

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

**SISTEMA DE ECUACIONES PARA ESTIMACIÓN Y PARTICIÓN
DE BIOMASA AÉREA EN ATOPIXCO, ZACUALTIPÁN,
HIDALGO, MÉXICO.**

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS FORESTALES**

Presenta:

Zócimo Cruz Martínez



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Chapingo, Texcoco, Estado de México. Octubre de 2007



SISTEMA DE ECUACIONES PARA ESTIMACIÓN Y PARTICIÓN DE BIOMASA AÉREA EN ATOPIXCO, ZACUALTIPAN, HIDALGO, MÉXICO

Tesis realizada por el C. Zócimo Cruz Martínez, bajo la dirección del comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

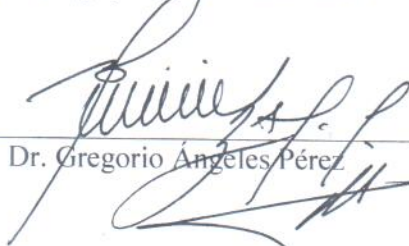
MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR



Dr. Hugo Ramírez Maldonado

ASESOR



Dr. Gregorio Angeles Pérez

ASESOR



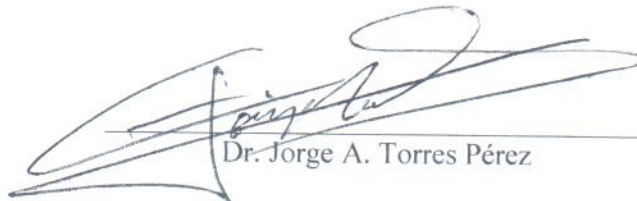
Dr. Héctor M. de los Santos Posadas

ASESOR



Dr. José Luís Romo Lozano

ASESOR



Dr. Jorge A. Torres Pérez

Chapingo, Texcoco, Edo. de México. Octubre de 2007

El presente trabajo se llevó a cabo bajo el financiamiento del fondo sectorial CONAFOR-CONACYT, a través del proyecto 10825: “Potencial de captura y almacenamiento de carbono en bosques manejados de *Pinus patula* en Zacualtipán, Hidalgo”

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**, por la oportunidad brindada en el financiamiento de mi formación académica.

A la **División de Ciencias Forestales** de la Universidad Autónoma Chapingo, por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de postgrado.

Al **Dr. Hugo Ramírez Maldonado**, por su valiosa e importante dirección y hacer posible el desarrollo del presente trabajo.

Al **Dr. Gregorio Ángeles Pérez**, por la oportunidad brindada al incorporarme a su equipo de trabajo, por su valiosa dirección y apoyo durante la fase de campo y laboratorio, así como por sus comentarios y sugerencias durante el desarrollo del presente.

Al **Dr. Héctor M. de los Santos Posadas**, por su valiosa asesoría, sugerencias y discusión en el análisis de la información, por su completa y amable disposición brindada.

A los **Doctores José Luís Romo y Jorge A. Torres**, por su participación y ayuda a concluir satisfactoriamente este trabajo.

A las **Autoridades del Comisariado Ejidal del Ejido Atopixco**, por la autorización y oportunidad de desarrollar la presente investigación, **especialmente a las brigadas de campo** (corteños) por su incondicional apoyo en los trabajos de derribo y pesado del arbolado.

A mis amigos: **Irma Velasco e Izai**, por su importante e incondicional apoyo en la toma de información en campo y laboratorio, así como también a **Osyel Rivera, Vicencio García** y **Carlos Aguirre**, por su apoyo en la fase de campo y compartir momentos inolvidables.

DEDICATORIA

A mis padres F. Armando Cruz y Estela Martínez, por sus consejos, amor y confianza que me han brindado para llegar a donde estoy, gracias.

A mi hermana Carmen, por el apoyo que me ha brindado durante las diferentes etapas de mi formación profesional.

A mi hermano Iñigo, por su cariño, confianza y por todos los buenos momentos compartidos.

A mi tía Ernestina Pérez, por sus consejos y apoyo.

A mi sobrina María de la Luz, como un ejemplo para su vida futura.

A mis amigos y compañeros de grupo Juan, Saúl, Lucero, Margarito, Amyris, Janet y Osyel, por los grandes momentos compartidos durante la estancia en la universidad. Así como también a Karla por los momentos compartidos en clase.

A Lizett, Por su cariño y amistad.

A Lennis y Yolanda, por su amistad y consejos.

CHOCMS

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor nació el 17 de marzo de 1979 en la comunidad de San Miguel Amatlán, Ixtlán, Oaxaca. De 1986 a 1992, realizó sus estudios de educación primaria en la Escuela Rural Federal Cuahutémoc. En el periodo de 1992 a 1995, la secundaria en la Escuela Técnica N° 14, en Reyes Mantecón, Oaxaca. El nivel medio superior de 1995 a 1998, en la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo; posteriormente ingresó a la División de Ciencias Forestales de la U.A.Ch., terminando sus estudios en el 2002 como Ingeniero Forestal en esta institución.

Después de terminar sus estudios en la Universidad, entro a laborara en la empresa “Servicios Técnicos Forestales y Ambientales” ubicada en el Distrito Federal, como técnico forestal en la elaboración de programas de manejo forestal, estudios técnicos justificativos para el cambio de uso de suelo y programas de protección, conservación y reforestación, durante el periodo de 2002 a 2004. Actualmente se encuentra laborando en la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil de Comisión Federal de Electricidad, Zona Golfo, en la toma de información del tipo de vegetación existente bajo líneas de conducción de media y baja tensión.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
III. MARCO TEÓRICO	4
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
IV.1. MUESTREO	7
IV.2. PROCEDIMIENTO ESTADÍSTICO	8
IV.2.1. Modelos de volumen	9
IV.2.2. Modelos de biomasa y distribución de biomasa	11
IV.3. INVENTARIO DE VOLUMEN Y BIOMASA AÉREA EN BOSQUES MANEJADOS.....	13
V. RESULTADOS	17
V.1. MODELOS DE VOLUMEN	17
V.2. MODELOS DE BIOMASA	19
V.3. MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE BIOMASA.....	21
V.4. INVENTARIO DE VOLUMEN Y BIOMASA AÉREA.....	24
VI. CONCLUSIONES.....	31
VII. RECOMENDACIONES	32
IX. ANEXOS	37

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Estadísticos de bondad de ajuste para obtención de volumen de <i>P. teocote</i> y latifoliadas.	17
Cuadro 2. Estadísticos de bondad de ajuste para obtención de volumen de <i>P. teocote</i> y latifoliadas.	18
Cuadro 3 Valor de los estadísticos de bondad de ajuste para la estimación de biomasa total de <i>P. teocote</i> y latifoliadas.	19
Cuadro 4. Valor de los estadísticos de bondad de ajuste para biomasa de <i>P. patula</i>	21
Cuadro 5 Estadísticos de bondad de ajuste para partición de biomasa en <i>P. teocote</i> y latifoliadas.	22
Cuadro 6. Composición de especies del bosque manejado de Atopixco, Zacualtipán, Hidalgo.	25
Cuadro 7. Valores estimados promedio por sitio de 400 m ² bajo muestreo al azar estratificado para latifoliadas y pinos, del bosque del Ejido Atopixco, Zacualtipán, Hidalgo.	26
Cuadro 8. Valores estimados promedio por sitio de 400 m ² bajo muestreo simple al azar para latifoliadas y pinos, del bosque del Ejido Atopixco, Zacualtipán, Hidalgo.	27
Cuadro 9. Inventario de volumen, biomasa total y biomasa en cada componente de pino, del bosque del Ejido Atopixco, Zacualtipán, Hidalgo.	28
Cuadro 10. Inventario de volumen, biomasa total y biomasa en cada componente de latifoliadas, del bosque del Ejido Atopixco, Zacualtipán, Hidalgo.	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Volumen total de fuste para el grupo de <i>P. teocote</i> y latifoliadas con sus respectivos valores de ajuste respecto al diámetro.	19
Figura 2. Relación entre biomasa total y volumen total del fuste de <i>P. teocote</i> y latifoliadas y sus valores de ajuste.	20
Figura 3. Distribución de la biomasa en cada uno de los componentes estructurales de <i>P. teocote</i> y latifoliadas basada en los factores de partición estimados.	23

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Características dasométricas, pesos secos y verdes por componente de <i>P. teocote</i> y latifoliadas	37
--	----

SISTEMA DE ECUACIONES PARA ESTIMACIÓN Y PARTICIÓN DE BIOMASA AÉREA EN ATOPIXCO, ZACUALTIPÁN, HIDALGO, MÉXICO.

A SYSTEM OF EQUATIONS FOR ABOVEGROUND BIOMASS PARTITION AT ATOPIXCO, ZACUALTIPÁN, HIDALGO, MÉXICO

RESUMEN

Para estimar de manera simultanea el volumen del fuste, biomasa total y su distribución en cada uno de los componentes estructurales por árbol se analizaron de manera conjunta los datos de 62 árboles, provenientes del muestreo destructivo, de especies representativas del bosque mesófilo de montaña. Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre el grupo de las latifoliadas y el de coníferas representado por *Pinus teocote* en el volumen total de fuste como en la distribución de biomasa por componente aéreo. El análisis se realizó a través de un sistema de ecuaciones, partiendo del sistema básico donde el volumen es considerado una función directa del diámetro y la altura. Así, la biomasa es una función directa del volumen multiplicado por un factor de peso y su distribución en cada componente estructural es considerada una función directa de la biomasa multiplicada por un factor de partición. Los parámetros de regresión se obtuvieron ajustando las ecuaciones como un sistema bajo mínimos cuadrados conjuntos aparentemente no correlacionados.

Palabras clave: volumen, biomasa aérea, factor de expansión, sistema de ecuaciones.

ABSTRACT

To simultaneously estimate total stem volume (TSV), total aboveground biomass (TAB) and structural partition percentages, data from 62 destructively-sampled trees were used to test statistical differences between broadleaves and *Pinus teocote*. The fitting shows that both groups have statistical differences at biomass partition level. While *P. teocote* concentrates most of the TAB in the stem (66%) for the broadleaves stem biomass was 49% of the TAB. For branches however 38% of TAB belongs to branches compared with 18% for *P. teocote*. The statistical analysis fitted total stem volume as a function of DBH and total height, making TAB a direct linear function of TSV; while stem biomass, branches, and foliage were split as a percentage of TAB. The estimated regression parameters were obtained for the system with seemingly unrelated regression.

Key words: Volume, Aboveground biomass, expansion factor, system of equations.

I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales constituyen comunidades muy complejas en cuanto a función, estructura y dinámica (Odum, 1985; Terradas, 2001). De ahí, la importancia de conocer ¿Qué se tiene? ¿Cuánto se tiene? ¿Dónde esta? y ¿Cómo está? a través de los inventarios forestales. El inventario forestal es una herramienta para la adopción de políticas, ya que permiten planificar y ordenar el recurso de manera cualitativa y cuantitativa (SEMARNAP-INE, 2000; Odum, 1985).

Los inventarios forestales en México han tenido tradicionalmente por objetivo cuantificar los recursos maderables disponibles con fines productivos (Fragoso *et al.*, 2001), considerando únicamente el volumen de madera. Es decir, sólo se considera el volumen del fuste hasta un diámetro mínimo aprovechable en la punta, descartando ramas, hojas, tocón y raíces. De esta forma, la estimación del volumen total del árbol y por ende la estimación real de la biomasa debe incluir estos componentes, que en la actualidad no se consideran en las estimaciones de volumen en los inventarios forestales (Vidal *et al.*, 2004).

En los últimos años, la necesidad de estimar la biomasa en masas forestales, árboles individuales y componentes estructurales del árbol (ramas, hojas, fuste y raíces) se ha vuelto de gran interés para ecólogos y forestales (Jenkins *et al.*, 2004). Las estimaciones de biomasa pueden ser utilizadas para cuantificar el carbono almacenado y/o fijado en una determinada superficie (FAO, 1995; Brown *et al.*, 1996). La biomasa forestal se ha convertido en un importante elemento relacionado con el cambio climático, debido a que a los bosques se les considera uno de los principales reservorios y sumideros de carbono (Gayoso y Schlegel, 2001).

Para la estimación del carbono almacenado en la biomasa forestal se han desarrollado métodos directos e indirectos. Los primeros consisten en un análisis destructivo para estimar el peso verde y el peso seco de cada uno de los componentes de cada árbol seleccionado (Hitchcock y McDonnell, 1979). Los segundos se basan en la utilización de modelos matemáticos que estiman el peso de las diferentes fracciones del árbol a partir de variables individuales como el diámetro normal a la altura del pecho (D) a 1.30 metros sobre el nivel del suelo, la altura total (H) o la combinación de ambas variables. Así, para poder desarrollar los métodos indirectos es necesario contar con datos obtenidos de métodos directos. Otra forma indirecta de estimar biomasa y carbono aéreo es a partir del volumen del fuste, en el cual se utiliza la densidad básica de la madera que multiplicada por un factor de expansión determina el peso seco total (Brown y Lugo, 1984; Brown, 1997 y Somogyi *et al.*, 2006). Los ejemplos mas comunes de los métodos indirectos son las ecuaciones alométricas (Návar *et al.*, 2002).

En México el uso de ecuaciones alométricas para estimar la biomasa es restringido debido a la escasa disponibilidad de ellas. Sin embargo, se han generado algunas para especies de clima templado frío. Entre las especies estudiadas se encuentran: *Pinus montezumae* Lamb. (Garcidueñas, 1987), *Pinus cembroides* Zucc. (López, 1988), *Pinus patula* Schl. et Cham. (Castellanos *et al.*, 1996 y Díaz, 2005). Así como las desarrolladas por Ayala *et al.*, (2001) en la Meseta central de Chiapas para pinos y encinos relacionando los diámetros y alturas con el peso total y el de los diferentes componentes de los árboles. Para plantaciones destacan las desarrolladas por Návar *et al.* (2004) en especies de pinos en Durango. Monroy y Návar (2004) en *Hevea brasiliensis* Mull. Arg., en el estado Veracruz y Rojo *et al.* (2005) en *Hevea brasiliensis* Mull. Arg., en el estado de Oaxaca. Es evidente que las especies con alto valor comercial son las que han recibido mayor atención.

A pesar de las ecuaciones alométricas desarrolladas, se han realizado pocos intentos para generar ecuaciones en especies del bosque mesófilo de montaña. Destacando sólo las realizadas por Acosta *et al.* (2002) para seis especies arbóreas en Oaxaca y Rodríguez *et al.* (2006) en especies dominantes del bosque de niebla en Tamaulipas. Ambos estudios determinan biomasa aérea total a partir del diámetro normal. Sin embargo, la generación de ecuaciones que describan simultáneamente el volumen, biomasa total y biomasa en cada uno de los componentes en este tipo de vegetación aún es escaso.

El bosque mesófilo de montaña es considerado como uno de los tipos de vegetación más diversos en relación con la superficie que ocupa (1 % con respecto a la superficie nacional y alberga entre 10 y 12 % de las especies de plantas vasculares que existen en México) (Williams *et al.*, 2002; Acosta, 2004). Sin embargo, gran parte de su superficie se encuentra fragmentada por diversos factores de disturbio, principalmente las actividades humanas, presentando la tasa de deforestación más alta entre los bosques de tipo tropical (Williams *et al.*, 2002). Debido a la importancia que representa para la conservación de la biodiversidad, a numerosos servicios ambientales que proporcionan y a su fragilidad, el presente estudio surge de la necesidad de conocer la distribución de la biomasa total y por componente de las especies dominantes del bosque mesófilo de montaña en la región de Zacualtipán, Hidalgo, y contribuir para lograr una mejor planificación del uso del recurso.

II. OBJETIVOS

- Generar ecuaciones para estimar de manera simultánea volumen del fuste, biomasa total y biomasa en cada uno de los componentes estructurales del árbol a partir de variables explicativas, como el diámetro normal y la altura total.
- Determinar la biomasa total y por componente estructural con datos provenientes del inventario de las especies dominantes del bosque bajo manejo del Ejido de Atopixco, Zacualtipán, Hidalgo.

III. MARCO TEÓRICO

Uno de los temas principales de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), es la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, los cuales causan grandes efectos negativos en el clima a nivel local y mundial, hecho que refleja de manera clara el aumento de la temperatura media global. Estos cambios, podrían tener graves consecuencias sobre los ecosistemas naturales.

La principal fuente emisora de CO_2 a la atmósfera es la combustión de combustibles fósiles para la mayor parte de los procesos productivos y de las actividades domésticas. También son fuentes importantes los procesos industriales, la deforestación, el cambio en el uso del suelo y la quema de la biomasa forestal (Torres y Guevara, 2002; Jaramillo 2004).

La posibilidad de mitigar el cambio climático por medio de la actividad forestal, se manifestó por primera vez en la década de 1970 (Dayson, 1977). Sin embargo, esta posibilidad se consideró a nivel mundial en la década de 1990 en donde se definió y se

cuantificó la función de los bosques y se propuso un mecanismo de colaboración internacional (FAO, 2001).

Ante las constantes evidencias del calentamiento del planeta, se adoptó la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) en 1992. El objetivo de la convención fue estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, comprometiéndose a los países industrializados y en vías de desarrollo a realizar inventarios nacionales de emisiones de GEI, de sumideros de carbono y a adoptar medidas para reducir sus emisiones. En la tercera reunión de la Conferencia de las Partes de la CMCC en Kyoto, Japón en diciembre de 1997, se adoptó el denominado Protocolo de Kyoto en el que se propone establecer compromisos legales a los países del Anexo I. El compromiso consiste en disminuir las emisiones de GEI entre el período de 2008 a 2012 en un 5 por ciento con respecto a los niveles de 1990. Las Partes pueden cumplir este compromiso reduciendo las fuentes de emisión, protegiendo o incrementando los sumideros de GEI (Naciones Unidas, 1998; FAO, 2001). Sin embargo, una de las grandes fallas de este protocolo es la de excluir a otros países en vías de desarrollo en la cuota de reducción de emisiones.

Para que los países cumplan con los objetivos planteados de reducir sus emisiones, el protocolo identifica tres posibles mecanismos de flexibilidad (artículos 6, 12 y 17) los cuales son: Implementación conjunta, mecanismos de desarrollo limpio (MDL) e intercambio de emisiones (Naciones Unidas, 1998). De particular interés para el sector forestal es el MDL, el cual permitirá a los países del Anexo I invertir en proyectos de reforestación, forestación y reducción de la deforestación en países no incluidos en el Anexo I y así aumentar el secuestro y almacenamiento de carbono.

De esta manera, los bosques juegan un papel importante no sólo como factores de desarrollo de un país y de su modelo de sustentabilidad, sino también como principales fuentes de almacenamiento de carbono (Gayoso y Schlegel, 2001). Sin embargo, la información cuantitativa de biomasa almacenada en los ecosistemas y en árboles individuales, así como las tasa de cambio en la cobertura y masa forestal es escasa (Dauber *et al.*, 2006). Por tanto, para tener una mejor confiabilidad de los datos es necesario contar con mejores estudios que permitan conocer de manera confiable las existencias e incremento de biomasa y carbono almacenado en los ecosistemas forestales, los cuales sumados a la forestación y al manejo adecuado de la cobertura forestal, garanticen un uso sustentable para las futuras generaciones.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló en los bosques del Ejido de Atopixco, localizado en la parte Este del Municipio de Zacualtipán, Hidalgo. Las coordenadas geográficas extremas son 20° 35' y 20° 37' de Latitud Norte y 98° 35' y 98° 37' de Longitud Oeste.

La región se ubica en la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental y Subprovincia Sierra de Zacualtipán, en la vertiente del golfo caracterizada por una topografía accidentada con pequeñas mesetas en las partes altas (Pérez, 1999).

Las especies seleccionadas para el desarrollo de las ecuaciones, corresponden a especies dominantes del bosque mesófilo de montaña, entre las que se encuentran *Pinus patula*, *P. teocote*, *Liquidambar macrophylla*, *Clethra mexicana*, *Quercus affinis*, *Q. rugosa*, *Q. excelsa*, *Quercus* spp., *Alnus jorullensis*, *Prunus serotina*, *Carpinus caroliniana* y *Viburnum ciliatum* (Alcántara y Luna, 2001).

IV.1. MUESTREO

Se seleccionaron y derribaron un total de 62 árboles, de los cuales 22 corresponde a *Pinus teocote*, 15 a *Liquidambar macrophylla*, 14 a *Quercus* spp y las 11 restantes corresponden a *Clethra mexicana*, *Prunus serotina*, *Alnus jorullensis*, *Carpinus caroliniana* y *Viburnum ciliatum*. En el Anexo 1, se resumen las características dasométricas, pesos verdes y pesos secos de cada componente estructural por árbol.

A cada árbol se le midieron y registraron las variables dasométricas de diámetro normal (D) a 1.3 m sobre el nivel del suelo y altura total (H). Posteriormente, se derribó a 0.3 m sobre el nivel del suelo y se separaron los componentes estructurales (fuste, ramas y hojas). El fuste se seccionó para ser pesado y obtener muestras de madera. Los individuos menores a 5 cm de diámetro normal, se cortaron a ras del suelo separando sus componentes estructurales y se transportaron al laboratorio. A cada uno de los individuos se le registró su peso fresco por componente, el cual fue sumado para obtener el peso fresco total. La metodología usada fue similar a la descrita por Hitchcock y McDonnell (1979).

Para el cálculo del volumen total del fuste, se cubicó cada troza con la fórmula de Smalian (Romahn *et al.*, 1994).

Para obtener la relación peso seco/peso fresco de cada individuo, por componente, y calcular la biomasa total, se obtuvieron secciones transversales del fuste (rodajas) de aproximadamente 5 cm de espesor, así como muestras de hojas y ramas. Se registró el peso fresco de cada muestra y se etiquetaron para su traslado al laboratorio. Se secaron en estufas de circulación forzada a una temperatura de 72 ° por un tiempo aproximado de 72 horas o hasta tener peso constante y se determinó su peso seco.

La relación peso seco/peso verde de cada rodaja se utilizó para obtener el peso seco del fuste. El mismo procedimiento se utilizó para obtener el peso seco de ramas y hojas. La suma de todos los pesos secos dio como resultado la biomasa aérea total del árbol.

En lo que respecta a la relación peso seco/peso verde y biomasa total de *Pinus patula*, se utilizaron los datos provenientes del análisis realizado por Figueroa (2007) en el Ejido la Mojonera. La muestra consistió de un total de 18 individuos.

IV.2. PROCEDIMIENTO ESTADÍSTICO

Una vez determinada la biomasa aérea total y por componente de cada individuo, fue necesario ajustar modelos matemáticos que relacionen la biomasa con una o más variables explicativas del árbol. A pesar de las distintas ecuaciones válidas para modelar la biomasa, todas derivan de formas matemáticas lineales y no lineales (Parresol, 1999), lo cual nos da un mejor punto de comparación entre los valores de los estadísticos que un modelo con las variables transformadas (logaritmos) (Reyes, 2006).

El análisis se realizó a través de un sistema de ecuaciones, tomando en cuenta que los componentes estructurales de un mismo árbol presentan una correlación identificable entre ellos. Se partió del sistema básico donde el volumen del fuste (V) es usualmente considerado como una función (f) de diámetro (D) y la altura (H) y un factor de forma (F). $V = f(D, H, F)$ (Clutter *et al.*, 1983). Para determinar la biomasa total del fuste (variable respuesta), se dependerá de los valores del volumen (variable independiente) y una constante, la cual funge como el factor de expansión de biomasa (δ). Es decir, la biomasa total (B_f) es una función del volumen y un factor (peso/volumen) de la forma $B_f = g(V; \delta)$.

Ahora bien, conocer la distribución de la biomasa en cada uno de los componentes dependerá de los valores de la biomasa total y un factor de partición. Así, cada componente estructural (variable dependiente) estarán en función de la biomasa total (variable independiente) y el factor de partición, teniendo así para el fuste, hojas, ramas y corteza funciones de la forma: $B_{fuste} = h(B_t; \theta)$, $B_{hojas} = i(B_t; \phi)$, $B_{ramas} = j(B_t; \varphi)$, $B_{corteza} = k(B_t; \delta)$. Donde una de las propiedades que deben cumplir estas funciones es la llamada aditividad, la cual consiste en que la suma de las fracciones $(\theta + \phi + \varphi + \delta = 1)$ (Parresol, 1999; Návar *et al.*, 2004).

IV.2.1. Modelos de volumen

El volumen de madera contenida en un árbol genera información muy valiosa para tomar decisiones en un estudio. Los modelos de volumen son expresiones matemáticas que permiten estimar el volumen en función de otras variables del árbol de fácil medición. Partiendo de estas condicionales, los modelos utilizados para el cálculo del volumen son los de la variable combinada y el de Schumacher y Hall, ya que han sido ampliamente usados para predecir volumen de árboles individuales en la elaboración de tablas de volumen (Valdez y Lynch, 2000).

Los parámetros de regresión para volumen se obtuvieron por medio de mínimos cuadrados, ajustando los modelos como un sistema de ecuaciones aparentemente no relacionados (Parresol, 1999), en el que el elemento de juicio para ser seleccionados correspondieron a un coeficiente de determinación (R^2) elevado, suma de los cuadrados del error (SCE) baja y cuadrados medios del error (CME) bajos (Návar *et al.*, 2004; Rentería, 1995). Se analizaron los datos de manera conjunta con la finalidad de medir por medio de una variable indicadora el efecto cualitativo entre el grupo de especies. El uso de dicha variable

nos permite contrastar si el efecto del factor cualitativo es relevante (Draper y Smith, 1966), es decir, si hay diferencias entre el grupo de especies (Pino y Latifoliadas).

Para diferenciar entre grupo de especies se programó dentro de los modelos de la variable combinada y Schumacher y Hall la siguiente variable indicadora

$$Z = \begin{cases} 1 & \text{si el grupo es } P. \text{ teocote} \\ 0 & \text{si el grupo es latifoliadas} \end{cases}$$

De tal manera que los modelos para la estimación de volumen quedan definidos de la siguiente manera.

$$V = (\beta_0 + \beta_{0p} \times Z) + (\beta_1 + \beta_{1p} \times Z) \times (D^2 H) \dots\dots\dots \text{Variable combinada}$$

$$V = (\beta_0 + \beta_{0p} \times Z) \times D^{(\beta_1 + \beta_{1p} \times Z)} \times H^{\beta_2} \dots\dots\dots \text{Schumacher y Hall}$$

Donde V es el volumen (m^3), D es el diámetro normal (cm), H es la altura total (m), $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ son los parámetros de regresión y β_{0p}, β_{1p} son los parámetros de adicionalidad debido a *P. teocote*.

Establecida la relación matemática, los modelos se ajustaron, para determinar si existe diferencia entre el grupo de especies. Sin embargo, considerando los criterios de evaluación presentados en los resultados, los modelos tienden a ser reducidos quedando de la siguiente manera:

$$V = \beta_0 + (\beta_1 + \beta_{1p} \times Z) \times (D^2 H) \dots\dots\dots \text{Variable combinada}$$

$$V = \beta_0 \times D^{(\beta_1 + \beta_{1p} \times Z)} \times H^{\beta_2} \dots\dots\dots \text{Schumacher y Hall}$$

Estos modelos, se sometieron a análisis para determinar el valor de los parámetros de ajuste. Para cumplir con los objetivos del presente trabajo el modelo usado para la estimación del volumen total del fuste es el modelo de Schumacher y Hall, debido a que

cuenta con un parámetro más que el de la variable combinada y por ello presenta mejores ajustes. De tal manera que el modelo de volumen queda definido de la siguiente forma:

$$V = \beta_0 \times D^{(\beta_1 + \beta_1 p)} \times H^{\beta_2} \dots\dots\dots P. \text{ teocote} \quad (1)$$

$$V = \beta_0 \times D^{\beta_1} \times H^{\beta_2} \dots\dots\dots \text{Latifoliadas} \quad (2)$$

En el caso del volumen de *Pinus patula*, como los datos provenientes del análisis realizado por Figueroa (2007) carecen de volumen observado fue necesario hacer su estimación en base al modelo presentado por Carrillo *et al.*, (2004), para una región geográficamente cercana el área de estudio de la forma $V = e^{-9.7688} \times (D^2 H)^{0.9451}$.

IV.2.2. Modelos de biomasa y distribución de biomasa

Para conocer la biomasa de cada individuo, se partió del supuesto de que la biomasa (peso) es una función directa del volumen (m^3), multiplicada por un factor el cual también es llamado comúnmente factor de expansión de biomasa (FEB). Así, que la expresión matemática que representa este criterio es de forma lineal de la siguiente forma:

$$B_i = (\delta_0 + \delta_{0p}) \times V \dots\dots\dots P. \text{ teocote} \quad (3)$$

$$B_i = \delta_0 \times V \dots\dots\dots \text{Latifoliadas} \quad (4)$$

Para poder obtener el factor de expansión de biomasa para *P. teocote*, es necesario sumar el valor del parámetro δ_0 más el parámetro δ_{0p} , mientras que para las latifoliadas el factor de biomasa es directamente el valor proporcionado por el parámetro δ_0 .

La distribución de biomasa en cada componente se basó en el supuesto de que la suma de cada una de ellas corresponde a la biomasa total, es decir la biomasa de cada componente (variable respuesta), está en función de la biomasa total (variable independiente)

multiplicada por un factor fraccionario. Las expresiones matemáticas que mejor se ajustan a estos supuestos corresponden a los modelos siguientes para *P. teocote* y latifoliadas de la forma.

$$B_{fuste} = (\theta_0 + \theta_{0P} \times Z) \times B_t \dots\dots\dots \text{Fuste} \quad (5)$$

$$B_{hojas} = (\phi_0 + \phi_{0P} \times Z) \times B_t \dots\dots\dots \text{Hojas} \quad (6)$$

$$B_{ramas} = (\varphi_0 + \varphi_{0P} \times Z) \times B_t \dots\dots\dots \text{Ramas} \quad (7)$$

$$B_{corteza} = (\partial_0 + \partial_{0P} \times Z) \times B_t \dots\dots\dots \text{Corteza} \quad (8)$$

Al igual que en la biomasa total, para conocer la distribución de la biomasa en cada componente estructural del árbol, es necesario sumar o restar el efecto de la variable cualitativa sobre cada uno de los parámetros de regresión por componente. Así, para conocer la proporción de biomasa concentrada en el fuste de *P. teocote*, se debe sumar el valor del parámetro θ_{0P} al parámetro θ_0 y ser multiplicado por la biomasa total. Para conocer la biomasa en las acículas se debe sumar el valor del parámetro asociado ϕ_{0P} a la variable Z, al valor del parámetro ϕ_0 . Para el caso de las ramas el efecto es el mismo al de las hojas. Por último, conocer la cantidad de biomasa presente en la corteza se debe sumar el valor ∂_{0P} asociado a la variable Z, al valor del parámetro ∂_0 y ser multiplicado por la biomasa total. De esta forma los modelos de partición de biomasa para latifoliadas son:

$$B_{fuste} = \theta_0 \times B_t \dots\dots\dots \text{Fuste} \quad (9)$$

$$B_{hojas} = \phi_0 \times B_t \dots\dots\dots \text{Hojas} \quad (10)$$

$$B_{ramas} = \varphi_0 \times B_t \dots\dots\dots \text{Ramas} \quad (11)$$

$$B_{corteza} = \partial_0 \times B_t \dots\dots\dots \text{Corteza} \quad (12)$$

Para las latifoliadas la proporción de biomasa en cada uno de los componentes se obtiene directamente de multiplicar el valor de los parámetros estimados θ_0 , ϕ_0 , φ_0 y ∂_0 para cada componente por la biomasa total.

Los parámetros de regresión se obtuvieron a través del empleo del ajuste SUR (*Seemingly Unrelated Regressions*) conocida también como mínimos cuadrados generalizados conjuntos (Parresol, 1999).

En lo que respecta a *P. patula*, la literatura sólo dispone de modelos de biomasa en función del diámetro y altura. Por lo tanto, para conocer la relación biomasa total/volumen total, fue necesaria su generación a partir del volumen estimado. El supuesto fue similar al de las otras especies donde la biomasa es considerada como una función directa del volumen multiplicada por un factor (peso), teniendo que la función matemática que cumple este supuesto es de la forma:

$$B_t = \alpha_0 + \alpha_1 \times \hat{V} \dots\dots\dots P. patula \quad (13)$$

Donde B_t es la biomasa aérea total, α_0 y α_1 son los parámetros de regresión y $\hat{V}$ es el volumen estimado.

Para conocer la distribución de la biomasa en cada uno de los componentes estructurales del árbol se utilizaron los modelos generados para esta especie por Figueroa (2007).

IV.3. INVENTARIO DE VOLUMEN Y BIOMASA AÉREA EN BOSQUES MANEJADOS

Determinados los modelos que permitan conocer de manera simultanea el volumen, la biomasa total y su distribución en cada uno de los componentes estructurales, surge la pregunta ¿cómo utilizarlos? y ¿para qué sirven? Por esta razón se decidió ejemplificar su

uso con datos provenientes de un inventario. Los datos utilizados provienen del inventario realizado en el Ejido de Atopixco durante el año 2006 por Aguirre (2007). El área de estudio fue dividida en estratos, los cuales corresponden a las anualidades o ciclos de corta de 1982 a 2001, dentro de cada uno de los estratos se establecieron 3 sitios al azar de 400 m² cada uno.

Las variables utilizadas para ejemplificar el presente inventario correspondieron a diámetro normal y altura total, donde el primer paso consistió en determinar el volumen con base en las fórmulas ya mencionadas respectivamente, las cuáles hacen uso de las variables tomadas en el inventario. Determinado el volumen se procedió a estimar la biomasa aérea total de cada individuo con base en los modelos de biomasa presentados para este fin, es decir solo se tiene que multiplicar el factor de expansión de biomasa presentado para cada especie con su volumen respectivo. Obtenida la biomasa total de cada individuo el siguiente paso fue obtener la distribución de la biomasa en cada uno de los componentes estructurales (fuste, ramas y hojas), donde lo único que se tiene que hacer es multiplicar la biomasa total por cada uno de los factores dados a cada componente estructural, obteniendo así el porcentaje dado a cada componente respectivamente.

Una vez generada la base completa de volumen, biomasa total y por componente de cada individuo, el siguiente paso consistió en determinar el inventario de cada uno de los componentes existentes en el área de estudio. Si deseamos obtener de forma muy sencilla las estimaciones del inventario podemos utilizar el muestreo simple aleatorio. Sin embargo vale la pena considerar los lineamientos del proyecto de la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-152-SEMARNAT-2006 publicada en el Diario Oficial de la Federación el 9 de mayo del 2007, donde se estipula que el inventario maderable debe cumplir con una confiabilidad mínima del 95 % y un error de muestreo máximo del 10 %. Para mejorar las

estimaciones del inventario se implementó el diseño de muestreo al azar estratificado ya que la población fue dividida en estratos basados en las anualidades y en cada uno de estos se seleccionó una muestra aleatoria. Esto nos permite la estimación separada de parámetros dentro de cada uno de ellos.

Para esta técnica de muestreo utilizaremos una notación adicional para distinguir a cada elemento de la población. Sea:

L = Número de estratos en la población.

N = Número de unidades muestrales en la población.

N_i = Número de unidades muestrales en el estrato i .

n_i = Número de unidades en la muestra en el estrato i .

$\bar{y}_i$ = Media muestral del estrato i .

$\bar{y}_{st}$ = Media poblacional.

$N \bar{y}_{st}$ = Inventario bajo muestreo estratificado.

s^2_i = Varianza Muestral

$S^2(\bar{y}_{st})$ = Varianza de la media.

$S^2(N \bar{y}_{st})$ = Varianza del inventario.

Así pues, para poder estimar la media poblacional es necesario primero determinar la media de cada uno de los estratos y el estimador queda de la siguiente manera

$\bar{y}_{st} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L N_i \bar{y}_i$. Por lo tanto la varianza de $\bar{y}_{st}$ es la suma ponderada de las varianzas de

las medias de cada estrato, la cual queda definida de la siguiente manera:

$S^2(\bar{y}_{st}) = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^L N_i^2 \left(\frac{N_i - n_i}{N_i} \right) \left(\frac{s_i^2}{n_i} \right)$, después de haber obtenido estos estimadores, el paso

siguiente es obtener los intervalos de confianza y la expresión que lo representa se define

como $\bar{y}_{st} \pm 2\sqrt{S^2(\bar{y}_{st})}$, pero esto es sólo referente al estimador de la media de la población (inventario). Sin embargo, para conocer el total de la población, es decir el volumen y la biomasa total presente en el área de estudio, son necesarios los estimadores totales, los cuales quedan definidos como: $N\bar{y}_{st} = \sum_{i=1}^I N_i \bar{y}_i$, la varianza del inventario se deduce de la varianza de la media $S^2(N\bar{y}_{st}) = N^2 S^2(\bar{y}_{st})$, en el caso del intervalo de confianza queda definido de la forma $N\bar{y}_{st} \pm 2\sqrt{S^2(N\bar{y}_{st})}$, por último el error de muestreo queda

definido de la siguiente manera $\frac{2\sqrt{S^2(\bar{y}_{st})}}{\bar{y}_i} \times \text{cov}$ (Scheaffer *et al.*, 1987).

V. RESULTADOS

V.1. MODELOS DE VOLUMEN

En el Cuadro 1 se presentan los estimadores de regresión, y los elementos de juicio de los modelos de la variable combinada y Schumacher y Hall, para diferenciar entre grupo de especies.

Cuadro 1. Estadísticos de bondad de ajuste para obtención de volumen de *P. teocote* y latifoliadas.

Modelos	R ²	SCE	CME	Parámetros	Estimación de los coeficientes	Error estándar	Pueb> t
Variable Combinada	0.9795	0.8036	0.0126	β_0	0.024407	0.0204	0.2349
				β_1	0.000029	0.0000014	<.0001
				β_{0p}	-0.00405	0.0413	0.9221
				β_{1p}	0.000005959	0.0000016	0.0007
Schumacher y Hall	0.9815	0.7240	0.0115	β_0	0.000191	0.000124	0.1267
				β_1	1.518615	0.1759	<.0001
				β_2	0.957048	0.1381	<.0001
				β_{0p}	-0.00014	0.000119	0.2609
				β_{1p}	0.396628	0.1940	0.0451

(R²) = Coeficiente de determinación, (SCE) = Suma de Cuadrados del Error, (CME) = Cuadrado Medio del Error, ($\beta_0, \beta_1, \beta_2$) = Parámetros de Regresión, (β_{0p}, β_{1p}) = Parámetros de adicionalidad debido al pino.

Ambos modelos presentan buenos ajustes. Pero de acuerdo a lo planteado para saber si hay diferencias entre grupo de especies, los resultados indican que el efecto de la variable indicadora Z es significativo. Es decir, estadísticamente hay diferencias entre ambos grupos. Lo que da pie a la reducción de los modelos. El Cuadro 2 presenta los valores de los estadísticos.

Cuadro 2. Estadísticos de bondad de ajuste para obtención de volumen de *P. teocote* y latifoliadas

Modelos	R ²	SCE	CME	Parámetros	Estimación de los Coeficientes	Error estándar	Pueb>t
Variable combinada	0.9795	0.8037	0.0124	β_0	0.023422	0.0176	0.1872
				β_1	0.000029	0.0000039	<.0001
				$\beta_1 p$	0.000005865	0.0000037	<.0001
Schumacher	0.9806	0.7584	0.0118	β_0	0.000082	0.000083	0.0341
y				β_1	1.785782	0.0899	<.0001
Hall				β_2	0.915827	0.1373	<.0001
				$\beta_1 p$	0.063738	0.0156	0.0001

(R²) = Coeficiente de determinación, (SCE) = Suma de Cuadrados del Error, (CME) = Cuadrado Medio del Error, ($\beta_0, \beta_1, \beta_2$) = Parámetros de Regresión, (β_{1p}) = Parámetros de adicionalidad debido al pino.

Tomando en cuenta la expresión matemática de los modelos (1) y (2) y los valores de los parámetros presentes en el Cuadro 2 para el modelo de Schumacher y Hall, los modelos para la estimación de volumen de *P. teocote* y latifoliadas quedan de la siguiente forma.

$$V = 0.000082 \times D^{1.84952} \times H^{0.915827} \dots\dots\dots P. teocote$$

$$V = 0.000082 \times D^{1.785782} \times H^{0.915827} \dots\dots\dots \text{Latifoliadas}$$

Se observa que la proporción de volumen del fuste de *P. teocote* con respecto al de latifoliadas es mayor (Figura 1) para el mismo diámetro, esto se debe principalmente a que el crecimiento e incremento del árbol es diferente para ambos grupos reflejado en una morfología diferente (Kozlowski, 1971; Klepac, 1983).

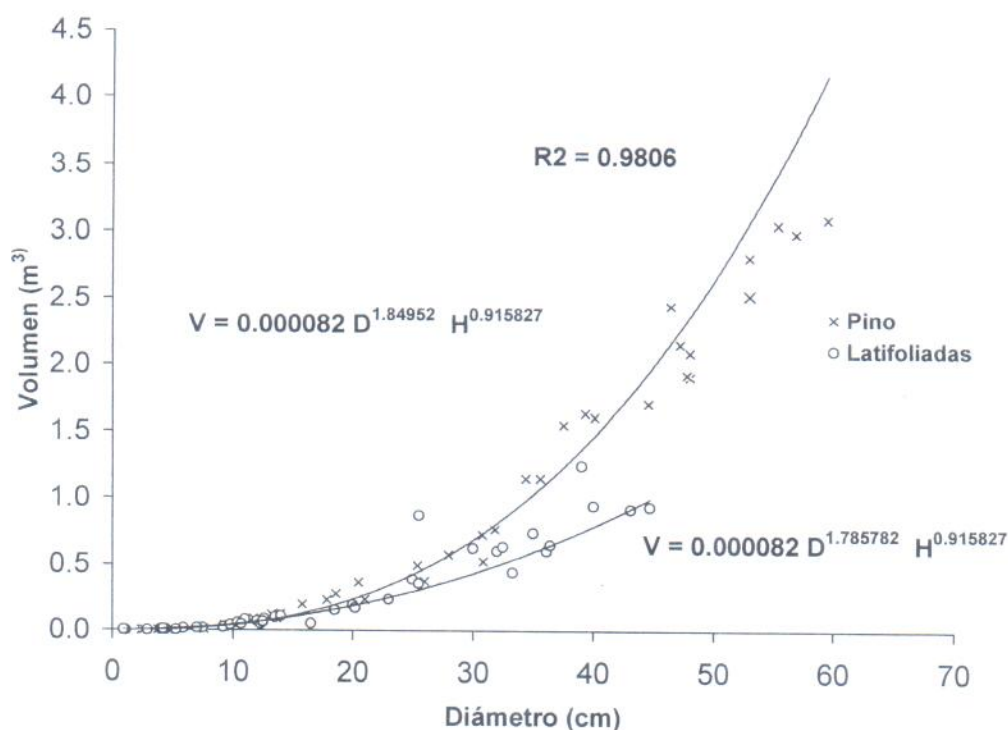


Figura 1. Volumen total de fuste para el grupo de *P. teocote* y latifoliadas con sus respectivos valores de ajuste respecto al diámetro.

V.2 MODELOS DE BIOMASA

En el Cuadro 3 se presentan los resultados del análisis de regresión lineal, para obtener el valor de los estimadores de bondad de ajuste para los modelos de biomasa total.

Cuadro 3 Valor de los estadísticos de bondad de ajuste para la estimación de biomasa total de *P. teocote* y latifoliadas.

R^2	SCE	CME	Parámetros	Estimación de los coeficientes	Error estándar	Pueb> t
0.9512	829949	12575	δ_0	905.1358	37.7183	<.0001
			δ_{0p}	-281.866	40.8072	<.0001

(R^2) = Coeficiente de Determinación, (SCE) = Suma de Cuadrados del Error, (CME) = Cuadrado Medio del Error, (δ_0) = Parámetro de Regresión, (δ_{0p}) = Parámetros de adicionalidad debido al pino.

Ahora bien, tomado en cuenta el valor de los coeficientes del Cuadro 3 y la expresión matemática de los modelos (3) y (4), las ecuaciones de biomasa aérea total quedan definidas como:

$$B_t = 623.2698 \times V \dots\dots\dots P. teocote$$

$$B_t = 905.1358 \times V \dots\dots\dots \text{Latifoliadas}$$

En las cuales se puede observar que el grupo de latifoliadas presenta una mayor cantidad de biomasa total por metro cúbico de madera de fuste con respecto a *P. teocote* (Figura 2). Es decir que por cada metro cúbico de madera de fuste las latifoliadas presentan 905.14 kg de peso seco. De tal manera que estos valores son una constante, el cual también es considerado como el factor de expansión de biomasa FEB en kg/m^3 que al ser multiplicado por el volumen del fuste nos dará directamente la biomasa seca total. Esto se explica por un mayor volumen y por lo tanto biomasa, en el ramaje de las latifoliadas.

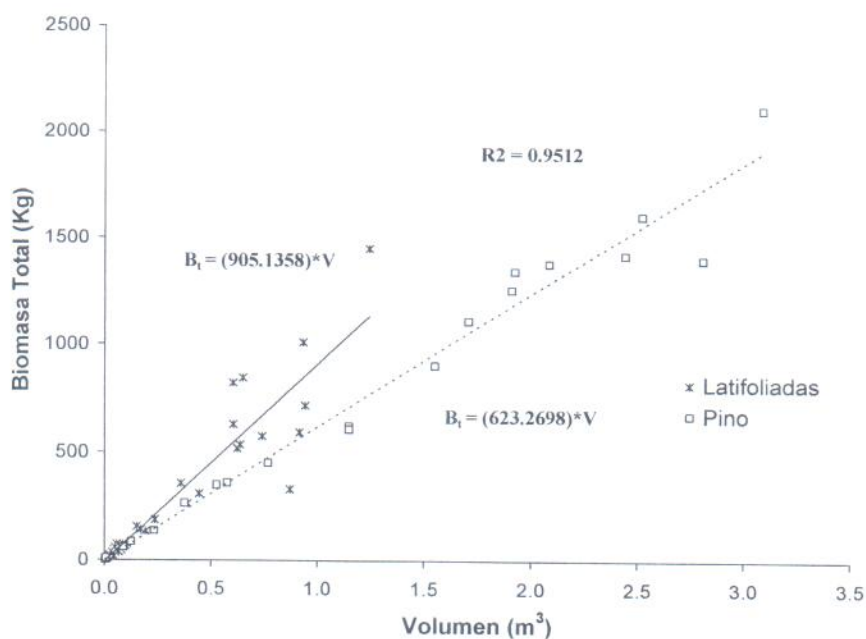


Figura 2. Relación entre biomasa total y volumen total del fuste de *P. teocote* y latifoliadas y sus valores de ajuste.

El Cuadro 4 presenta los ajustes del análisis realizado para obtener los parámetros de estimación de la biomasa de *P. patula*.

Cuadro 4. Valor de los estadísticos de bondad de ajuste para biomasa de *P. patula*.

R^2	SCE	CME	Parámetros	Estimación de los coeficientes	Error estándar	Pueb> t
0.9747	185350.79	11584.42	α_0	-8.2874	-0.2634	0.7955
			α_1	612.118	24.8426	<.0003

(R^2) = Coeficiente de Determinación, (SCE) = Suma de Cuadrados del Error, (CME) = Cuadrado Medio del Error, (α_0 , α_1) = Parámetros de Regresión.

Teniendo en cuentas los valores presentados en el Cuadro 4 y la expresión matemática del modelo (13), la ecuación para la estimación de biomasa total es de la forma

$$B_i = -8.2874 + 612.118 \times \hat{V} \dots\dots\dots P. patula$$

V.3. MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE BIOMASA

En el Cuadro 5 se presentan los ajustes del análisis realizado para conocer la distribución de la biomasa en cada uno de los componentes estructurales del árbol.

$$B_{\text{corteza}} = 0.080233 \times B_t \dots\dots\dots \text{Latifoliadas}$$

En lo que respecta al fuste, las coníferas destinan más biomasa con un 66.5 %, mientras que las latifoliadas un 49.1 %. Para hojas, las latifoliadas presentan una mayor distribución que pino, 4.1 % contra 3.3 %, respectivamente. Aunque la proporción de hojas no difiere grandemente entre grupos las latifoliadas presentan una mucha mayor distribución de biomasa en las ramas que las confieras, con 38 % y 18 %, respectivamente. En corteza las coníferas presentan mayor proporción de biomasa comparada con las latifoliadas (12 % contra 8 %, respectivamente Figura 3). Esta variación entre grupos es atribuible a las diferencias entre las funciones fisiológicas y morfológicas de los grupos definidos (Kozlowski, 1971; Zimmermann y Brown, 1980).

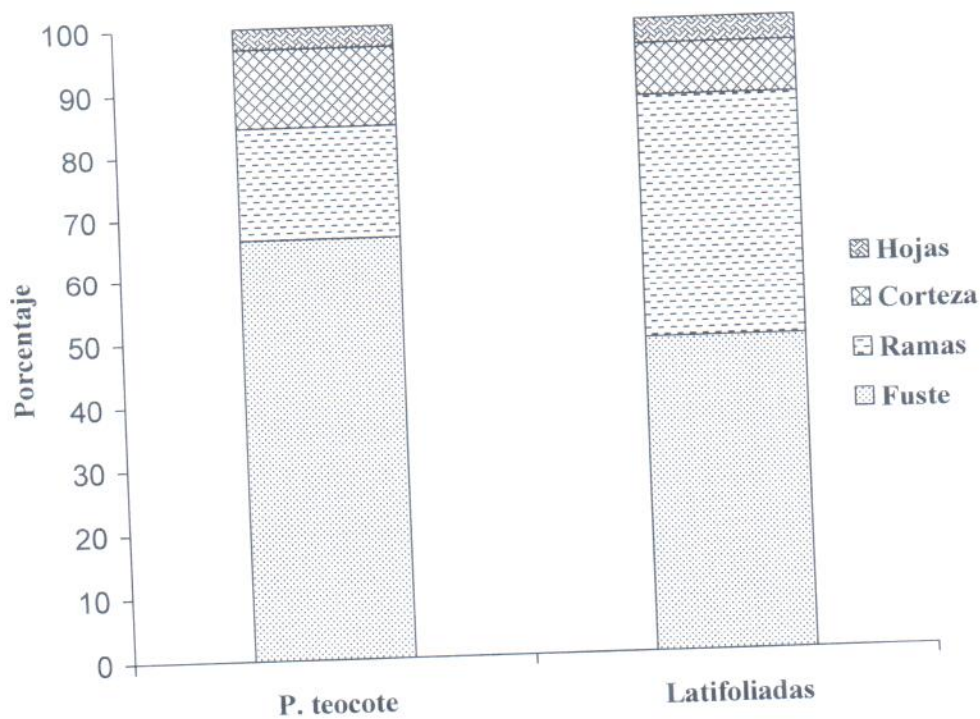


Figura 3. Distribución de la biomasa en cada uno de los componentes estructurales de *P. teocote* y latifoliadas basada en los factores de partición estimados.

Para el caso de la distribución de la biomasa en cada componente de *P. patula*, se utilizaron los modelos generados por Figueroa (2007) para esta especie, De tal manera que, para el fuste se tiene el modelo de la forma $B_{fuste} = 0.777477 \times B_t$, para ramas $B_{ramas} = 0.095358 \times B_t$, para corteza $B_{corteza} = 0.115629 \times B_t$ y para hojas de la forma $B_{follaje} = 29.440.890 \times \exp\left(\frac{-26.519}{D}\right)$.

En la literatura se reporta el mismo patrón de distribución de biomasa en cada componente, el cual varía de acuerdo a la especie y sitio. Para *P. patula* Figueroa (2007) reporta una partición de biomasa de 78 % en fuste, 12 % en corteza, 10 % en ramas. Díaz (2005) reporta 77 % en el fuste, 12 % en ramas y 11 % en hojas y Castellanos *et al.*, (1996) reportaron 72 % en el fuste, 16 % en ramas, 9 % en corteza y en las hojas 3 %. En cuanto a latifoliadas, Monroy y Návar (2004) reportaron para *Hevea brasiliensis* una distribución de biomasa en fuste y ramas de 73.88 % y 27.09 %, respectivamente. Gayoso, *et al.*, (2002) encontraron 71.35 % en el fuste, 13.44 % en ramas, 10.92 % en corteza y 4.28 % en hojas para especies nativas y exóticas de Chile.

V.4. INVENTARIO DE VOLUMEN Y BIOMASA AÉREA

En el Cuadro 6 se enlistan las especies encontradas en el área de estudio, así como su densidad promedio por hectárea. Encontrando que las especies dominantes para latifoliadas corresponde a *Q. laurina* y para coníferas *P. patula*.

Cuadro 6. Composición de especies del bosque manejado de Atopixco, Zacualtipán, Hidalgo.

Especie	Densidad No/ha
Latifoliadas	
<i>Quercus laurina</i>	190.9
<i>Quercus rugosa</i>	77.7
<i>Alnus jorullensis</i>	44.6
No identificada	27.0
<i>Arbutus xalapensis</i>	13.5
<i>Quercus crassipes</i>	6.9
<i>Vaccinium sp.</i>	6.4
<i>Quercus excelsa</i>	1.5
<i>Quercus sp.</i>	1.5
<i>Ternstroemia sp.</i>	0.7
<i>Clethra mexicana</i>	1.0
Total	371.6
Coníferas	
<i>Pinus patula</i>	1,166.4
<i>Pinus teocote</i>	291.4
<i>Pinus montezumae</i>	31.0
Total	1,488.8

Como se observa, el área de estudio se encuentra en su gran mayoría dominada por *P. patula*, *P. teocote* y *Quercus laurina*. Los montes del Ejido de Atopixco son bosques puros de *P. patula*, los cuales ha sido manejador bajo el método de árboles padres, teniendo un área basal promedio por hectárea de 20.62 m² de pinos y 2.1 m² para latifoliadas.

En el Cuadro 7 se presenta el valor de los estimadores por sitio de 400 m², los cuales se obtuvieron a través de muestreo al azar estratificado de un total de 105 sitios muestreados, con una intensidad de muestreo del 1.5 %. Las dos primeras filas de cada grupo contienen los parámetros poblacionales, siendo estos la referencia contra la cual se debe juzgar todas las estimaciones.

Cuadro 7. Valores estimados promedio por sitio de 400 m² bajo muestreo al azar estratificado para latifoliadas y pinos, del bosque del Ejido Atopixco, Zacualtipán, Hidalgo.

Estimadores	Coníferas					
	Vol (m ³)	B T (t)	B F (t)	B R (t)	B C (t)	B H (t)
Media	5.889	3.702	2.735	0.367	0.415	0.185
Varianza de la muestra	3.3E-02	1.2E-02	6.9E-03	1.8E-04	1.7E-04	2.4E-05
Intervalo de confianza sup. al 95%	6.251	3.931	2.902	0.394	0.441	0.194
Intervalo de Confianza inf. al 95%	5.526	3.474	2.569	0.341	0.389	0.175
Error de muestreo	0.062	0.062	0.061	0.072	0.062	0.053

Estimadores	Latifoliadas					
	Vol (m ³)	B T (t)	B F (t)	B R (t)	B C (t)	B H (t)
Media	0.459	0.415	0.204	0.161	0.033	0.017
Varianza de la muestra	1.0E-03	8.2E-04	2.0E-04	1.2E-04	5.2E-06	1.4E-06
Intervalo de confianza sup. al 95 %	0.522	0.472	0.232	0.183	0.038	0.019
Intervalo de Confianza inf. al 95 %	0.396	0.358	0.176	0.139	0.028	0.015
Error de muestreo	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137

Vol = Volumen, B T = Biomasa Total, B F = Biomasa del Fuste, B R = Biomasa de Ramas, B C = Biomasa de Corteza, B H = Biomasa de Hojas, t = Toneladas.

El error de muestreo para cada uno de los componentes es proporcional, debido a que como la biomasa calculada es una función directa del volumen este error es constante en todos los demás componentes.

Al comparar estos resultados, con los obtenidos a través de muestreo simple aleatorio para los mismos datos, observamos que nuestro error de muestro incrementa y por ende los estimadores poblacionales no son tan precisos. El Cuadro 8 resume estos resultados.

Cuadro 8. Valores estimados promedio por sitio de 400 m² bajo muestreo simple al azar para latifoliadas y pinos, del bosque del Ejido Atopixco, Zacualtipán, Hidalgo.

Estimadores	Coníferas					
	Vol (m ³)	B T (t)	B F (t)	B R (t)	B C (t)	B H (t)
Media	4.9678	3.1314	2.3048	0.3129	0.3502	0.1635
Varianza de la muestra	15.6459	5.6842	3.4973	0.0493	0.0755	0.0151
Intervalo de confianza sup. al 95 %	5.1145	3.1656	2.3376	0.3134	0.3510	0.1636
Intervalo de Confianza inf. al 95 %	4.8211	3.0974	2.2720	0.3125	0.3495	0.1634
Error de muestreo	0.1542	0.1534	0.1571	0.1374	0.1519	0.1455
	Latifoliadas					
	Vol (m ³)	B T (t)	B F (t)	B R (t)	B C (t)	B H (t)
Media	0.4279	0.3874	0.1901	0.1504	0.0311	0.0158
Varianza de la muestra	0.2130	0.1745	0.0420	0.0263	0.0011	0.0003
Intervalo de confianza sup. al 95 %	0.4300	0.3880	0.1905	0.1506	0.0311	0.0158
Intervalo de Confianza inf. al 95 %	0.4259	0.3867	0.1897	0.1501	0.0311	0.0158
Error de muestreo	0.2119	0.2119	0.2119	0.2119	0.2119	0.2119

Vol = Volumen, B T = Biomasa Total, B F = Biomasa del Fuste, B R = Biomasa de Ramas, B C = Biomasa de Corteza, B H = Biomasa de Hojas, t = toneladas.

Por lo cual a la hora de establecer las metodologías de muestreo para un inventario se deben tomar en cuenta los objetivos y la información a coleccionar, para que la generación de nuestros estimadores sea confiable y de esto depende el éxito de nuestro inventario (Schreuder *et al.*, 2006).

Los valores estimados por sitio fueron extrapolados a nivel poblacional, con la finalidad de conocer las existencias de volumen y biomasa aérea total en cada estrato (anualidad) y por ende las existencias reales totales. En los Cuadros 9 y 10 se presentan las existencias de volumen, biomasa y su distribución en cada componente estructural por anualidad del grupo de coníferas y latifoliadas, respectivamente.

Cuadro 9. Inventario de volumen, biomasa total y biomasa en cada componente de pino, del bosque del Ejido Atopixco, Zacualtipán, Hidalgo.

Anualidad	Superficie (ha)	Volumen (m ³)	Biomasa (ton)				Total
			Fuste	Ramas	Corteza	Hojas	
1982	12.4	2991.42	1200.57	323.62	222.15	59.98	1806.31
1983	14.69	4785.32	1920.53	517.68	355.37	95.95	2889.53
1984	8.32	1595.77	640.44	172.63	118.51	32.00	963.58
1985	13.33	3878.94	1556.76	419.63	288.06	77.78	2342.23
1986	10.99	3116.20	1250.65	337.12	231.42	62.48	1881.66
1987	11.98	3337.01	1339.27	361.00	247.81	66.91	2015.00
1988a	12.56	2917.15	1170.76	315.58	216.63	58.49	1761.47
1988b	8.26	1348.30	541.12	145.86	100.13	27.04	814.15
1988c	6.02	266.12	110.24	29.72	20.40	5.51	165.87
1989c	9.58	442.90	177.75	47.91	32.89	8.88	267.44
1990	2.28	508.90	204.24	55.05	37.79	10.20	307.29
1990b	7.69	814.37	330.97	89.21	61.24	16.54	497.96
1991	2.27	402.22	161.42	43.51	29.87	8.07	242.87
1991b	12.33	1005.95	414.80	111.81	76.75	20.72	624.09
1992	8.14	622.60	251.05	67.67	46.45	12.54	377.72
1993	6.96	1699.13	681.93	183.82	126.18	34.07	1025.99
1993b	6.38	536.51	222.26	59.91	41.13	11.10	334.39
1993c	10.2	804.33	322.81	87.01	59.73	16.13	485.68
1994	8.38	1912.21	767.44	206.87	142.00	38.34	1154.65
1994b	3.81	157.88	64.21	17.31	11.88	3.21	96.60
1995	10.16	1114.92	447.46	120.61	82.80	22.36	673.22
1995b	17.44	1583.10	648.20	174.73	119.94	32.39	975.26
1996	7.1	1130.31	453.64	122.28	83.94	22.66	682.52
1996b	5.89	394.13	158.18	42.64	29.27	7.90	237.99
1996c	4.94	251.44	102.40	27.60	18.95	5.12	154.07
1997	4.26	603.67	242.27	65.31	44.83	12.10	364.51
1997b	1.33	63.24	25.38	6.84	4.70	1.27	38.18
1997c	6.72	205.09	82.86	22.34	15.33	4.14	124.67
1998	10.67	751.95	301.79	81.35	55.84	15.08	454.05
1998b	3.69	58.16	23.70	6.39	4.39	1.18	35.67
1999	5.51	131.99	52.97	14.28	9.80	2.65	79.70
1999b	5.16	135.03	55.32	14.91	10.24	2.76	83.23
1999c	1.62	52.53	21.64	5.83	4.00	1.08	32.56
2001	4.99	34.53	13.86	3.74	2.56	0.69	20.85
2001b	4.33	151.26	62.34	16.80	11.54	3.11	93.80
Total	270.38	39,804.57	16,021.22	4,318.57	2,964.51	800.44	24,104.74

Cuadro 10. Inventario de volumen, biomasa total y biomasa en cada componente de latifoliadas, del bosque del Ejido Atopixco, Zacualtipán, Hidalgo.

Anualidad	Superficie (ha)	Volumen (m ³)	Biomasa (ton)				Total
			Fuste	Ramas	Corteza	Hojas	
1982	12.4	127.91	56.82	44.95	9.29	4.72	115.77
1983	14.69	111.54	49.54	39.20	8.10	4.11	100.96
1984	8.32	90.97	40.41	31.97	6.61	3.36	82.34
1985	13.33	24.65	10.95	8.66	1.79	0.91	22.31
1986	10.99	82.40	36.60	28.96	5.98	3.04	74.59
1987	11.98	40.26	17.88	14.15	2.92	1.49	36.44
1988a	12.56	292.31	129.84	102.73	21.23	10.78	264.58
1988b	8.28	99.76	44.31	35.06	7.24	3.68	90.29
1988c	6.02	26.74	11.88	9.40	1.94	0.99	24.20
1989c	9.58	4.52	2.01	1.59	0.33	0.17	4.09
1990	2.28	15.26	6.78	5.36	1.11	0.56	13.82
1990b	7.69	34.86	15.48	12.25	2.53	1.29	31.55
1991	2.27	13.30	5.91	4.67	0.97	0.49	12.04
1991b	12.33	198.51	88.18	69.76	14.42	7.32	179.68
1992	8.14	22.32	9.91	7.84	1.62	0.82	20.20
1993	6.96	136.05	60.43	47.81	9.88	5.02	123.14
1993b	6.38	55.40	24.61	19.47	4.02	2.04	50.15
1993c	10.2	376.51	167.24	132.32	27.34	13.89	340.79
1994	8.38	74.14	32.93	26.06	5.38	2.74	67.11
1994b	3.81	59.73	26.53	20.99	4.34	2.20	54.06
1995	10.16	460.95	204.75	162.00	33.48	17.00	417.22
1995b	17.44	144.50	64.18	50.78	10.49	5.33	130.79
1996	7.1	207.50	92.17	72.92	15.07	7.65	187.82
1996b	5.89	42.68	18.96	15.00	3.10	1.57	38.63
1996c	4.94	12.88	5.72	4.53	0.94	0.48	11.66
1997	4.26	58.76	26.10	20.65	4.27	2.17	53.18
1997b	1.33	21.87	9.72	7.69	1.59	0.81	19.80
1997c	6.72	36.81	16.35	12.94	2.67	1.36	33.32
1998	10.67	60.55	26.89	21.28	4.40	2.23	54.80
1998b	3.69	21.91	9.73	7.70	1.59	0.81	19.83
1999	5.51	69.29	30.78	24.35	5.03	2.56	62.72
1999c	1.62	0.25	0.11	0.09	0.02	0.01	0.22
2001	4.99	17.19	7.63	6.04	1.25	0.63	15.56
2001b	4.33	0.55	0.25	0.19	0.04	0.02	0.50
Total	265.24	3,042.83	1,351.59	1,069.36	220.98	112.25	2,754.18

Teniendo unas existencias totales para las coníferas de 39,804.57 m³ de volumen en fuste y una acumulación de biomasa de 24,104.74 toneladas. Para latifoliadas se tiene un total de 3,042.83 m³ de volumen de fuste y una existencia acumulada de 2,754.18 toneladas de biomasa. Cabe mencionar que estos datos son una aproximación al inventario real.

Es decir, que para las coníferas se tiene un intervalo de $\pm 2,450.20 \text{ m}^3$ de volumen y de $\pm 1,489.72$ toneladas de biomasa de los valores de las existencias totales calculadas. Mientras que para las latifoliadas estos intervalos corresponden a $\pm 418.38 \text{ m}^3$ de volumen y ± 378.69 toneladas de biomasa.

VI. CONCLUSIONES

El sistema de ecuaciones alométricas propuesto en el presente trabajo no sólo permite obtener ecuaciones de utilidad práctica si no permiten también describir de manera cuantitativa las diferencias entre *P. teocote* y el grupo de especies de latifoliadas propuesto. Es posible ver que la distribución de la biomasa en ambos grupos de especies se encuentra principalmente en el fuste, seguido de las ramas, corteza y hojas.

En cuanto al modelo de Schumacher y Hall propuesto para determinar el volumen, este resultó ser más sensible a la diferencia entre los grupos con respecto al volumen que el modelo de la variable combinada, debido a que presenta más estimadores de regresión, permitiendo un mejor modelaje de los datos.

Los resultados de estas evaluaciones son de utilidad para trabajos posteriores, donde a partir de datos dasométricos generados de inventarios forestales, se pueda estimar de manera confiable la cantidad de biomasa y su distribución en cada uno de los diferentes componentes del árbol a través del volumen calculado con el diámetro y la altura. Es decir, las ecuaciones están pensadas para ser complementarias de los inventarios.

VII. RECOMENDACIONES

Para poder hacer uso de las ecuaciones generadas en el presente trabajo, se deben tomar en cuenta que fueron generadas para especies y lugar en particular, que aunque se trate de las mismas especies, los factores pueden generar errores, debido a que las condiciones de clima, exposición, densidad de los rodales, sistema silvícola aplicado, estado de desarrollo, entre otros, son diferentes de un lugar a otro. Estos criterios están basados en estudios realizados por Somogyi *et al.*, (2006) y FAO (2002).

Trabajos de distribución y almacenamiento de la biomasa en cada uno de los componentes estructurales, debe ser considerado como una herramienta esencial para la elaboración de proyectos de pago por servicios ambientales de captura de carbono, en el que se determine la concentración y la velocidad de almacenamiento en la vegetación. Así como también la biomasa es una variable que permite hacer comparaciones entre las características estructurales y funcionales de los ecosistemas forestales.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta M., M., J. J. Vargas H., A. Velázquez M. y J. Etchevers B. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36:725-736.
- Acosta, S. 2004. Afinidades de la flora genérica del algunos bosques mesófilos de montaña del noreste, centro y sur de México: un enfoque fenético. *Serie Botánica* 75 (1): 61-72.
- Aguirre S., C. A. 2007. Almacenamiento de carbono en bosques manejados de *Pinus patula*: Estimación mediante percepción remota. Tesis de Maestría. Postgrado Forestal. Colegio de postgraduados Montecillo, Estado de México. 114 p
- Alcántara A., O. e I. Luna V. 2001. Análisis florístico de dos áreas con bosque Mesófilo de Montaña en el estado de Hidalgo, México: Eloxochitlán y Tlahuelompa. *Acta Botánica Mexicana* (54): 51-87.
- Ayala L., R. S., D. Jong B. y H. Ramírez M. 2001. Ecuaciones para estimar biomasa en la Meseta Central de Chiapas. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 7 (2):153-158.
- Brown, S. and A. E. Lugo. 1984. Biomass of tropical forests: a new estimate based on forest volumes. *Science* 223 (4642): 1290-1293.
- Brown, S., J. Sathaye, M. Cannell and P. Kauppi. 1996. Mitigation of carbon emission to the atmosphere by forest management. *Commonwealth Forestry Review* 75 (1): 80-91
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest: a Primer. FAO Roma. Forestry .134 p.
- Carrillo A., F., M. Acosta M y G. Tenorio G. 2004. Tabla de volumen para *Pinus patula* Schl. et Cham. en el Estado de Hidalgo. Folleto Técnico No 2 INIFAP-SAGARPA. 16 p.
- Castellanos B., J. F., A Velázquez M., J Vargas H., C. Rodríguez F. y A. M. Fierros G. 1996. Producción de biomasa en un rodal de *Pinus patula*. *Agrociencia*. 30 (1):123-128.
- Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Piennar, G. H. Brister and R. L. Bailey. 1983. Timber management: a quantitative approach. John Wiley and Sons, Inc. New York. 333 p.
- Dayson, F. J. 1977. Can we control the carbon dioxide en the atmosphere? *Energy* 2: 287-291.
- Dauber, E., J. Terán y R. Guzmán. 2006. Estimación de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. *Forestal Iberoamericana* 1 (1): 1-10.

- Díaz F., R. 2005. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en el estrato aéreo en bosques de *Pinus patula* Schl. et Cham. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. . División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 47 p.
- Draper N., R. and H. Smith. 1966. Applied regression analysis. John Wiley & Sons New York. USA. 407 p.
- FAO. 1995. Evaluación de los recursos forestales 1990. Países tropicales. Estudio FAO Montes. Roma, Italia. pp: 32-36.
- FAO. 2001. Cambio climático y los bosques: Parte II problemas clave del sector forestal: en "Situación de los bosques en el mundo". Roma, Italia. pp 60-85.
- FAO. 2002. Evaluación y Vigilancia de los bosques. Unasylva 210 (53): 1-91.
- Fragoso, A., A. Velásquez, G. Bocco y G. Cortéz. 2001. El enfoque de paisaje en el manejo forestal de la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. Investigaciones Geográficas, Boletín del instituto de Geografía, UNAM. (46): 58-77.
- Figuerola N., C. (2007). Almacenamiento de carbono en bosques manejados de *Pinus patula* en la Mojonera, Zacualtipán, Hidalgo. Tesis de Maestría. Postgrado Forestal. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Estado de México. (en proceso).
- Garcidueñas M, A. 1987. Producción de biomasa y acumulación de nutrientes en un rodal de *Pinus montezumae* Lamb. Tesis de Maestría Colegio de Postgraduados. Montecillo., Estado de México. 243 p.
- Gayoso, J. y B. Schlegel. 2001. Proyectos forestales para mitigación de gases de efecto invernadero. Ambiente y Desarrollo XVII (1): 41-49.
- Gayoso, J., J. Guerrero y D. Alarcón. 2002. Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Universidad Austral de Chile. Valdivia.
- Hitchcock III, H. C. and J. P. McDonnell. 1979. "Biomass measurement: a synthesis of the literature". In: Proceedings of the forest inventory workshop, SAF-IUFRO. Ft. Collins, Colorado. pp: 596-614.
- Jaramillo, V. J. 2004. El ciclo global del carbono: en "Cambio climático: Una visión desde México". INE. México. Pp 77-85.
- Jenkins, J.C., D. C. Chojnacky, L. S. Heath, R. A. Birdsey. 2004. Comprehensive database of diameter-based biomass regressions for North American tree species. U. S. Department of Agriculture, Forest Service. General Technical Report NE-319. 45 p.
- Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Segunda edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 95 p.

- Kozłowski, T. T. 1971. Growth and development of tree. V. I. Seed germination, Ontogeny, and shoot growth Academia Press. New Cork, USA. 443 p.
- López R., C. 1988. Modelos para estimación de biomasa de *Pinus cembroides* Zucc. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 55 p.
- Monroy R., C. y J. J. Nívar C. 2004. Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *Hevea brasiliensis* Mull. Arg., en Veracruz, México. Madera y Bosques 10 (2): 29-43.
- Naciones Unidas. 1998. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las naciones Unidas sobre el Cambio climático. Disponible en. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>. Consultada, 18-06-07.
- Nívar C., J. J., N. González B., J. J. Graciano L., V. Dale and B. Parresol. 2004. Additive biomass equations for pine species of forest plantations of Durango, Mexico. Madera y Bosques 10 (2):17-28.
- Nívar C., J. J., E. Méndez and V. Dale. 2002. Estimating stand biomass in the Tamaulipan thornscrub of northeastern México. Ann. For Sci. 59 (8):813-821.
- Odum, E. P. 1985. Ecología. 3ª edición. Ed. Interamericana. México. 639. p.
- Parresol, B. R. 1999. Assessing tree and stand biomass. A review with examples and critical comparisons. For. Sci. 45 (4): 573-593.
- Pérez R., P.M. 1999. Las hayas de México, monografía de *Fagus grandifolia* spp. *Mexicana*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 51 p.
- Rentería A., J. B. 1995. Sistema de cubicación para *Pinus cooperi* Blanco mediante ecuaciones de ahusamiento en Durango. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 66 p.
- Reyes V., J. R. 2006. Sistema de cubicación para *Eucalyptus grandis* y *E. urophylla* en los límites de Veracruz y Oaxaca. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 67 p.
- Rodríguez L., R., J. Jiménez P., O. A. Aguirre C. y E. J. Treviño G. 2006. Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. Ciencia UANL. IX (2): 179-188.
- Rojo M., G. E., J. Jasso M., J. J. Vargas H., D. J. Palma L. y A. Velázquez M. 2005. Biomasa aérea en plantaciones comerciales de hule (*Hevea brasiliensis* Mull. Arg.) en el estado de Oaxaca, México. Agrociencia (39): 449-456.
- Romahn de la V., C. F., H. Ramírez M. y J. L. Treviño G. 1994. Dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 345 p.

- Scheaffer R., L., W. Mendenhall, y L. Ott. 1987. Elementos de muestreo. Edit. Iberoamericana. México. 321 p.
- Schreuder T., H., R. Ernst y H. Ramírez M. 2006. Técnicas estadísticas para evaluación y monitoreo de recursos naturales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 143 p.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales (SEMARNAT) 2006. PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-152-SEMARNAT-2006, Que establece los lineamientos, criterios y especificaciones de los contenidos de los programas de manejo forestal para el aprovechamiento de recursos forestales maderables en bosques, selvas y vegetación de zonas áridas. México. 31 p.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca e Instituto Nacional de Ecología. 2000 (SEMARNAP-INE). El ordenamiento ecológico del territorio: logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000. México, 174 p.
- Somogyi, Z., E. Cienciala, R. Makipaa, P. Muukkonen, A. Lehtonen and P. Weiss. 2006. Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. Eur. J. Forest. Res. DOI 10.1007/s10342-006-0125-7.
- Terradas S., J. 2001. Ecología de la vegetación: de la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes. Edit. Omega. Barcelona, España. 703 p.
- Torres R., J. M y A. Guevara S. 2002. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: Captura de carbono y desempeño hidráulico. Gaceta Ecológica. INE – SEMARNAT, México. 23 p.
- Valdez L., J. R. and T. B. Lynch. 2000. Merchantable and total volume equations for thinned natural stands of *patula* pine in Puebla, México. Agrociencia 34:747-758.
- Vidal, A., J. Y. Benítez, R. Carlos y H. Gra. 2004. Estimación de la biomasa de copa para árboles de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en la E.F.I. La Palma de la Provincia de Pinar del Río, Cuba. Quebracho (11): 60-66.
- Williams L., G., R. H. Manson y E. Isunza V. 2002. La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. Madera y Bosques 8 (1):73-89.
- Zimmermann, M. H. and C. L. Brown. 1980. Tree structure and function. Berlin Heidelberg. New York, USA. 336 p.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Características dasométricas, pesos secos y verdes por componente de *P. teocote* y latifoliadas

Especie	Diám (cm)	Alt (m)	Vol (m ³)	Biomasa (Kg)											
				Fustes			Ramas			Corteza			Hojas		
				Verde	Seco	Verde	Verde	Seco	Verde	Verde	Seco	Verde	Verde	Seco	Total
<i>P. teocote</i>	53	28.14	2.8	2069.5	1016.3	286.0	156.8	233.5	177.7	106.8	48.7	2695.8	1399.4		
<i>P. teocote</i>	48	23.7	2.1	1990.8	819.8	599.7	336.6	200.3	175.4	112.7	48.0	2903.5	1379.8		
<i>P. teocote</i>	28	18	0.6	544.0	224.9	127.3	62.9	86.6	52.4	54.4	19.6	812.3	359.9		
<i>P. teocote</i>	36	21.6	1.2	1081.2	359.6	351.5	150.4	125.6	76.6	95.2	36.7	1653.5	623.3		
<i>P. teocote</i>	48	26.3	1.9	1797.2	815.5	409.5	221.2	252.2	174.9	123.5	41.4	2582.4	1252.9		
<i>P. teocote</i>	53	28	2.5	2362.1	1037.4	552.6	321.5	280.0	198.6	120.1	44.8	3314.8	1602.4		
<i>P. teocote</i>	38	26.5	1.6	1523.9	713.6	91.1	55.1	153.2	111.7	56.0	23.3	1824.2	903.7		
<i>P. teocote</i>	45	26.3	1.7	1633.1	765.4	318.8	186.5	170.1	122.7	86.8	34.6	2208.9	1109.2		
<i>P. teocote</i>	32	24.7	0.8	654.1	371.8	32.1	18.2	71.5	57.3	14.0	4.6	771.7	451.9		
<i>P. teocote</i>	34	28.15	1.2	1131.8	456.2	54.4	29.1	145.1	114.9	25.8	9.3	1357.1	609.4		
<i>P. teocote</i>	60	24.4	3.1	2987.8	1253.8	997.6	526.8	323.3	228.8	273.9	95.8	4582.6	2105.2		
<i>P. teocote</i>	46	28.4	2.4	1810.5	1041.8	248.1	165.6	227.4	180.8	82.5	29.5	2368.5	1417.8		
<i>P. teocote</i>	31	18.5	0.5	511.0	232.0	82.8	48.0	77.4	61.0	20.5	8.1	691.7	349.1		
<i>P. teocote</i>	48	26.85	1.9	1721.4	936.6	345.1	220.4	181.0	154.1	78.6	31.8	2326.1	1342.8		
<i>P. teocote</i>	14	15.5	0.1	117.3	52.7	16.3	9.6	25.6	22.1	9.2	3.4	168.5	87.8		
<i>P. teocote</i>	14	11.7	0.1	74.5	31.7	13.6	8.7	19.1	16.9	9.6	3.6	116.8	60.9		
<i>P. teocote</i>	2	2.5	0.0	1.1	0.6	0.2	0.1	0.2	0.1	0.3	0.2	1.7	1.0		
<i>P. teocote</i>	1	1.56	0.0	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.7	0.3		
<i>P. teocote</i>	5	2.63	0.0	5.0	1.8	2.5	1.1	0.3	0.2	2.6	1.1	10.4	4.3		
<i>P. teocote</i>	8	3.43	0.0	12.8	5.8	2.9	1.3	1.6	1.1	3.8	1.5	21.2	9.7		
<i>P. teocote</i>	21	14.95	0.2	216.8	85.4	46.9	20.7	35.3	21.0	28.1	11.5	327.1	138.6		
<i>P. teocote</i>	26	15.7	0.4	354.5	163.2	89.4	39.6	62.2	41.7	32.8	20.9	538.9	265.4		
<i>Liquidambar</i>	4	7.8	0.0	5.1	2.3	1.7	0.7	1.5	0.9	0.9	0.3	9.1	4.1		
<i>Liquidambar</i>	3	3.6	0.0	0.6	0.4	0.4	0.1	0.6	0.5	0.3	0.2	1.9	1.2		
<i>Liquidambar</i>	14	14.5	0.1	77.0	33.3	41.2	19.3	11.0	5.3	22.8	8.0	152.0	65.9		

Especie	Diám (cm)	Alt (m)	Vol (m³)	Biomasa (Kg)											
				Fustes			Ramas			Corteza			Hojas		
				Verde	Seco	Verde	Verde	Seco	Verde	Verde	Seco	Verde	Verde	Seco	Total
<i>Liquidambar</i>	7	8.1	0.0	15.0	6.0	5.7	2.5	2.4	1.2	4.1	1.3	27.2	10.9		
<i>Liquidambar</i>	20	16.98	0.2	174.7	76.5	73.7	35.4	18.3	10.9	37.8	13.6	304.5	136.5		
<i>Liquidambar</i>	25	22.15	0.4	378.6	166.6	91.2	48.7	41.4	23.9	74.9	25.5	586.1	264.7		
<i>Liquidambar</i>	40	23.3	0.9	1024.9	471.3	365.1	150.4	106.7	70.4	82.5	26.4	1579.2	718.5		
<i>Liquidambar</i>	35	20.5	0.7	678.3	318.2	293.8	171.4	97.2	62.7	62.0	24.0	1131.3	576.3		
<i>Liquidambar</i>	45	19.8	0.9	992.5	459.7	932.3	461.9	93.9	52.3	126.2	35.8	2144.9	1009.7		
<i>Liquidambar</i>	30	19.1	0.6	539.0	236.3	349.0	203.0	73.5	43.7	113.5	36.0	1075.0	519.0		
<i>Liquidambar</i>	32	17.7	0.6	593.0	259.8	544.0	281.6	81.8	47.9	138.3	42.2	1357.1	631.4		
<i>Liquidambar</i>	26	18.25	0.4	360.1	159.4	266.5	152.7	41.8	22.1	56.8	21.5	725.2	355.7		
<i>Liquidambar</i>	4	7.28	0.0	4.2	2.1	1.5	0.7	1.1	0.9	1.0	0.3	7.8	4.0		
<i>Liquidambar</i>	1	2.6	0.0	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.6	0.2		
<i>Liquidambar</i>	6	10.43	0.0	13.9	6.3	3.6	1.6	2.6	1.7	2.8	1.0	22.9	10.5		
<i>Liquidambar</i>	4	6.97	0.0	4.3	1.8	1.5	0.7	0.6	0.3	1.4	0.5	7.8	3.3		
<i>Alnus</i>	14	13.1	0.1	87.5	34.4	54.2	25.2	20.7	9.4	19.2	7.3	181.6	76.2		
<i>Alnus</i>	11	13.67	0.1	66.3	25.2	22.3	11.8	12.3	5.6	9.2	3.1	110.1	45.8		
<i>Alnus</i>	8	7.7	0.0	12.8	5.2	11.1	4.6	3.0	1.6	8.1	3.2	35.0	14.6		
<i>Alnus</i>	10	8.1	0.0	22.0	8.8	18.5	9.1	5.7	2.9	12.9	5.4	59.2	26.3		
<i>Alnus</i>	1	2.18	0.0	1.7	0.5	0.1	0.1	0.7	0.3	0.2	0.1	2.7	0.9		
<i>Q. affinis</i>	39	25.82	1.2	1298.0	629.9	1045.5	652.2	264.8	143.3	58.5	24.4	2666.8	1449.9		
<i>Q. laurina</i>	13	14.1	0.1	67.4	38.1	29.9	18.9	23.8	13.6	16.8	5.9	137.9	76.5		
<i>Q. laurina</i>	26	17.65	0.9	305.9	132.1	236.4	149.5	67.6	34.5	32.8	14.9	642.7	331.1		
<i>Q. laurina</i>	4	10.36	0.0	6.2	2.8	1.1	0.6	3.5	2.3	0.6	0.4	11.4	6.2		
<i>Q. laurina</i>	33	18.4	0.6	638.6	286.9	249.6	150.9	162.7	78.1	44.8	20.0	1095.7	535.8		
<i>Q. laurina</i>	9	8.5	0.0	18.7	7.6	12.3	7.8	7.8	5.0	1.1	0.6	39.9	21.0		
<i>Q. rugosa</i>	5	3.83	0.0	7.7	3.4	1.6	1.0	2.4	0.9	1.4	0.9	13.0	6.2		
<i>Q. rugosa</i>	12	9.75	0.0	37.6	14.2	10.8	6.7	21.9	13.1	2.6	1.4	72.8	35.4		
<i>Q. rugosa</i>	12	11.5	0.1	60.8	22.5	3.0	1.8	25.0	12.8	1.2	0.7	90.0	37.7		
<i>Q. rugosa</i>	10	10.2	0.0	36.6	17.0	13.9	8.8	11.2	6.6	4.3	2.6	66.0	35.0		
<i>Q. exelsa</i>	12	11.5	0.0	46.3	26.0	29.8	17.0	8.4	4.5	4.5	2.3	89.0	49.8		
<i>Qsp</i>	36	15.35	0.6	676.4	365.8	560.6	378.5	69.6	38.5	95.4	40.8	1401.9	823.5		
<i>Qsp</i>	36	16.25	0.7	675.6	327.7	717.0	419.5	77.0	49.4	117.4	50.0	1587.0	846.6		
<i>Qsp</i>	19	13.2	0.2	153.9	76.2	79.2	45.8	19.1	10.9	54.9	25.5	307.1	158.4		

Biomasa (Kg)													
Especie	Diám (cm)	Alt (m)	Vol (m³)	Fustes			Ramas		Corteza		Hojas		Total
				Verde	Seco	Verde	Verde	Seco	Verde	Seco	Verde	Seco	
<i>Prunus</i>	10	13.7	0.1	38.3	26.4	16.8	9.1	15.7	9.2	7.2	3.8	78.0	48.4
<i>Prunus</i>	7	9.45	0.0	16.6	8.6	7.3	3.8	3.1	2.2	3.0	1.2	30.0	15.8
<i>Viburnum</i>	11	10.4	0.0	22.1	10.5	8.2	4.4	2.3	1.3	2.7	1.1	35.3	17.3
<i>Viburnum</i>	13	10.2	0.1	69.9	34.9	67.5	34.7	6.7	3.7	10.8	3.6	154.8	77.1
<i>Carpinus</i>	17	8.9	0.1	41.4	22.7	50.0	28.7	4.9	3.0	10.5	5.5	106.9	60.0
<i>Carpinus</i>	23	13.9	0.2	186.2	101.3	126.0	71.8	14.1	7.7	16.9	7.9	343.1	188.7
<i>Clethra</i>	33	14.3	0.4	529.2	194.5	168.4	86.8	26.6	11.3	40.1	17.0	764.2	309.6
<i>Clethra</i>	20	11.2	0.2	184.8	96.6	81.4	32.9	9.8	4.3	32.0	10.2	308.0	144.0
<i>Clethra</i>	43	16.3	0.9	870.6	331.1	463.4	216.2	38.5	16.0	102.6	31.5	1475.0	594.8
<i>Clethra</i>	13	10.6	0.1	66.9	24.6	20.2	8.8	7.1	3.6	5.2	2.1	99.4	39.1
<i>Clethra</i>	1	1.55	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.5	0.2