.24	42.58	50.50	42.67	50.36
9	45.12	48.40	48.51	42.64	49.04	42.53	48.72	40.76	49.39
10	38.95	39.68	43.08	36.30	45.16	44.73	45.27	37.33	47.85
11	25.68	15.92	16.13	14.30	20.31	17.93	20.67	19.32	21.03
12	41.44	33.04	34.08	30.07	44.46	42.50	44.49	48.05	47.35
13	14.40	13.68	12.37	12.02	17.19	13.88	17.27	14.57	17.48
14	32.34	28.64	25.91	25.42	34.27	28.74	34.48	30.59	34.56
15	13.80	10.95	11.64	9.48	13.83	10.96	14.43	10.70	14.23
16	41.27	33.33	37.40	30.73	42.82	42.41	42.98	45.78	37.94
17	26.86	18.92	20.36	16.69	26.48	21.48	26.90	26.51	27.55
18	27.08	23.06	31.28	21.21	19.73	23.30	20.84	13.89	22.64
19	30.39	24.74	27.52	22.27	28.33	26.91	28.35	25.03	30.40
20	38.84	23.22	24.73	21.04	29.00	25.53	29.42	22.07	29.39
21	52.78	48.36	46.94	42.84	49.71	43.25	49.73	43.59	50.72
22	69.65	46.41	49.94	41.07	50.09	44.30	50.35	46.66	52.17
23	56.10	56.34	52.93	50.42	60.97	57.07	60.89	66.20	64.66
24	24.22	25.20	25.63	22.48	23.26	22.84	23.02	22.41	24.39
25	42.33	40.97	35.92	36.62	45.80	40.33	45.22	50.36	41.85
26	26.06	27.16	31.84	23.58	26.15	23.67	26.47	24.48	27.96
27	23.56	34.05	33.89	29.90	32.33	29.25	32.32	30.32	33.96
28	29.82	29.93	30.92	26.54	35.73	30.37	36.09	31.76	35.80
29	70.59	72.41	72.02	66.14	72.06	76.31	71.92	71.54	75.51
30	33.75	24.57	30.03	21.40	33.87	24.45	34.12	23.32	29.90
31	25.77	29.14	32.51	25.50	33.15	26.99	33.32	27.14	33.12
32	74.50	71.88	77.01	64.94	72.81	72.53	73.14	63.18	77.23
33	33.96	21.87	26.21	18.69	25.48	20.25	25.56	18.21	25.27
34	46.16	46.94	53.35	42.16	50.84	46.53	51.04	43.25	50.85
35	30.82	28.62	26.85	25.15	27.71	23.85	27.88	24.30	28.52
36	21.36	23.57	21.73	20.90	23.38	21.75	23.06	24.93	22.75
37	31.74	33.82	31.91	30.37	39.75	37.86	38.84	52.80	37.18
Media	38.28	34.95	36.39	31.17	38.38	34.62	38.52	35.35	38.94
Des Est	15.07	14.46	14.79	13.11	14.72	14.77	14.61	15.26	15.13
CI (95%)	4.86	4.66	4.77	4.22	4.74	4.76	4.71	4.92	4.88

E1=nonlineal; e2=lineal; e3=log; e4=Step Lin; e5=Step Log; e6=Cov Lin; e7=Cov log; e8=SUR; CI= intervalos de confianza.

Tabla 11. Bondad de ajuste de los parámetros para la biomasa estimada en 37 parcelas con ecuaciones para (a) cada especie, (b) grupo de especies, y (c) todas las especies en tres procedimientos aditivos de ocho diferentes formas. Cuatro grupos de especies (1): *A. berlandieri*, *A. rigidula*, *A. texana*, *Croton spp.*, *H. parvifolia*, *P. glandulosa*, *Z. fagara*, *Z. obtusifolia*; (2) *A. farnesiana*, *C. pallida*, *C. hoockeri*, *C. boissieri*, *R. rhag*; (3) *F. angustifolia*, *L. frutescens*, *K. humboldtiana*; (4) *B. myricaefolia*, *C. gallina*, *D. texana*, *E. polystachia*, *G. hypoleuca*, *P. pallens*, *P. angustifolia*.

Escala	Bondad de ajuste de los parámetros	Procedimiento aditivo							
		1 Variable Simple Independiente			2 Mejor ecuación individual				3 SUR
Ecuación simple para cada especie	R2	0.75	0.77	0.64	0.89	0.82	0.88	0.78	0.89
	Sx	7.46	7.15	9.01	4.98	6.36	5.25	7.02	4.89
	CV	19.50	18.67	23.54	13.01	16.60	13.71	18.34	12.76
	S(%)	14.23	15.79	21.54	9.94	14.99	9.82	15.39	9.97
	Pe	144.62	160.45	218.97	101.06	152.39	99.81	156.43	101.35
Ecuación simple por grupo de especies	R2	0.69	0.77	0.55	0.78	0.78	0.83	0.68	0.88
	Sx	8.38	7.30	10.13	7.10	7.10	6.20	8.56	5.27
	CV	21.90	19.08	26.45	18.56	18.56	16.20	22.35	13.76
	S(%)	18.56	16.99	26.72	15.30	15.30	12.40	19.89	11.26
	Pe	188.64	172.72	271.57	155.54	155.54	125.99	202.15	114.48
Ecuación simple para todas las especies	R2	0.72	0.80	0.55	0.83	0.73	0.84	0.64	0.82
	Sx	7.93	6.72	10.08	6.23	7.76	6.10	9.01	6.41
	CV	20.70	17.55	26.33	16.28	20.28	15.92	23.53	16.75
	S(%)	19.09	16.36	28.82	13.27	18.36	12.85	22.69	13.30
	Pe	193.98	166.32	292.97	134.87	186.66	130.59	230.63	135.22

Tabla 12. Las ecuaciones de regresión aparentemente no relacionadas desarrolladas en el procedimiento aditivo 3 para cada una de las catorce especies, para cuatro grupos de especies, y para todas las especies de 37 parcelas en el Matorral Espinoso Tamaulipeco del nordeste de México.

Especie	Ecuación
<i>A. berlandieri</i>	TB=-0.1795+LDB2HxCT2*0.24409+5.28163-LH*14.032+CT2*0.27647+DBxH*0.255433+DB2HxCT*0.002057-DBxCT2*0.0366-0.9688+DB*0.57479
<i>A. farnesiana</i>	TB=-0.8803+CT*1.354566-H2xCT2*0.00664-LCT2*0.4302-0.8523+DBxCT*0.96605-HxCT2*0.2286+0.37294+DB2H*0.00521+H2xCT*0.052739
<i>A. rigidula</i>	TB=0.102470+ DBxCT*0.02826- DB2HxCT2*0.0000 -1.30529+ CT*2.65209+ DB2*0.15224- DB2H*0.0125- DBxCT*0.21279-LHxCT2*0.5074+ 0.06980- DB2*0.0993- H2*0.38036+ DBxH*0.522657
<i>C. pallida</i>	TB= -0.19881+ H*0.11496+ 1.07959- DB2*0.1837+ DB2H*0.052615--0.3113+ DBxH*0.09889
<i>C. hoockeri</i>	TB= 0.08137+ DB2HxCT2*0.000140+ 0.082633+ DB2*0.07385+ DBxCT2*0.09190 -0.9014+ DBxH*0.14475+ DBxCT*0.050580
<i>C. boissieri</i>	TB= -0.2145+ DBxH*0.027937 -0.1243- CT2*0.1294+ DBxCT*0.312375- DBxCT2*0.0075 -0.4018+ DB2H*0.002755+ DBxCT*0.15038- HxCT2*0.03054
<i>D. texana</i>	TB= 0.27012- DB2*0.0041- H2*0.02793+ DBxH*0.033288+ 0.87501+ DBxH*0.17387+ DB2HxCT2*0.00007 -7.4719+ DB*1.673838- DB2H*0.0072+ H2xCT*0.03140
<i>E. polystachia</i>	TB= -0.16791+ DBxCT2*0.008566+ LDB2H*0.16153 -0.52174+ DB2*0.05566+ HxCT*0.22239+ 1.262096+ DBxH*0.151256-LDB2H*1.4887
<i>F. angustifolia</i>	TB= -0.14912+ HxCT*0.21078- LH2xCT*0.35798+ 4.93732+ DB2H*0.65988- DBxCT*1.3602- DBxH*2.1104+ LH2xCT*2.607496+ 0.306165- DB2*0.0374+ DB2H*0.07971- DBxH*0.1993- DB2HxCT*0.00643+ H2xCT*0.010402+ H2xCT2*0.004064
<i>G. hypoleuca</i>	TB= -0.8348+LDBxH*1.368907-1.02413+DBxH*0.24756-3.51453+DB*1.13877-CT*0.59897
<i>H. parvifolia</i>	TB= -0.2587+DB2HxCT*0.00059+LDB2HxCT*0.43759-7.0561+LDB2HxCT*5.57389+4.76143-H*2.5153- CT *0.53182-DB2*0.0486 +DBxH*0.36719+H2xCT*0.054153
Otras especies	TB= 0.21845-LH*0.59787+DB2*0.004897+LDBxCT*0.28772 -0.16144+H*0.98590+ DB2H*0.01844- DBxH *0.10881 + LCT2*6.46641 + LDBxH*4.667016- LH2xCT2*5.8564+ 0.315943- DB*0.07830+ DB2H*0.00864 + HxCT2*0.03278+ DB2HxCT*0.00061-H2xCT2*0.00595
<i>P. pallens</i>	TB= 0.03372+ DBxH*0.013670- LCT2*0.10315+ 4.94054- CT*3.06813+ LCT*6.40914+ DB2HxCT*0.00380+ DBxCT2*0.073008- DB2HxCT2*0.0009 -0.9525+ LDB*2.63809+ DBxH*0.054250
<i>P. glandulosa</i>	TB= 0.274902+ DB2*0.007400+ 0.47429+ DB2*0.08629- H2xCT2*0.0001 -1.06038+ DB*0.26607+ DBxH *0.04864

Cuatro grupos de especies (1): *A. berlandieri*, *A. rigidula*, *A. texana*, *Croton spp.*, *H. parvifolia*, *P. glandulosa*, *Z. fagara*, *Z. obtusifolia*; (2) *A. farnesiana*, *C. pallida*, *C. hoockeri*, *C. boissieri*, *R. rhag*; (3) *F. angustifolia*, *L. frutescens*, *K. humboldtiana*; (4) *B. myricaefolia*, *C. gallina*, *D. texana*, *E. polystachia*, *G. hypoleuca*, *P. pallens*, *P. angustifolia*.

Especie	Ecuación
Grupo 1	TB= 0.10086+ DB2*0.005726+ DB2HxCT*0.00004- DB2HxCT2*1.71E-6+ H2xCT*2.79E-16+ LHxCT*0.23415+ 1.46566- DB*0.2795+ DB2*0.07436+ H2*0.08769+ DB2H*0.001411+ LCT2*1.59680 -0.4797+ CT*0.41352+ DBxH*0.12685- HxCT*0.18640+ H2xCT*0.01551
Grupo 2	TB= 0.01581+ DB2*0.006040+ HxCT*0.005685+ 0.26854- DB2*0.0639+ DB2H*0.02940+ DBxCT*0.18270- HxCT2*0.0073- DB2HxCT*0.00184 -0.3111+ H2*0.038334+ CT2*0.105218+ DB2H*0.010556- HxCT2*0.01813- DB2HxCT*0.00028
Grupo 3	TB= -0.13055+ DB*0.16003+ LCT2*0.45041- LHxCT2*0.40563+ 0.597768- LH*1.24458+ DB2*0.087533+ DBxCT*0.21475- H2xCT2*0.0043 -0.1320+ DB*0.21153+ DB2H*0.00596- HxCT*0.06579+ H2xCT*0.009606
Grupo 4	TB= -0.1469+ DB*0.161287- DB2*0.00798- H2*0.01461+ DB2H*0.00087+ LCT2*0.06135 -0.5597+ DB*0.46538+ DB2H*0.00169+ DBxCT*0.10340- DB2HxCT2*0.00003 -1.1609+ DB*1.93537- LDB*13.5414- DB2H*0.0055+ DBxCT2*0.00119+ LH2*2.65898

Especie	Ecuación
	TB= 0.01033+ DB2*0.00127- CT2*0.0066+ DBxCT*0.011255+ LDBxCT*0.498258- LHxCT2*0.20444 -0.24447+ DB*0.86065+ DBxCT*0.08937- HxCT2*0.01104+ H2xCT*0.019621- LDB2H*1.09923+ 0.490218- LDB*2.43366+ DB2*0.01862- H2*0.11330- DB2H*0.00686+ DBxH*0.243478

