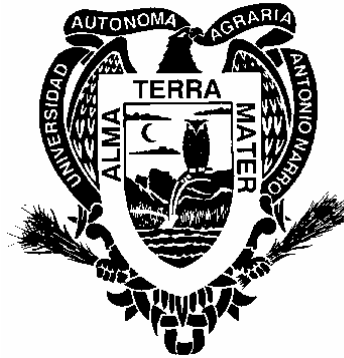


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**



**BIOMASA AÉREA Y CAPTURA DE CARBONO EN UNA PLANTACIÓN DE
Pinus michoacana Mart. Y *Pinus pseudostrabus* Lindl., EN JERÉCUARO,
GUANAJUATO**

Por:

SERGIO LUIS LUCKIE NAVARRETE

TESIS

**Presentada como requisito parcial para
Obtener el Título de:**

INGENIERO FORESTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

**BIOMASA AÉREA Y CAPTURA DE CARBONO EN UNA PLANTACIÓN DE
Pinus michoacana Mart. Y *Pinus pseudostrobus* Lindl., EN JERÉCUARO,
GUANAJUATO**

Por:

SERGIO LUIS LUCKIE NAVARRETE

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA:

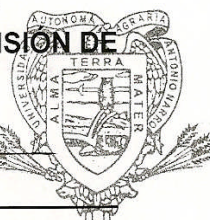
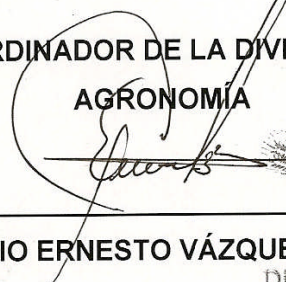
ASESOR PRINCIPAL



DR. JORGE MÉNDEZ GONZÁLEZ



**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE
AGRONOMÍA**



DR. MARIO ERNESTO VÁZQUEZ BADILLO

División de Agronomía

DEPARTAMENTO FORESTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

BIOMASA AÉREA Y CAPTURA DE CARBONO EN UNA PLANTACIÓN DE
Pinus michoacana Mart. Y *Pinus pseudostrobus* Lindl., EN JERÉCUARO,
GUANAJUATO

Por:

SERGIO LUIS LUCKIE NAVARRETE

TESIS

Que se somete a consideración del Comité de Tesis, como requisito
parcial para obtener el título de:

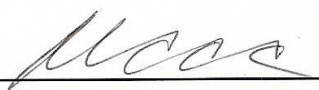
INGENIERO FORESTAL

APROBADA



Dr. Jorge Méndez González

ASESOR PRINCIPAL



Dr. Miguel Ángel Capó Arteaga

ASESOR



M.C. José Aniseto Díaz Balderas

ASESOR

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2010

DEDICATORIA

A DIOS, Por darme la oportunidad de vivir y la luz para guiarme por el buen camino con sus bendiciones.

A mis padres, Carmen Estela Navarrete García y Miguel Luckie Muciño. Por darme la vida y alegría. En especial a mi madre, por su apoyo en los momentos difíciles y sus oraciones.

A mis hermanos, como un ejemplo de superación personal: a Víctor Sebastián, Miguel Olegario, Alfredo Monserrat y en especial a mi hermana Martha Reyna por su gran apoyo incondicional tanto emocional como económico, por su cariño y comprensión en los momentos difíciles de mi carrera.

A mi sobrino, Miguel Alejandro por ser mi gran motivación y darle el mejor ejemplo a seguir.

A todos mis familiares, que de alguna forma influyeron en la culminación de mí carrera, en especial al Ing. Federico Alejandro Castro Rosas quien con sus consejos me estuvo inculcando el interés de estudiar y por la oportunidad de brindarme trabajo durante la trayectoria de mi carrera.

A mi novia, Erika Lizet Arellano Alvarado, por su Amor, confianza y cariño. Gracias por hacer mi vida feliz.

A mis amigos, José Miguel Jaimes Ramírez y Francisco Alain Herrera Franco, gracias por sus grandes consejos y estar siempre apoyándome a seguir estudiando así como también ser parte de mi vida.

En general a todas aquellas personas quienes de alguna manera influyeron durante mi formación profesional, a través de su cariño, su apoyo con sus sabios consejos y por todas las cosas que me han enseñado y que me han ayudado a salir adelante.

AGRADECIMIENTOS

A mi *Alma Mater* la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Por darme la oportunidad y el apoyo en el proceso de mi formación en mis estudios profesionales de Ingeniero Forestal

A todo el personal del Departamento Forestal, por brindarme su apoyo y servicio durante mi preparación profesional.

De manera muy especial: Al Dr. Jorge Méndez González, por su orientación en el desarrollo de este trabajo, por su amistad, apoyo, confianza, por su paciencia y por extender su gran conocimiento para que formarme como un profesionalista.

Al Dr. Miguel Ángel Capo Arteaga, por su gran amistad, apoyo, sus consejos, por su aportación para que se realizara este trabajo y la revisión al documento.

Al Ph. José Aniceto Díaz Balderas por su brindarme su apoyo y sus valiosas aportaciones para mejorar este trabajo.

Al M.C. Andrés Nájera Díaz, por haberme permitido formar parte de su equipo de trabajo (EMC-AN), por su incondicional amistad y sus sabios consejos durante mi estancia en la Universidad. Gracias Profesor.

Al Sr. Edelberto Pérez López, por permitirlos llevar a cabo los trabajos en la plantación que el realizó aportar el material y equipo de campo.

A la Facultad de Tecnología de La Madera (U.M.S.N.H). Por brindar el equipo para el secado de la madera a cargo del Dr. José Cruz de León.

A todos mis compañeros de la generación CVI, por su gran amistad y apoyo durante mi estancia en la Universidad.

Y a todas aquellas personas que me ayudaron con su amistad, trabajo y orientación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Página

ÍNDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Justificación	2
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Hipótesis	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1. Gases de Efecto de Invernadero	6
2.2. Fotosíntesis	6
2.3. Biomasa	7
2.4. Crecimiento e incremento	8
2.5. Plantaciones Forestales	9
2.6. Los ecosistemas forestales y la captura de CO ₂	9
2.7. Estudios de biomasa en plantaciones forestales	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1. Descripción del área de estudio	14
3.1.1. Localización	14
3.1.2. Ubicación geográfica del predio en estudio	15
3.1.3. Fisiografía	15
3.1.4. Hidrología	15
3.1.5. Topografía	16
3.1.6. Geología	16
3.1.7. Tipo de Suelo	16
3.1.8. Clima	17
3.1.9. Vegetación	17
3.2. Descripción de la plantación	18
3.3. Criterios específicos con las cuales se seleccionaran las especies a estudiar	18
3.4. Selección del arbolado de muestra	18

3.5.	Variables del arbolado a evaluar.....	19
3.6.	Derribo y troceado del arbolado.....	19
3.7.	Pesado de los componentes del arbolado e identificación de submuestras	20
3.8.	Secado de submuestras de cada componente	22
3.9.	Estimación del volumen y determinación de la edad	23
3.10.	Generación de modelos de volumen.....	24
3.11.	Estimación de la biomasa aérea por componente	24
3.12.	Modelos de biomasa aérea.....	25
3.12.1.	Criterios de selección de modelos ajustados a la biomasa aérea.....	26
3.13.	Estimación del crecimiento e incremento en biomasa fustal de <i>P. michoacana</i> y <i>P. pseudostrobus</i>	27
3.14.	Estimación del carbono en cada componente	29
3.15.	Estimación del dióxido de carbono asimilado o equivalente (CO ₂ e)	30
4.	RESULTADOS	31
4.1.	Modelos para estimar volumen en <i>P. michoacana</i> y <i>P. pseudostrobus</i>	33
4.2.	Biomasa por componente en <i>P. michoacana</i>	37
4.3.	Biomasa por componentes en <i>P. pseudostrobus</i>	40
4.4.	Porcentaje de biomasa por componente en <i>P. michoacana</i> y <i>P. pseudostrobus</i>	44
4.5.	Estimación del incremento en biomasa fustal en <i>P. michoacana</i> y <i>P. pseudostrobus</i>	47
4.6.	Estimación del incremento corriente anual e incremento medio anual en biomasa fustal de <i>P. michoacana</i> y <i>P. pseudostrobus</i>	48
4.7.	Biomasa aérea total, carbono y carbono equivalente de <i>P. michoacana</i> y <i>P. pseudostrobus</i>	53
5.	CONCLUSIONES.....	55
6.	RECOMENDACIONES	56
7.	LITERATURA CITADA.....	57

ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Coordenadas geográficas del predio el Clarín, Jerécuaro, Guanajuato.	15
Cuadro 2. Modelos probados para estimar biomasa por componentes en <i>P. michoacana</i> y <i>P. pseudostrobus</i> .	26
Cuadro 3. Nombre y forma integral de los modelos de crecimiento ajustados en biomasa fustal en <i>P. michoacana</i> y <i>P. pseudostrobus</i> .	28
Cuadro 4. Derivadas del modelo Schumacher utilizadas para obtener ICA e IMA en <i>P. michoacana</i> y <i>P. pseudostrobus</i> .	29
Cuadro 5. Características dasométricas de los árboles evaluados (n=20) de <i>P. michoacana</i> y <i>P. pseudostrobus</i> , en el predio el Clarín, Jerécuaro, Guanajuato.	32
Cuadro 6. Modelos para estimar volumen de fuste comercial de <i>P. michoacana</i> y <i>P. pseudostrobus</i> .	33
Cuadro 7. Estadísticos de ajuste de modelos de volumen en <i>P. michoacana</i> y <i>P. pseudostrobus</i> en el predio el Clarín, Jerécuaro Guanajuato.	34
Cuadro 8. Parámetros y estadísticos de ajuste de los modelos de biomasa de hojas-ramas, fuste y total en <i>P. michoacana</i> .	37
Cuadro 9. Parámetros y estadísticos de ajuste de los modelos de biomasa de hojas-ramas, fuste y total de <i>P. pseudostrobus</i> .	41
Cuadro 10. Estadísticos de ajuste de los modelos de crecimiento en biomasa fustal para <i>P. michoacana</i> y <i>P. pseudostrobus</i> .	47
Cuadro 11. Parámetros del modelo de Shumacher para estimar el crecimiento e incremento en biomasa fustal de <i>P. michoacana</i> y <i>P. pseudostrobus</i> .	48
Cuadro 12. Biomasa, carbono y carbono equivalente por componente para <i>P. michoacana</i> y <i>P. pseudostrobus</i> en el predio El Clarín, Jerécuaro, Guanajuato.	54

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localización del Predio El Clarín, Municipio de Jerécuaro, Guanajuato. .	14
Figura 2. Derribo, troceo, seccionado del árbol y separación por componentes. ...	20
Figura 3. Pesado en fresco de los componentes hojas-ramas y fuste.....	21
Figura 4. Pesado de las submuestras de los componentes hojas-ramas y rodajas en campo.....	21
Figura 5. Forma del secado de las submuestras de hojas-ramas y rodajas.	22
Figura 6. Relación diámetro normal y volumen comercial observado y estimado en <i>P. michoacana</i> y <i>P. pseudostrobus</i> , en el predio el Clarín, Jerécuaro, Guanajuato.....	36
Figura 7. Biomasa hojas-ramas (a), fuste (c) y total (e) en <i>P. michoacana</i> , en relación a su variable independiente y distribución de los residuales.	39
Figura 8. Biomasa hojas-ramas (a), fuste (c) y total (e) en <i>P. pseudostrobus</i> , en relación a su variable independiente y distribución de los residuales.	43
Figura 9. Tendencia lineal de porcentaje de biomasa en <i>P. michoacana</i> en el predio el Clarín, Jerécuaro, Guanajuato.	45
Figura 10. Tendencia lineal en el porcentaje de biomasa en <i>P. pseudostrobus</i> en el predio el Clarín, Jerécuaro, Guanajuato.....	46
Figura 11. Curvas de crecimiento en biomasa fustal por estrato para <i>P. michoacana</i>	49
Figura 12. Curvas de crecimiento en biomasa fustal por estrato para <i>P. pseudostrobus</i>	50
Figura 13. Curvas de ICA e IMA por estrato en biomasa fustal de <i>P. michoacana</i> .	51
Figura 14. Curvas de ICA e IMA por estrato en biomasa aérea en <i>P. pseudostrobus</i>	52

RESUMEN

En este estudio se ajustaron modelos para estimar la biomasa aérea y captura de carbono en dos especies de pino (*Pinus michoacana* Mart. y *P. pseudostrobus* Lindl.) en una plantación forestal a la edad promedio de 11 años, ubicada en Jerécuaro, Guanajuato., muestreando 20 árboles por especie. Se ajustaron modelos de crecimiento a la biomasa y carbono del fuste en árboles dominantes (AD) dominantes, codominantes y suprimidos (ADCS) para obtener Incremento Corriente Anual (ICA) e Incremento Medio Anual (IMA) en biomasa y captura de carbono. Los resultados indican que los modelos alométricos se ajustan mejor a la biomasa fustal y al total en ambas especies con R^2 oscilando entre 0.84 y 0.89, pero no al de las hojas-ramas. El porcentaje de biomasa en hojas-ramas y fuste fue de 39.84 y 60.16%; 58.35 y 41.65%, mientras que el promedio de la biomasa aérea total por árbol fue de 52.07 y 79.50 kg el cual representa 26.03 y 39.75 kg de carbono almacenado respectivamente. En total se obtienen 19.68 t C ha⁻¹ representando 71.02 toneladas de CO₂e ha⁻¹.

El modelo que mejor describe el crecimiento e incremento en biomasa y carbono de fuste en *P. michoacana* Mart., y *P. pseudostrobus* Lindl., fue el de Shumacher obteniendo R^2 desde 0.65 hasta 0.95. *P. pseudostrobus* Lindl., obtuvo el máximo ICA en biomasa de AD con 11.32 kg año⁻¹ a los 9 años, representado 5.66 kg C año⁻¹, mientras que *P. michoacana* Mart., registró un ICA de 7.92 kg año⁻¹ en AD (3.96 kg C año⁻¹) a la misma edad.

Palabras clave: *Pinus michoacana* Mart., *Pinus pseudostrobus* Lindl., biomasa, carbono, modelos alométricos, crecimiento, incremento.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial las emisiones de origen antropogénico de los gases de efecto de invernadero (GEI), debido a su incremento en la atmósfera (desde la época preindustrial) han contribuido en el cambio del clima (IPCC, 1995). El dióxido de carbono (CO₂) es el GEI más importante (Dixon *et al.*, 1994; IPCC, 2007), entre 1970 y 2004, sus emisiones anuales han aumentado en aproximadamente un 80% y su efecto proporcional es de 49 – 67% en el calentamiento global con respecto a los otros gases (Brown, 1997a).

Otra causa que contribuye al incremento en las emisiones de GEI, es el cambio en el uso del suelo, ya que anualmente se deforestan 17 millones de hectáreas en el mundo, lo que significa una liberación de cerca de 1.8 billones de toneladas de carbono, que equivalen del 20 al 30% de las emisiones antropogénicas (Montoya *et al.*, 1995) y por lo tanto uno de los responsables del cambio climático.

Actualmente el incremento anual de la concentración de CO₂ en la atmósfera es de alrededor de 1.8 partes por millón ó 0.5% por año (CICC, 2006). Gayoso y Schlegel (2001) mencionan que los ecosistemas forestales son responsables de alrededor del 20% de las emisiones de CO₂ por la deforestación y degradación de los bosques. México, en el año 2000, se encontraba dentro de los 20 países con mayor emisión de CO₂ (Maser, 2000), ahora se encuentra dentro de las 16 naciones con mayores emisiones, al contribuir con el 1.53% de las emisiones anuales totales de CO₂ al planeta (CICC, 2006).

Por el proceso de la fotosíntesis, las plantas capturan CO₂ de la atmósfera y lo fijan en sus células como carbono (C), constituyendo éste alrededor del 50% de su biomasa seca (Gayoso y Schlegel, 2001). La biomasa aérea se encuentra en los diversos componentes de los árboles como lo es en las hojas, ramas y fuste; la proporción porcentual tiene una variación tanto en el tamaño

de los árboles como en las especies (Nájera, 1999; Gayoso, 2001; Navár *et al.*, 2001).

Los árboles jóvenes tienen altas tasas de acumulación neta de C, ya que no han alcanzado su punto máximo de crecimiento (Dixon *et al.*, 1994; Schlesinger, 1997; Luna, 2005; Pacheco *et al.*, 2007). Mientras que en bosques maduros y en equilibrio, el incremento en la acumulación de C tiene un crecimiento neto nulo o casi nulo (Bidwell, 1993; Luna, 2005), ya que existe un balance entre la respiración y la producción de oxígeno, los árboles que mueren incorporan C al suelo y al aire, por descomposición (Bidwell, 1993). De esta manera el incremento de la cantidad de bosques mediante forestación o reforestación es una alternativa para reducir o contrarrestar la cantidad de CO₂ en la atmósfera (Ordóñez *et al.*, 2001).

Debido a lo anterior se destaca la importancia de la vegetación forestal, ya que participa en el balance del carbono, principalmente por la asimilación del CO₂ de la parte aérea de la biomasa (Brown, 1997b).

Algunos modelos de CO₂ incluyen la estimación del incremento y rendimiento en volumen como el atributo principal de la biomasa y algunos de sus componentes o parámetros relacionados para establecer los flujos de este gas entre la vegetación, el suelo y la atmósfera (Navár *et al.*, 2001).

1.1. Justificación

Las concentraciones crecientes de carbono en la atmósfera contribuyen al cambio climático, lo que ha promovido un interés creciente por el posible papel de los bosques y las plantaciones forestales en la absorción y fijación del carbono atmosférico (Gayoso y Schlegel, 2001). Considerando las necesidades de satisfacción y sobrevivencia humana, es evidente que los recursos naturales renovables se han venido utilizando en forma irracional; aunado a esto, el alto consumo de combustibles fósiles que es considerado como la primer causa de

las emisiones de GEI que tiene como resultado la alteración de las temperaturas por el impacto que ocasiona al deterioro de la capa de atmósfera (Ordóñez, 1998).

La determinación adecuada de la biomasa de un bosque es un elemento de gran importancia debido a que ésta permite determinar los montos de carbono y otros elementos químicos existentes en cada uno de sus componentes, esta información es de especial importancia en la actualidad, debido a la necesidad de conocer los montos de carbono capturados por los bosques naturales y en plantaciones forestales, como un medio para mitigar los cambios climáticos generados por el consumo de combustibles fósiles, entre otros (Schlegel *et al.*, 2000).

En la pequeña propiedad el Clarín, Jerécuaro, Guanajuato., se inició el manejo forestal desde 1998, donde se aplica la corta a matarrasa de las especies del género *Quercus*. Desde el inicio del programa de manejo forestal maderable, el predio se ha propuesto como meta principal el manejo del arbolado, permitiendo su extracción y regeneración a través de plantaciones con especies del género *Pinus*, cambiando la vegetación existente para obtener productos de mayor valor. Con base en un estudio del potencial dasonómico se establecieron los programas de manejo que abarcan los aspectos de protección, restauración y fomento e industria forestal (Programa de manejo de forestal maderable, 1998)

La plantación que fue evaluada en este estudio se estableció con el objetivo de tener parcelas experimentales con diversas especies del género *Pinus*, tales como: *Pinus greggii* Engelm., *P. michoacana* Mart. y *P. pseudostrobus* Lindl., donde las especies que tienen un crecimiento mayor en diámetro y altura son *Pinus michoacana* Mart. y *P. pseudostrobus* Lindl. Estas especies se consideraron para el presente estudio además que son de las más comunes en las reforestaciones de la región.

Los árboles en etapas jóvenes suelen producir de 10 a 15 veces más la biomasa en la madera, que los bosques maduros (Bobek *et al.*, 1975). Por lo tanto, tienen altas tasas de acumulación neta de C (Dixon *et al.*, 1994; Schlesinger, 1997; Harmon *et al.*, 2000; Pacheco *et al.*, 2007). Sin embargo, existe muy poca información sobre la estimación de la biomasa en plantaciones forestales de México, salvo las realizadas por Návar *et al.* (2001), Gutiérrez y Lopera (2001), Pacheco *et al.* (2007), Alba *et al.* (2007), Aguilar (2009) y Mora (2010). Debido a esto, es necesario generar modelos de crecimiento e incremento en biomasa aérea de los diversos componentes de los árboles como lo son las hojas, ramas y fuste, debido a la variación en la proporción de biomasa aérea (Gayoso, 2001), por ende la cuantificación de biomasa aérea por componente, así como la estimación de sus incrementos en diámetro y altura en biomasa aérea es realmente importante. El objetivo de este trabajo fue utilizar modelos matemáticos disponibles en la literatura para estimar la biomasa aérea y captura de carbono, en los componentes (hojas-ramas y fuste) de dos especies en una plantación del género *Pinus*.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Estimar la captura de carbono en la biomasa aérea para una plantación de *Pinus michoacana* Mart. y *Pinus pseudostrobus* Lindl., ubicada en la pequeña propiedad El Clarín, Jerécuaro, Guanajuato.

1.2.2. Objetivos específicos

- ✓ Evaluar nueve modelos alométricos para estimar la biomasa aérea de los componentes del árbol: hojas-ramas, fuste y total, para las especies

de *Pinus michoacana* Mart, y *Pinus pseudostrobus* Lindl., en el Predio el Clarín municipio de Jerécuaro, Guanajuato.

- ✓ Estimar el crecimiento e incremento en biomasa de fuste de *Pinus michoacana* Mart. y *Pinus pseudostrobus* Lindl., para cuantificar sus incrementos anuales en captura de carbono.

1.3. Hipótesis

La biomasa y el contenido de carbono en los componentes hojas-ramas, fuste y total de *Pinus michoacana* Mart. y *Pinus pseudostrobus* Lindl., son iguales, así como sus ritmos de crecimiento e incremento.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Gases de Efecto de Invernadero

Los gases del efecto invernadero son: vapor de agua (H₂O), bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), óxido de nitrógeno (NO_x), ozono estratosférico (O₃), monóxido de carbono (CO) y clorofluorocarbonos (CFC) (Andrasko, 1990). Entre los gases más importantes destaca el CO₂ cuya concentración anual de incremento en la atmósfera es alrededor de 1.8 partes por millón ó 0.5% por año (CICC, 2006). La emisión natural de gases de invernadero es relativamente constante desde hace miles de años, en cambio, las actividades del hombre están dando lugar a que aumente considerablemente la emisión de GEI, entre las fuentes artificiales de estos gases se cuentan la quema de combustibles fósiles, el cambio de uso de suelo (mayoritariamente mediante quemas) para proporcionar tierra a la agricultura y a la ganadería; y la combustión de madera y carbón vegetal como fuente de energía (Andrasko, 1990).

2.2. Fotosíntesis

Los bosques modulan potencialmente al cambio climático global gracias a su influencia sobre el ciclo global del carbono, capturan, almacenan y liberan carbono como resultado de los procesos de la fotosíntesis, respiración y degradación de la materia seca (Brown, 1997b; Schlesinger, 1997).

Durante el crecimiento inicial de los árboles aumenta rápidamente en altura y diámetro que en términos de relación de la fotosíntesis a respiración tienden a fijar mayor cantidad de carbono, conforme el árbol envejece la proporción de tejido no fotosintético aumenta sin tener incremento en el área foliar, por lo tanto, la proporción disponible de carbono fijado fotosintéticamente para el crecimiento disminuye, esto se refleja entre árboles de 40 y 90 años de edad,

por lo que, el árbol varía con su tamaño y edad en condiciones ambientales que afectan directamente en la relación de la fotosíntesis y la respiración (Bidwell, 1993).

2.3. Biomasa

La biomasa forestal se define como el peso seco (o estimación equivalente) de materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo, normalmente es cuantificada en toneladas por hectárea de peso verde o seco, frecuentemente para determinar la biomasa es necesario separarla en componentes, donde los más típicos corresponden a la masa del fuste, ramas, hojas, corteza, raíces, hojarasca y madera muerta (Schlegel *et al.*, 2000; Gayoso, 2001; Návar *et al.*, 2001; Gasparri y Manghi, 2004; Aguilar, 2009), la proporción de estos componentes tienen una variación tanto en el tamaño de los árboles como en las especies (Nájera, 1999; Návar *et al.*, 2001; Gayoso, 2001).

Los modelos desarrollados en bosque natural y en plantaciones permiten estimar la biomasa aérea total (Schlegel *et al.*, 2001; Návar *et al.*, 2001; Fonseca *et al.*, 2009).

La biomasa es importante para cuantificar la cantidad de nutrientes en diferentes partes de las plantas y estratos de la vegetación, permite comparar distintos tipos de especies similares en diferentes sitios (Fonseca *et al.*, 2009).

Existen métodos directos e indirectos para estimar la biomasa de un bosque, dentro del primero está el destructivo que consiste en cortar el árbol y pesar la biomasa directamente, determinando luego su peso seco (Klinge y Herrera, 1983; Brown, 1997a; Araujo *et al.*, 1999). Una forma de estimar la biomasa con el método indirecto es a través de ecuaciones y modelos matemáticos calculados por medio de análisis de regresión entre las variables colectadas en

terreno y en inventarios forestales (Brown, 1997a; Husch, 2001; Segura y Andrade, 2008; Fonseca *et al.*, 2009).

Gayoso *et al.* (2002) mencionan que la proporción y distribución de la biomasa en los componentes aparece asociada a las características de los árboles según las especies, el estado de desarrollo y el grado de intervenciones silvícolas a que son expuestos los individuos.

2.4. Crecimiento e incremento

El crecimiento es el cambio de dimensión de un organismo en el tiempo y el incremento es la magnitud del cambio (Valerio, 1997). Klepac, (1976) y Prodan *et al.* (1997) describen el crecimiento de un árbol o del bosque se ha entendido generalmente como el desarrollo o aumento en altura, diámetro y volumen de un individuo o población en un determinado periodo de tiempo. Los modelos de crecimiento son ecuaciones que describen el incremento experimentado por los individuos de una determinada población en función de una variable independiente o explicativa (Valerio, 1997).

A partir del crecimiento total de un rodal, se pueden estimar diferentes tipos de incrementos, el incremento total (IT), el incremento periódico (IP), el incremento medio anual (IMA), el incremento corriente anual (ICA) y el incremento en porcentaje (Klepac, 1976).

De esta manera por medio del método de análisis troncal se puede conocer el crecimiento e incremento del árbol durante toda su vida. Para esto el árbol debe ser derribado y de éste se toman secciones o rodajas transversales, de las cuales dos de ellas deben ubicarse en sitios precisos. La primera debe tomarse precisamente a la altura del apeo (20-30 cm), y la otra a la altura del pecho (1.30 m), las restantes se obtienen a igual distancia unas de otras y si es posible (1, 2 ó 3 m) (Klepac, 1976).

2.5. Plantaciones Forestales

Una plantación forestal se define, según FAO (2001), como un bosque establecido mediante plantación y/o siembra en el proceso de forestación o reforestación. Está integrada por especies introducidas o en algunos casos autóctonas.

México se orienta hacia un uso sustentable de los recursos forestales, que permita aprovechar su importante potencial productivo de una manera integral, sin poner en riesgo los bienes y servicios que ofrecen los ecosistemas forestales a la sociedad, donde en las reglas de operación se contemplan los apoyos para la reforestación (FAO, 2000).

En el estado de Guanajuato se ha promovido y realizado el establecimiento de plantaciones forestales. En el periodo de 1998-2006 se realizaron plantaciones en todo el estado en una superficie de 6,850 hectáreas, representando el 14.94% con respecto al año 1998 (CONAFOR, 2008).

2.6. Los ecosistemas forestales y la captura de CO₂

El secuestro o fijación de carbono es un proceso bioquímico mediante el cual el CO₂ atmosférico es absorbido y fijado por la biomasa vegetal como resultado del proceso de la fotosíntesis, tal es el proceso de absorción de CO₂ atmosférico, por ejemplo, un bosque o una plantación forestal son sumideros de carbono, los depósitos de carbono se les denominan a todos los componentes del sistema climático que almacenan un GEI o un precursor de estos, por ejemplo el carbono contenido en el suelo o en la biomasa de un bosque, también se define como la cantidad de carbono almacenado por los sumideros, otras veces se les denomina como reservorios de CO₂ (Russo, 2002).

Los bosques en crecimiento son capaces de incrementar la absorción de CO₂, mientras que los bosques maduros que crecen poco retienen el carbono ya fijado, pero son incapaces de absorber más CO₂. Por su parte los bosques que experimentan una pérdida neta de biomasa, por la mortalidad debida al estado decadente de sus árboles, por enfermedad o fuego, son emisores de CO₂ (Kyrklund, 1990).

La velocidad de absorción del CO₂ es directamente proporcional al crecimiento, se deduce que “preservar” los bosques naturales es una manera poco eficaz de fijar CO₂; en cambio, una ordenación forestal basada en cosechar en el mejor momento, convertir la madera con un mínimo de desperdicio en productos duraderos, y regenerar debidamente los bosques, permite fijar el máximo posible de CO₂ (Kyrklund, 1990).

Por otra parte en los últimos 150 años la forma de utilizar los recursos naturales ha contribuido en el aumento de las emisiones de CO₂ a la atmósfera de la tierra (IPCC 1995), alrededor de un 20% de estas emisiones son el resultado de la eliminación y degradación de los ecosistemas forestales, para esto la detención de la deforestación y la conversión de el cambio de uso de suelo a través de la reforestación y manejo sustentable de los recursos naturales, implica recapturar el CO₂, disminuir la concentración de gases de efecto de invernadero en la atmósfera y reducir el efecto de invernadero (Schlegel, 2001).

La posibilidad de utilizar el crecimiento de los bosques como forma de almacenamiento de carbono también ha recibido una creciente atención por parte de los gestores públicos para afrontar el posible cambio climático (Bruce *et al.*, 1996); así mismo conocer el valor para la sociedad de la reducción de estos gases, puede ayudar a tomar decisiones óptimas de política ambiental (Mogas y Riera, 2004).

Masera y Ordóñez (1996) señalan que los bosques tienen la posibilidad de mitigar los GEI por medio de la captura de carbono que se realiza en diferentes ecosistemas vegetales conocidos como sumideros, a pesar de ser actualmente, fuentes netas de emisión de GEI.

Dixon *et al.* (1994) mencionan que aunque los bosques están continuamente reciclando CO₂ (la fotosíntesis y la respiración), el período de fijación de carbono mediante el almacenamiento neto en la vegetación y el suelo pueden variar de un año a siglos, aunque la escala de tiempo depende de las especies, condiciones del sitio, perturbación y prácticas de manejo forestal.

A su vez Pacheco *et al.* (2007) mencionan que al crear nuevos reservorios de dióxido de carbono incrementando el material maderable, se pueden fijar grandes montos de carbono, por medio del crecimiento de árboles y por la extracción de madera; para lograr mayor efectividad en el proceso de almacenamiento de carbono en el largo plazo, la madera extraída debería convertirse en productos durables, una vez que el árbol ha alcanzado su madurez, el carbono acumulado se mantendrá almacenado, pero el área muy pronto actuará como reservorio, debido a que el proceso de respiración y oxidación en un bosque maduro generalmente alcanza un balance por el efecto fotosintético.

En el sector del uso de la tierra y bosques se han identificado dos estrategias principales para acumular carbono. La primera se refiere a aumentar la fijación de carbono al crear o mejorar los sumideros existentes mediante tratamientos silvícolas para aumentar el crecimiento, plantaciones forestales, agroforestación, reforestación y restauración de áreas degradadas y la segunda consiste en prevenir o reducir la tasa de liberación de carbono ya fijado en sumideros existentes. (Gayoso y Schlegel, 2001; Zambrano *et al.*, 2004).

El contenido de carbono en los componentes vegetales se estima multiplicando el peso de la biomasa por un factor que varía entre 0.45 y 0.55; la cifra indica la proporción de carbono en el material vegetativo (IPCC, 2000). En la ausencia de información específica, generalmente se usa un valor de 0.50. Sin embargo, si existe información por especie, se puede calcular un promedio ponderado (Brown, 1997; Schlesinger, 1997; Husch, 2001; Figueroa *et al.*, 2005).

2.7. Estudios de biomasa en plantaciones forestales

Gutiérrez y Lopera (2001) estimaron el flujo de carbono en 44 parcelas de *Pinus patula* en plantaciones con y sin aclareo entre 6.5 y 29.6 años para un sitio promedio; en la cordillera central de Colombia, encontraron que el carbono total de *P. patula* en plantaciones sin aclareo fluctuó entre 48.6 y 287.1 t C ha⁻¹ y en aquellas con entresaca fue de 76.3 a 223.3 t C ha⁻¹. El C en la madera representó el 56.3 y 54.2% del total en plantaciones sin y con aclareo respectivamente.

Pacheco *et al.* (2007) evaluaron el potencial de *Pinus greggii* Engelm., para almacenar el carbono en la biomasa aérea en una plantación a la edad de 6 años en el estado de Hidalgo, México, reportando en la biomasa aérea total de 35.2 t ha⁻¹ equivalente a 17.9 t C ha⁻¹ almacenado que representa una masa de dióxido de carbono equivalente de 65.8 t CO₂ ha⁻¹.

En contraparte Alba *et al.* (2007) encontraron 4.272 t C ha⁻¹ almacenado en la biomasa aérea en una plantación de 13 años de edad de *Pinus greggii* Engelm., localizada en el municipio de Naolico, Veracruz.

Mientras que Aguilar (2009) determinó la captura de carbono en una plantación de *Pinus greggii* Engelm., de 16 años de edad en Arteaga, Coahuila, reportando una concentración de C promedio de 187.29 Kg por m³ de madera, del cual el 59.06% se ubica en la parte del fuste comercial, el 29.43% en las ramas, el 10.42% en las hojas y el 1.09% en los conos. Estimó una biomasa

aérea 30.06 t ha^{-1} , cuyo contenido de carbono fue de $15.03 \text{ t C ha}^{-1}$. Correspondiendo a $55.16 \text{ t CO}_2\text{e ha}^{-1}$. A nivel árbol el contenido promedio de biomasa aérea y carbono almacenado fue de 22.84 y 11.42 kg , respectivamente.

Mora (2010) evaluó la captura de carbono en una plantación de *Pinus greggii* Engelm., de 16 años de edad con una densidad de 1246 árboles ha^{-1} , establecida en Arteaga, Coahuila. Los resultados de los modelos alométricos mostraron un coeficiente (R^2) de 0.9039 para el modelo de biomasa de hojas; 0.9526 para el de ramas; 0.9802 para el de fuste y 0.9669 para la biomasa total. La biomasa aérea y el carbono almacenado promedio por árbol fue de 19.46 y 9.73 kg , respectivamente. La biomasa aérea comprende 24.24 t ha^{-1} distribuida en los fustes (61.48%), ramas (22.94%) y hojas (15.58%) y un almacén de carbono de 12.12 t ha^{-1} representado $0.76 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Por otro lado, evaluó el crecimiento e incremento con el modelo de Gompertz en biomasa y carbono de fuste, presentando una R^2 de 0.7810 . El incremento corriente anual máximo en biomasa de fuste ocurre a los 14 años con una producción de $1.429 \text{ kg año}^{-1}$ y una captura de carbono de $0.715 \text{ kg año}^{-1}$. Mientras que el incremento medio anual máximo es alcanzado a los 21 años, con una producción en biomasa de fuste de $0.720 \text{ kg año}^{-1}$ y una captura de carbono de $0.360 \text{ kg año}^{-1}$.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área de estudio

3.1.1. Localización

El predio se localiza en el municipio de Jerécuaro, Guanajuato, partiendo del municipio de Acámbaro, tomando la carretera federal No. 120. Llegando al poblado de Coronéo a una distancia de 32 km, está una desviación donde se juntan dos brechas, se toma la brecha con rumbo sur oeste al cerro de las siete cruces y a una distancia de 4 km., se encuentra el predio en cuestión (Figura 1).

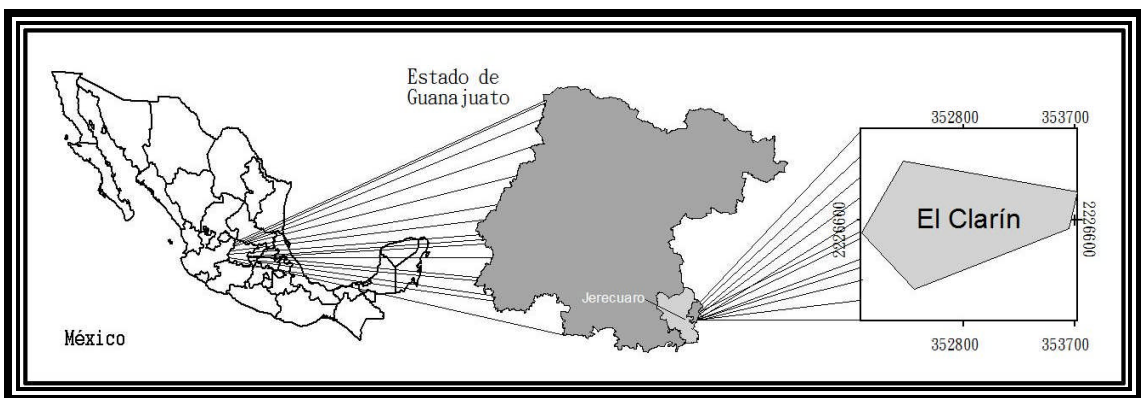


Figura 1. Localización del Predio El Clarín, Municipio de Jerécuaro, Guanajuato.

3.1.2. Ubicación geográfica del predio en estudio

El predio el Clarín se encuentra ubicado en la porción sureste del estado de Guanajuato, perteneciendo al municipio de Jerécuaro y geográficamente se encuentra localizado entre las coordenadas siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas geográficas del predio el Clarín, Jerécuaro, Guanajuato.

Longitud (Oeste)	Latitud (Norte)
100 ⁰ 24' 38.2"	20 ⁰ 08' 11.5"
100 ⁰ 23' 53.9"	20 ⁰ 08' 00.8"
100 ⁰ 24' 02.0"	20 ⁰ 07' 30.0"
100 ⁰ 24' 46.0"	20 ⁰ 07' 50.9"

3.1.3. Fisiografía

El predio en estudio se ubica dentro de la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico, sub provincia "Sierras Volcánicas y Lagos del Centro" en la parte sur este del estado de Guanajuato (Síntesis Geográfica del Estado de Guanajuato INEGI, 1994).

3.1.4. Hidrología

El predio se ubica dentro de la región hidrológica Rio Lerma – Santiago (RH12) y la cuenca Rio Lerma – Toluca (RH12A), los arroyos que se encuentran en el área son de escurrimientos temporales en su totalidad identificándose como

Arroyo La Barranca, Arroyo Palo Flojo, Arroyo Salto El León; estos arroyos son afluentes del Río Tigre, el cual desemboca en la presa de Solís (SDA, 1999).

3.1.5. Topografía

La cota máxima de altitud en la de los 2850 y la cota mínima la de 2,450 m.s.n.m. con una altitud promedio de 2,650 m.s.n.m. existen algunas áreas planas o sensiblemente inclinadas pero en su mayoría el relieve del terreno es montañoso con una pendiente que va del 40% al 45%. Como consecuencia de la topografía accidentada, dentro del terreno se localizan elevaciones importantes como son: cerro de las Escobas y cerro de las Siete Cruces; dentro de las cañadas más importantes están la cañada la Barranca y cañada Salto El León (INEGI, 1984).

3.1.6. Geología

Por lo general el material geológico que se encuentra en el área de estudio son rocas ígneas extrusivas, de las cuales las de composición ácida son las más abundantes, son riolita, toba ácida y riodacita (Síntesis Geográfica del Estado de Guanajuato INEGI, 1994).

3.1.7. Tipo de Suelo

De acuerdo con la información contenida en la carta edafológica escala 1:250,000 (INEGI, 1984), el tipo de suelo que se encuentra en el área es Feozem, es un suelo que presenta un horizonte "A" MOLICO (Horizonte de color oscuro con más del 1% de materia orgánica, 0.58% de carbono orgánico generalmente de más de 18 cm).

3.1.8. Clima

Según la CONABIO (1998) la fórmula climática es C (W₁) que corresponde al tipo templado subhúmedo, con lluvias en verano y un índice de precipitación total mensual promedio entre 43.2 y 55 mm; lluvias en invierno del 5 al 10.2 % del total anual. El régimen de precipitación muestra como temporada más seca los meses de febrero y marzo con una mínima de 10 mm; durante los meses de abril y mayo se observa un marcado aumento, hasta llegar a la precipitación máxima de 295 mm; durante los meses de julio, agosto y septiembre se mantiene en 200 mm, en promedio y en Octubre se observa un descenso considerable llega a ser de 100 mm. La precipitación total media anual es de 600 a 800 mm (CONABIO, 1998).

El régimen de temperatura muestra su mínima graduación durante los meses de diciembre y enero con valores de -3 y 18°C e inicia un ascenso rápido en el mes de mayo, con máxima de 22°C; se estabiliza durante julio, agosto y septiembre; durante los meses siguientes se observa un rápido descenso. La temperatura media anual es entre 12.2 y 18°C (CONABIO, 1998).

3.1.9. Vegetación

El tipo de vegetación que se encuentra en el predio en estudio es un bosque de encino compuesta por las especies *Quercus laurina*, *Quercus mexicana*, *Quercus reticulata*, *Quercus glabrenscens*, *Quercus fulva* y *Quercus macrophylla*), se encuentra en aprovechamiento forestal maderable donde el tratamiento que se aplica es matarrasa y la vegetación es removida en su totalidad en parcelas de 0.5 has, para realizar actividades de reforestación de las especies de *Pinus michoacana*, *P. pseudostrobus*, y *P. greggii* (Programa de manejo de forestal maderable, 1998).

3.2. Descripción de la plantación

La plantación se realizó en 1998 con planta que se produjo en un vivero forestal del gobierno del estado de Guanajuato, esta se estableció siguiendo la distribución en marco real a una distancia de 3 x 3 m, las especies que se establecieron fueron: *Pinus michoacana*, *P. pseudostrobus*, y *P. greggii*. Se realizó replantes en los dos años posteriores. Ahora el efecto de competencia (por espacio y luz) es notable y se requiere reducir el número de individuos y favorecer el crecimiento del arbolado residual.

3.3. Criterios específicos con los cuales se seleccionaron las especies a estudiar

Gutiérrez y Lopera (2001) y Díaz *et al.* (2007) mencionan que para la selección de especies se considera la abundancia y distribución de la misma, incluyendo todas las categorías diamétricas y las alturas existentes dentro de la plantación. En este estudio se tomaron 20 árboles muestra de cada especie distribuidas en toda la superficie de la plantación ya que son las representativas para plantaciones en el estado y en la región.

3.4. Selección del arbolado de muestra

De acuerdo a los recorridos de campo preliminares se consideró que los árboles a seleccionar estuvieran sin deformidades, libres de plagas y enfermedades como lo ha sugerido Nívar *et al.* (2001). Los árboles fueron extraídos en un lapso no mayor a dos meses para evitar variaciones por aumento de follaje y contenido de humedad (Marklund, 1983; Monserud *et al.*, 1996; y Nívar *et al.*, 2001). Así mismo, los árboles muestreados se separaron como árboles dominantes (AD) y árboles dominantes, codominantes y suprimidos (ADCS) por especie, los cuales sirvieron para realizar algunas

estimaciones de crecimiento e incremento, a nivel estrato. Los árboles muestra se colectaron del 13 al 17 de mayo del 2009.

3.5. Variables del arbolado a evaluar

Los árboles seleccionados se marcaron con pintura para ubicarlos fácilmente, antes de derribarlos se midió el diámetro a la altura del pecho (1.30 m) y el diámetro de copa. Después de derribarlos se midió el diámetro del fuste a la base (0.30 m), el diámetro del fuste a la primera rama (cm), la altura del fuste comercial (m), la altura total (m) y la longitud de copa (m).

Para la medición de diámetro se utilizó una cinta diamétrica; para las alturas y el diámetro de copa, así como la longitud de copa se utilizó un flexómetro de 3 m. El fuste comercial se consideró hasta los 7 cm de diámetro, este se midió con cinta diamétrica, después de haber sido derribado el árbol. La información se registró en formatos previamente elaborados.

Antes de realizar el derribo del arbolado, se realizó un inventario de la plantación usándose sitios circulares de 1000 m² para obtener las características dasométricas tales como: Diámetro a la altura del pecho, altura total y cobertura de copa, para estimar el contenido de biomasa y de carbono en la plantación.

Los datos de inventarios forestales han sido frecuentemente utilizados en la estimación de la biomasa aérea de árboles vivos incluyendo hojas, ramas, flores/frutos, corteza y tronco (Brown *et al.*, 1989; Brown y Lugo, 1992)

3.6. Derribo y troceado del arbolado

Previo al derribo, se colocó una lona de plástico extendida sobre el suelo, ubicada lo más cercano a la caída del árbol, para evitar la pérdida de los componentes de hojas-ramas.

Siguiendo la metodología de Nájera (1999); Gayoso *et al.* (2002) y Méndez *et al.* (2006) con el uso de la motosierra y aplicando el derribo direccional se derribaron los árboles seleccionados, evitando que los árboles residuales sufrieran algún daño mecánico. Una vez derribado el árbol, los componentes fueron separados en: hojas-ramas (HR) y fuste (F) (Figura 2). El fuste del árbol fue seccionado en trozas de 1.20 m de longitud. A cada troza se le midió el diámetro mayor y el diámetro menor, de cada troza se obtuvo una rodaja con espesor aproximado de 5 cm en su extremo inferior, para ser utilizada como submuestra en la determinación del peso seco de la madera y de la corteza. Para obtener el peso seco de los componentes hojas-ramas, se recolectaron submuestras de aproximadamente del 5% del total de cada uno de ellos, se empacaron en bolsas de papel debidamente rotuladas, para ser secadas en laboratorio.

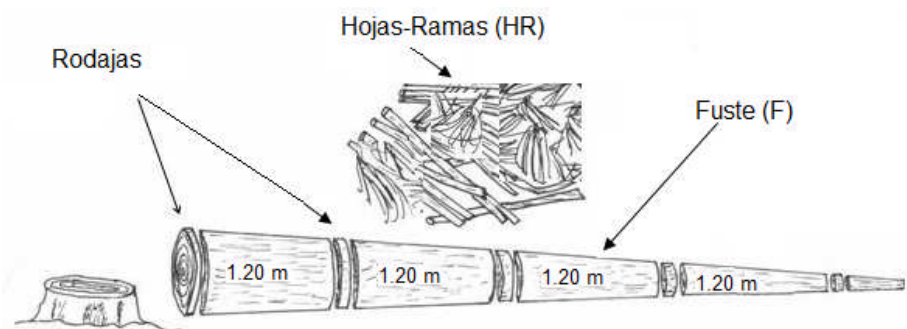


Figura 2. Derribo, troceo, seccionado del árbol y separación por componentes.

3.7. Pesado de los componentes del arbolado e identificación de submuestras

Los componentes, hojas-ramas y fuste (troceado) fueron pesadas en fresco utilizando una báscula romana con capacidad de 120 kg (Figura 3). Las submuestras de HR (empaquetadas en bolsas de papel) y rodajas se pesaron utilizando una báscula de reloj con capacidad de 10 kg (Figura 4). Las rodajas y submuestras de HR se identificaron con claves para su posterior análisis.



Figura 3. Pesado en fresco de los componentes hojas-ramas y fuste.



Figura 4. Pesado de las submuestras de los componentes hojas-ramas y rodajas en campo.

3.8. Secado de submuestras de cada componente

El secado de las submuestras (HR y Rodajas) se realizó en el laboratorio de la Facultad de Tecnología de la Madera en Morelia Michoacán. Para esto se utilizó una estufa modelo Hildebrand con capacidad de 350 pies tabla (Figura 5); se aplicó una temperatura de 80°C durante 8 días hasta alcanzar el peso constante o anhidro, según lo han sugerido Nájera (1999), Nívar *et al.* (2001), Gaillard *et al.* (2002), Pacheco *et al.* (2007) y Ferrere *et al.* (2008). Durante este proceso se monitoreó el peso seco de 15 muestras de cada componente diariamente, usando una báscula digital con una capacidad 40 kg.



Figura 5. Forma del secado de las submuestras de hojas-ramas y rodajas.

3.9. Estimación del volumen y determinación de la edad

El volumen con corteza de cada troza del árbol, considerando únicamente el fuste comercial, se estimó de acuerdo a la fórmula de Smalian.

$$V = \left(\frac{B+b}{2} \right) L$$

Donde:

V= Volumen (m³).

B= Área basal del diámetro mayor (m²).

b= Área basal del diámetro menor (m²).

L= Longitud (m).

El volumen total del fuste se obtuvo con la sumatoria del volumen de cada troza en cada árbol.

Las rodajas obtenidas en cada troza a lo largo del fuste, se utilizaron para determinar la edad, realizar análisis troncales y con ello estimar el crecimiento e incremento anual en biomasa. Para resaltar el contorno de los anillos anuales y facilitar la visibilidad de los mismos, las rodajas se lijaron y se les aplicó barniz industrial, se digitalizaron usando un escáner Epson Twain Pro 32 bit Twain para su posterior medición. El conteo de los anillos de crecimiento y su medición se realizó usando el programa WinDendro™ 2005, usando dos radios tomando la medula central como punto de inicio e incluyendo la corteza. El procesamiento de los datos se realizó utilizando Xlstem™ V1.3, que es un accesorio de WinDendro™.

3.10. Generación de modelos de volumen

Para la generación de los modelos para volumen con corteza (por especie) se utilizó el procedimiento Stepwise (regresión paso a paso), opción "best R", utilizando las variables de diámetro a la altura del pecho (D), diámetro base (DB) y altura total (HT), logaritmo natural del diámetro a la altura del pecho (LND), logaritmo natural de diámetro a la base (LNDB), logaritmo natural de altura total (LNH) y el volumen individual de cada árbol (V). Las variables utilizadas en la generación de estos modelos, obedecen a que de ellas se tiene una medición directa y las estimaciones del volumen tienen una mayor confiabilidad y precisión. De los modelos generados (usando interacciones lineales y cuadráticas) se seleccionó uno acorde a la distribución de los residuales, R² ajustada, error estándar y la sencillez del mismo.

3.11. Estimación de la biomasa aérea por componente

Utilizando los valores de peso verde y peso seco, se estimó la biomasa de cada componente (hojas-ramas y fuste) para ambas especies, aplicando las ecuaciones propuestas por Schelegel *et al.* (2001).

$$CH = \frac{(Phs - Pss)}{Pss} * 100$$

Donde:

CH= Contenido de humedad (%).

Phs= Peso húmedo submuestra (gr).

Pss= Peso seco submuestra (gr).

Una vez determinado el contenido de humedad se calculó la proporción del peso húmedo que corresponde a la biomasa, acorde a la siguiente ecuación:

$$B = \frac{PhBt}{1 + (CH / 100)}$$

Donde:

B= Biomasa seca (gr).

PhBt= Peso húmedo total de biomasa (gr).

CH= Contenido de humedad (%).

3.12. Modelos de biomasa aérea

Para estimar la biomasa de cada componente, se probaron los modelos propuestos por Gayoso *et al.* (2002) utilizando el programa estadístico SIGMA PLOT Versión 10, acorde al método de mínimos cuadrados, determinando así la biomasa en los diferentes componentes del árbol. Los modelos utilizan básicamente el diámetro a la altura del pecho y la altura total (Cuadro 2).

Cuadro 2. Modelos probados para estimar biomasa por componentes en *P. michoacana* y *P. pseudostrobus*.

Modelo	Ecuaciones
1	$Y = a * D^b$
2	$Y = a + b * D + c * D^2$
3	$Y = a + b * D^2 + c * H + d * D^2 * H$
4	$Y = a + b * D^2$
5	$Y = a + b * D^2 * H$
6	$Y = (a + b * D)^2$
7	$Y = Exp(a + b * (LnD))$
8	$Y = Exp(a + b * Ln(D^2 HT))$
9	$Y = Exp(a + b * D)$

Y= Biomasa en hojas-ramas, fuste y total (Kg); a, b, c y d= Parámetros estadísticos; Exp= Exponencial; Ln= Logaritmos natural; D= Diámetro a altura del pecho (cm) y HT= Altura total (cm).

3.12.1. Criterios de selección de modelos ajustados a la biomasa aérea

Para la selección de los modelos se siguió el procedimiento utilizado por Lugercio y Dafosse (2001); Méndez *et al.* (2006), analizando los estadísticos de la regresión; coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}); error estándar de la estimación (Syx); error de predicción de suma de cuadrados (PRESS), prueba

de autocorrelación de Durbin y Watson (DW), coeficiente de variación (CV), valor de F (F), significancia del modelo ($P < F$) y cuadrado medio del error (CME). La elección de la mejor ecuación estimadora de volumen y biomasa se efectuó a través de la asignación de puntajes a cada uno de los modelos ajustados. El valor uno fue asignado a la ecuación que presentó el mejor estadístico según los criterios correspondientes, el proceso se continuó sucesivamente hasta completar la asignación de puntajes a todos los modelos realizándolo criterio por criterio. Posteriormente, se obtuvo la sumatoria y se ordenaron los puntajes de menor a mayor, donde los menores puntajes finales indicaron ecuaciones más precisas.

3.13. Estimación del crecimiento e incremento en biomasa fustal de *P. michoacana* y *P. pseudostrobus*

Los modelos de crecimiento citados en la literatura, fueron utilizados en este estudio para describir el crecimiento e incremento en biomasa fustal en ambas especies (Cuadro 3).

El volumen fustal obtenido de los análisis troncales, fue transformado a biomasa utilizando su densidad básica.

El incremento corriente anual (ICA) en biomasa fustal, se obtuvo mediante la forma diferencial del modelo seleccionado, mientras que el incremento medio anual (IMA) se obtuvo usando el modelo de crecimiento para cada año y la biomasa total diferenciada por la edad acumulada en cada año (Nájera, 1999).

Usando análisis troncales fue posible estimar el volumen de ambas especies desde la edad uno hasta la edad de 13 años. El volumen fue transformado a biomasa utilizando la densidad básica (0.540 y 0.506 gr cm^3) (Zobel y Talbert, 1988).

Los árboles de cada especie fueron agrupados en dominantes (AD) y árboles dominantes, codominantes y suprimidos (ADCS), a los que separadamente se les ajustaron los modelos de crecimiento. El objetivo de agrupar en AD y ADCS fue para identificar los patrones de crecimiento e incremento en biomasa fustal, tratando de simular los efectos del aclareo sobre la plantación, mismos que están próximos a realizarse, pero también para conocer el potencial del área para producir biomasa y captura de carbono, y los efectos con y sin aclareos.

Cuadro 3. Nombre y forma integral de los modelos de crecimiento ajustados en biomasa fustal en *P. michoacana* y *P. pseudostrobus*.

Nombre de la ecuación	Forma integral
Chapman-Richards	$Y = a * \left(1 - e^{(-b * E)}\right)^c$
Gompertz	$Y = a * e^{(-b * E(-c * E))}$
Logístico	$Y = a / (1 + c * e^{(-b * E)})$
Schumacher	$Y = e^{(a + b / E)}$

Y= Biomasa fustal (Kg), a, b y c= Parámetros estadísticos de la regresión; e= base de los logaritmos neperianos; E= Edad (años).

Con las derivadas del modelo de Schumacher (Cuadro 4) se estimó el ICA e IMA en biomasa fustal en *P. michoacana* y *P. pseudostrobus*.

Cuadro 4. Derivadas del modelo Schumacher utilizadas para obtener ICA e IMA en *P. michoacana* y *P. pseudostrobus*.

Incremento en biomasa	Ecuación matemática
Incremento corriente anual (ICA)	$\frac{dY}{dX} = -\frac{b}{X^2} e^{a+b/X}$
Incremento medio anual (IMA)	$\frac{\partial Y}{\partial b} = \frac{1}{X} e^{a+b/X}$

a y b= Parámetros estadísticos de regresión; e= Base de los logaritmos neperianos; X= Edad (años).

3.14. Estimación del carbono en cada componente

Una vez conocido el peso seco de los componentes hojas-ramas, fuste y total de *P. michoacana* y *P. pseudostrobus*, es posible determinar el contenido de carbono. Aunque el contenido de carbono a nivel especie puede variar desde 40.27 hasta 46.29 e incluso más de 50% (Gayoso y Schlegel, 2001; Husch, 2001; Gayoso *et al.*, 2002; IPCC, 2003), una ponderación específica e interespecífica de factores de contenido de carbono de raíces, fuste, ramas y hojas arroja una aproximación cercana al 50%, sugiriendo que cerca de la mitad del peso anhidro de sus constituyentes sólidos es equivalente a contenido de carbono. Este factor de conversión ha sido sugerido por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático así como por Gayoso y Schlegel (2001), Husch (2001), Gayoso *et al.* (2002), para estudios de captura de carbono.

3.15. Estimación del dióxido de carbono asimilado o equivalente (CO₂e)

El dióxido de carbono equivalente (CO₂e) se determinó con base en que se han adoptado coeficientes de transformación de materia verde en materia seca en masa de carbono, por haberse determinado que 1 t de madera contiene una cantidad media de 0.45 t de C y que existe un contenido de 1 t de C en 3.66 t de CO₂ (Raev *et al.*, 1997; Martínez *et al.*, 2003; Mogas y Riera, 2004; Pacheco *et al.*, 2007), por lo que se ha empleado una simple expresión matemática para evaluar este proceso, en el cual los datos existentes de biomasa (B) son multiplicados por un factor (F), que involucra el contenido de C (CC, en proporción) en la biomasa seca y la relación entre el peso de la molécula de CO₂ (44) y el peso del átomo de C (12), acorde a la siguiente expresión.

$$\text{CO}_2 = B * F$$

Donde:

CO₂= Carbono equivalente (Ton).

B= Biomasa (kg).

F = CC * 44/12.

CC= Contenido de carbono (Ton).

4. RESULTADOS

En el presente estudio se seleccionaron 20 árboles de cada especie, se reportan valores de características dasométricas de la especie, así como promedios y rangos de las variables peso y volumen (Cuadro 5). Acorde a los datos obtenidos, *P. michoacana*, reporta diámetros que van desde 13.0 hasta 23.0 cm, y alturas desde 5.6 a 10.0 m, mientras que en *P. pseudostrobus*, estos datos oscilan entre 14.5 y 27.0 cm en diámetro y desde 7.4 hasta 12.6 m en altura total. En relación al peso seco total, el valor máximo obtenido en *P. michoacana* y *P. pseudostrobus*, fue de 88.0 kg ($\phi=22.5$) y 255.0 kg ($\phi=27$) respectivamente.

El volumen mínimo representado en *P. michoacana* fue de 0.038 m³, mientras que para *P. pseudostrobus* este valor fue de 0.056 m³, para los diámetros citados anteriormente. Por otro lado, el volumen máximo observado fue de 0.146 y 0.242 m³ para ambas especies respectivamente.

El peso verde total (PVT) en los árboles de mayores dimensiones en *P. pseudostrobus* fueron registrados en más de 540 kg, siendo más del doble obtenido en *P. michoacana* el cual fue de solo 212 kg a la misma edad.

Cuadro 5. Características dasométricas de los árboles evaluados (n=20) de *P. michoacana* y *P. pseudostrobus*, en el predio el Clarín, Jerécuaro, Guanajuato.

Variable	<i>P. michoacana</i>					<i>P. pseudostrobus</i>				
	Media	E.E.	Max	Min	C.V.	Media	E.E.	Max	Min	C.V.
D (cm)	18.33	3.43	23.00	13.00	18.70	18.73	3.62	27.00	14.5	19.32
DB (cm)	22.70	3.88	27.00	15.00	17.10	22.78	4.15	31.00	17.00	18.24
LC (m)	5.65	1.02	7.52	3.06	17.98	6.98	1.23	9.40	4.46	17.66
AC (m)	3.55	0.97	5.40	1.90	27.45	4.19	1.35	7.25	2.70	32.18
H (m)	8.12	1.06	10.00	5.62	13.06	9.82	1.09	12.67	7.44	11.06
HCOM (m)	5.51	1.03	7.35	3.80	18.72	6.67	1.32	9.20	4.37	19.73
VOL (m ³)	0.09	0.03	0.15	0.04	38.96	0.11	0.06	0.24	0.06	50.89
PVF (kg)	76.10	30.54	134.20	32.10	40.13	105.52	60.22	257.30	51.70	57.07
PVHR(kg)	55.56	27.34	126.70	16.00	49.21	86.76	63.54	283.50	29.68	73.24
PVT (kg)	131.66	52.74	211.35	48.48	40.06	192.28	121.94	540.80	84.80	63.42
PST (kg)	52.08	20.12	88.09	18.77	38.63	79.51	55.47	255.07	30.28	69.77
PSHR(kg)	21.48	10.84	51.64	6.25	50.46	34.83	28.77	131.53	10.70	82.62
PSF (kg)	30.59	11.05	54.32	12.52	36.12	44.68	27.44	123.54	19.58	61.41

D= Diámetro a la altura del pecho, DB=Diámetro a la base, LC= Longitud de copa, AC= Ancho de copa, H= Altura total, HCOM=Altura comercial, VOL= Volumen, PVF= Peso verde fuste, PVHR= Peso verde hojas-ramas, PVT= Peso verde total, PST= Peso seco total, PSHR= Peso seco hojas-ramas, PSF=Peso seco Fuste, E.E.= Error estándar; C.V.= Coeficiente de Variación; Mín.= Mínimo; Max.= Máximo.

4.1. Modelos para estimar volumen en *P. michoacana* y *P. pseudostrobus*

Los modelos generados, ajustados al volumen comercial con corteza para ambas especies, cuyas ecuaciones relacionan básicamente las variables dasométricas de fácil medición en los árboles, destacando básicamente el diámetro en la base como variable predictiva principal, se puede observar en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Modelos para estimar volumen de fuste comercial de *P. michoacana* y *P. pseudostrobus*.

Especie	Función
<i>Pinus michoacana</i>	$\text{Vol} = 0.00504 + 2.539 \cdot \text{DN} \cdot \text{DB} \cdot \text{H}$
<i>Pinus pseudostrobus</i>	$\text{Vol} = -0.00383 + 2.0435 \cdot \text{DN} \cdot \text{DB} \cdot \text{H} + 1.79098 \cdot \text{DB}^3$

Donde:

Vol = Volumen (m³).

DB = Diámetro a la base (cm).

H = Altura (m).

DN = Diámetro normal (cm).

Cuadro 7. Estadísticos de ajuste de modelos de volumen en *P. michoacana* y *P. pseudostrobus* en el predio el Clarín, Jerécuaro Guanajuato.

Estadísticos de ajuste	<i>P. michoacana</i>	<i>P. pseudostrobus</i>
R	0.967	0.992
R ²	0.935	0.985
R ² ajustada	0.931	0.980
Error estándar	0.00904	0.00804
Número de observaciones	20	20
PRESS	0.0018	0.0017
R ² para la predicción	0.918	0.973
Durbin-Watson	1.934	1.615
Autocorrelación de 1 ^{er} orden	0.018	0.121
Colinealidad	1.000	0.080
Coefficiente de variación	10.241	7.309

Acorde a los estadísticos, los resultados mostraron que los mejores ajustes se observan en *P. pseudostrobus*. Los modelos ajustados estiman adecuadamente el volumen de cada especie, explicando el 98 y 93% en *P. pseudostrobus* y *P. michoacana* respectivamente, con un error estándar de 0.008 y 0.009 m³ y un coeficiente de variación de 7.30 y 10.2% respectivamente, donde fueron elementales para seleccionar el modelo (Cuadro 7).

En la Figura 6, se relacionó el volumen comercial (m^3) y el diámetro normal (cm) en la que se observa que el diámetro mayor de *P. michoacana* (23 cm) alcanza un volumen de $0.115 m^3$, mientras que en *P. pseudostrobus* teniendo el mismo diámetro alcanza un volumen de $0.159 m^3$, siendo una diferencia de $0.044 m^3$.

Este estudio se determinó un volumen de *Pinus michoacana* $1.81 m^3$ y 3.66 veces más que el volumen máximo que reportado por Aguilar (2009) y Mora (2010) en *Pinus greggii* Emgelm., mientras que en *Pinus pseudostrobus* tiene una diferencia de 2.99 y 6.06 veces, con respecto a lo que reportan estos autores, considerando que la edad de las plantaciones de estos autores es de 16 años.

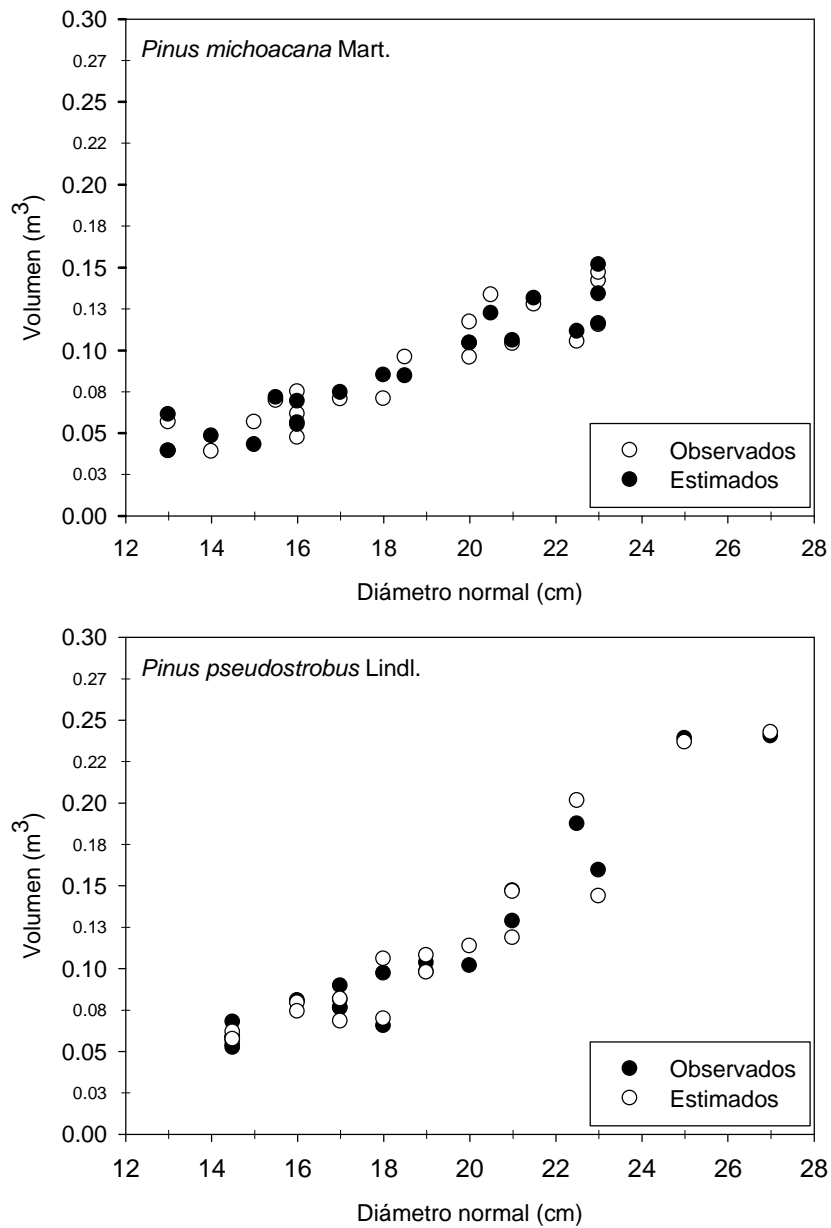


Figura 6. Relación diámetro normal y volumen comercial observado y estimado en *P. michoacana* y *P. pseudostrobus*, en el predio el Clarín, Jerécuaro, Guanajuato.

4.2. Biomasa por componente en *P. michoacana*

En base al promedio de la R^2_{aj} de los 9 modelos probados para estimar el contenido de biomasa en los componentes hojas-ramas, fuste y total de *P. michoacana*, se observa que los modelos se ajustan mejor al componente de fuste, biomasa total y finalmente a la biomasa en hojas-ramas (Cuadro 8).

Cuadro 8. Parámetros y estadísticos de ajuste de los modelos de biomasa de hojas-ramas, fuste y total en *P. michoacana*.

Modelo	Componente											
	Hojas-Ramas				Fuste				Total			
	R^2_{aj}	Syx	PRESS	DW	R^2_{aj}	Syx	PRESS	DW	R^2_{aj}	Syx	PRESS	DW
1	0.5718	7.09	1175.4	2.05	0.8470	4.32	449.1	2.56	0.8445	7.93	1461.6	2.24
2	0.5551	7.23	1197.0	2.10	0.8457	4.34	471.1	2.44	0.8448	7.93	1462.7	1.86
3	0.6000	6.86	1357.6	1.69	0.8966	3.55	305.7	2.17	0.831	8.27	1868.6	1.67
4	0.5732	7.08	1154.0	2.05	0.8446	4.36	449.6	2.59	0.8439	7.95	1450.8	1.89
5	0.4111	8.32	1510.7	2.21	0.8901	3.66	314.3	2.13	0.7584	9.89	2159.6	2.11
6	0.5724	7.09	1166.3	2.05	0.8458	4.34	449.2	2.58	0.8442	7.94	1457.1	1.88
7	0.5718	7.09	1175.4	2.05	0.8470	4.32	449.1	2.56	0.8445	7.93	1461.6	1.88
8	0.4205	8.25	1474.1	2.21	0.8897	3.67	319.2	2.08	0.7645	9.76	2078.3	2.10
9	0.5602	7.19	1213.6	2.01	0.8305	4.55	499.5	2.62	0.8280	8.34	1628.3	1.90

R^2_{aj} = Coeficiente de determinación ajustado, Syx= Error estándar, PRESS= Error de predicción de suma de cuadrados, DW= Estadístico de autocorrelación de Durbin-Watson.

El modelo que presentó el mejor ajuste en la biomasa en hojas-ramas en *P. michoacana* fue el 4 (Cuadro 2), el cual presentó un R^2_{aj} de 0.57 y un error estándar de 7.08 kg (Cuadro 8); mientras que el modelo 5 fue el que presentó

el menor ajuste, con una R^2_{aj} de 0.41 y un error estándar de 8.32 kg; de acuerdo a los criterios estadísticos ya descritos.

Los modelos para predecir la biomasa de las hojas-ramas no son muy buenos, puesto que mostraron una R^2_{aj} baja. Al respecto (Frangi y Lugo, 1985; Návar *et al.*, 2001; Gayoso y Guerra, 2005) encontraron que la mayor variación en biomasa se obtiene en el componente hojas-ramas.

La Figura 7a indica la biomasa del componente hojas-ramas en relación al diámetro cuadrático, observándose una variación amplia en todas las categorías diamétricas analizadas. En promedio se estimó 21.48 kg de biomasa del componente hojas-ramas para un diámetro medio de 18 cm. Reportado también la distribución de los residuales es (Figura 7b).

Por otra parte, para determinar la biomasa del componente del fuste el modelo 3 fue el que presentó mejor ajuste, pero debido a los criterios de selección del modelo para la estimación de biomasa en este componente, se eligió el modelo 5 (Cuadro 2), el cual fue el segundo con mejor ajuste (Cuadro 8), indicando una R^2 de 0.89 y un error de 3.66 kg. La biomasa de fuste puede ser calculada utilizando la combinación de las variables diámetro cuadrático (D^2) y la altura (H), observando una distribución muy homogénea en la biomasa observada (Figura 7c), variando desde 13.89 hasta 54.31 kg y con un promedio de 30.59 kg, para el mismo diámetro medio, donde sus residuales presentaron una mejor distribución (Figura 8d), en comparación de los residuales de hojas-ramas.

La integración de los componentes hojas-ramas y biomasa fustal, resultó en un buen ajuste del modelo para predecir la biomasa total, ya que este disminuye la variación observada en el primer componente. Su ajuste fue de una R^2 de 0.84 y un error estándar de 7.93. El promedio de la biomasa fue de 52.07 kg a un diámetro de 18 cm y oscila entre 18.77 y 88.09 kg. El modelo mejor ajustado utiliza únicamente el logaritmo natural del diámetro normal (LND) (Figura 7e).

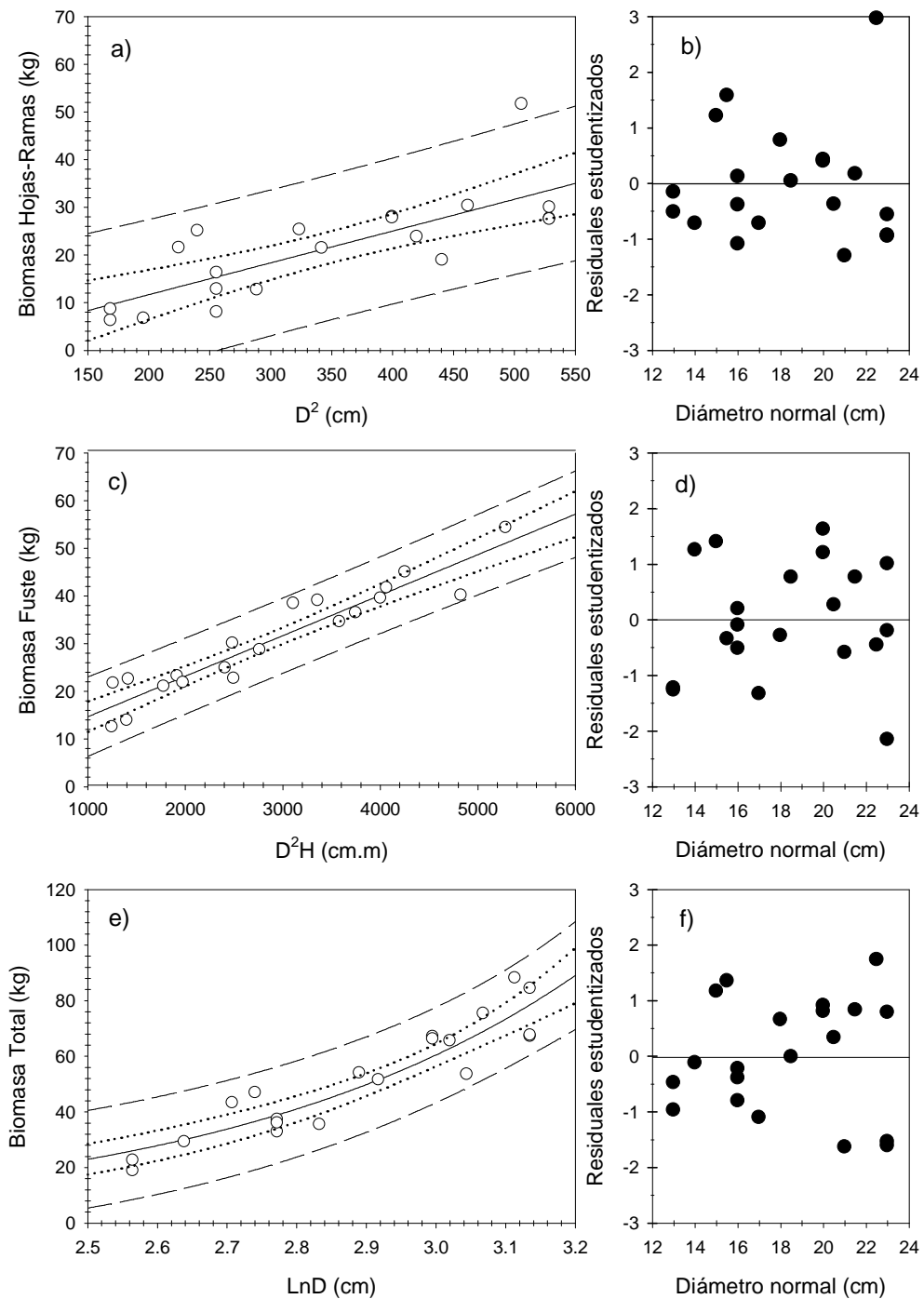


Figura 7. Biomasa hojas-ramas (a), fuste (c) y total (e) en *P. michoacana*, en relación a su variable independiente y distribución de los residuales.

Al igual que los estudios de biomasa realizados por Frangi y Lugo, (1985); Návar *et al.* (2001); Gayoso y Guerra (2005), los resultados indican que los modelos se ajustaron mejor a la biomasa fustal en *P. michoacana*, y no así a la biomasa de hojas-ramas.

4.3. Biomasa por componentes en *P. pseudostrobus*

El modelo 1 (Cuadro 2) es el que mejor predice la biomasa para el componente hojas-ramas, de acuerdo con los criterios estadísticos establecidos, presentó un R^2_{aj} de 0.83 y un error estándar de 11.62 kg (Cuadro 9), este presentó mejor ajuste que en *P. michoacana* (R^2_{aj} 0.57); mientras que para estimar la biomasa en fuste y total, el modelo 9 fue el que mostró el mejor ajuste con una R^2_{aj} de 0.93 y un error estándar de 7.11 y de 0.91 y 15.93 kg para la biomasa total respectivamente (Cuadro 9). Estos ajustes fueron mejores a los obtenidos en *P. michoacana*.

Otros modelos que también destacan para estimar biomasa fustal son el 8 y 5 (Cuadro 2) los cuales mostraron incluso mejores ajustes al modelo seleccionado, explicando éstos el 94% y el 93% de la variación total respectivamente, sin embargo la distribución de los residuales indican tendencias irregulares y fue por ello no fueron seleccionados.

Cuadro 9. Parámetros y estadísticos de ajuste de los modelos de biomasa de hojas-ramas, fuste y total de *P. pseudostrobus*.

Modelo	Componentes											
	Hojas-Ramas				Fuste				Total			
	R ² aj	Syx	PRESS	DW	R ² aj	Syx	PRESS	DW	R ² aj	Syx	PRESS	DW
1	0.8368	11.62	4745.8	2.35	0.9202	7.75	1418.4	2.16	0.8961	17.88	9474.6	2.49
2	0.8469	11.26	4113.5	2.23	0.9246	7.53	1255.5	1.91	0.9064	16.97	7912.7	2.30
3	0.7726	13.72	11860.5	2.08	0.9315	7.18	2468.0	1.64	0.8723	19.83	24157.4	2.01
4	0.7607	14.08	5860.3	2.18	0.8949	8.90	2002.9	2.07	0.8487	21.58	13194.1	2.26
5	0.7687	13.84	5939.9	1.77	0.9343	7.03	1332.5	1.58	0.8720	19.85	11986.6	1.76
6	0.8009	12.84	5348.0	2.31	0.9085	8.30	1715.1	2.14	0.8738	19.71	11462.5	2.41
7	0.8368	11.62	4745.9	2.35	0.9202	7.75	1418.6	2.16	0.8961	17.88	9485.2	2.49
8	0.7979	12.94	6496.6	1.73	0.9410	6.66	1302.6	1.54	0.8882	18.55	12518.2	1.73
9	0.8638	10.62	3580.6	2.30	0.9328	7.11	1092.4	1.94	0.9176	15.93	6364.6	2.42

R²aj= Coeficiente de determinación ajustado, Syx= Error estándar, PRESS= Error de predicción de suma de cuadrados, DW= Estadístico de autocorrelación de Durbin-Watson.

En la Figura 8, donde se muestra que con el diámetro normal se puede estimar adecuadamente la biomasa de los tres componentes; a demás en esta se observa que en *P. pseudostrobus*, y de acuerdo a los estudios realizados por Frangi y Lugo (1985); Návar *et al.* (2001); Gayoso y Guerra (2005) la biomasa fustal observada en los diferentes diámetros es más homogénea, mientras que la mayor variación fue encontrada también en el componente hojas-ramas. Al integrarse la biomasa de los componentes hojas-ramas y fustal, la variación disminuye logrando con ello mejores ajustes en los modelos.

Los residuales estudentizados de los componentes fuste y total presentan una buena distribución (Figura 8d y 8f), excepto los componentes de hojas-ramas (Figura 8b). En la mayoría de los casos se logra una estimación satisfactoria de la biomasa cuando sólo se usa el diámetro como variable independiente (Álvarez, 1993; Návar *et al.*, 2001; Rodríguez *et al.*, 2006; Díaz *et al.*, 2007). Situación que se puede observar.

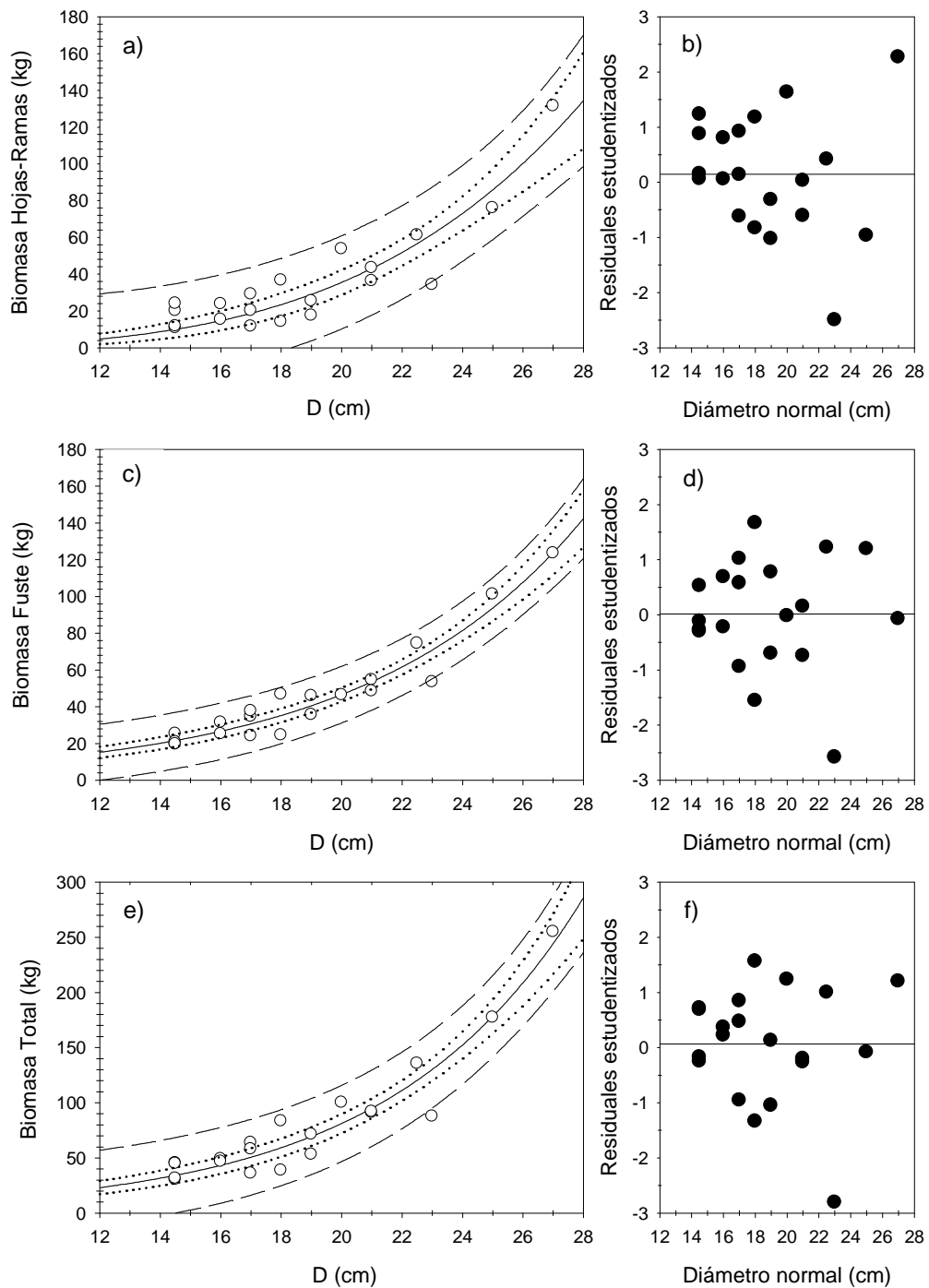


Figura 8. Biomasa hojas-ramas (a), fuste (c) y total (e) en *P. pseudostrobus*, en relación a su variable independiente y distribución de los residuales.

En relación a la biomasa del componente hojas-ramas de *P. michoacana* a un diámetro de 20 cm se estimó en 25.02 kg (Figura 7a), mientras que en *Pinus pseudostrobus* a ese mismo diámetro se observa una biomasa estimada de 35.53 kg (Figura 8a) similarmente, la biomasa fustal fue de 32.61 en *Pinus michoacana* (Figura 7c) y 46.62 kg en *Pinus pseudostrobus* (Figura 8c); para la biomasa total se estimó en 55.61 (Figura 7e) y 81.19 kg (Figura 8e) respectivamente, para un diámetro de 20 cm.

Para determinar la biomasa de fustal, los modelos en *Pinus michoacana* y *Pinus pseudostrobus* muestran un coeficiente de determinación (R^2 aj.) de 0.89 y 0.93, respectivamente. En este sentido, Nívar *et al.* (2001) obtuvieron un R^2 de 0.83 en el modelo para determinar la biomasa de fuste de este componente en *Pinus durangensis* y *P. cooperi*; mientras que Aguilar (2009) y Mora (2010) reportan un R^2 de 0.97 y 0.98 respectivamente, en una plantación de 16 años de edad en *Pinus greggii*.

El R^2 aj del modelo para estimar biomasa total en *Pinus michoacana* fue de 0.84 mientras que para *Pinus pseudostrobus* fue de 0.91, este último diferente al reportado por Nívar *et al.* (2001) ($R^2=0.87$) en *Pinus durangensis* y *P. cooperi*, a la edad de 14 años. Mientras que Pacheco *et al.* (2007) obtienen una R^2 de 0.89 en el modelo para *Pinus greggii*, a la edad de seis años, mientras que Aguilar (2009) y Mora (2010) reportan un R^2 de 0.94 y 0.96 respectivamente, en una plantación de 16 años de edad de especie.

4.4. Porcentaje de biomasa por componente en *P. michoacana* y *P. pseudostrobus*

La Figura 9 indica las tendencias lineales porcentuales de los componentes hojas-ramas y fuste. Los porcentajes promedian 39.84 y 60.16% respectivamente. Aunque estadísticamente no hay una tendencia significativa, todo parece indicar que el porcentaje de biomasa en fuste disminuye conforme el árbol es mayor, mientras que en la biomasa en el componente hojas-ramas

tiende a incrementar cuando el diámetro aumenta, quizá esta tendencia podría ser significativa si se consideran categorías de diámetro mayores, similar a lo que han encontrado Méndez *et al.* (2006) en *Prosopis glandulosa*, donde los porcentajes que se obtuvieron en la biomasa fustal oscilan desde 41.38 hasta 77.27%, mientras que en las hojas-ramas se presenta una variación desde 22.72% a un máximo de 58.61%, en el intervalo de 13 a 23 cm de diámetro.

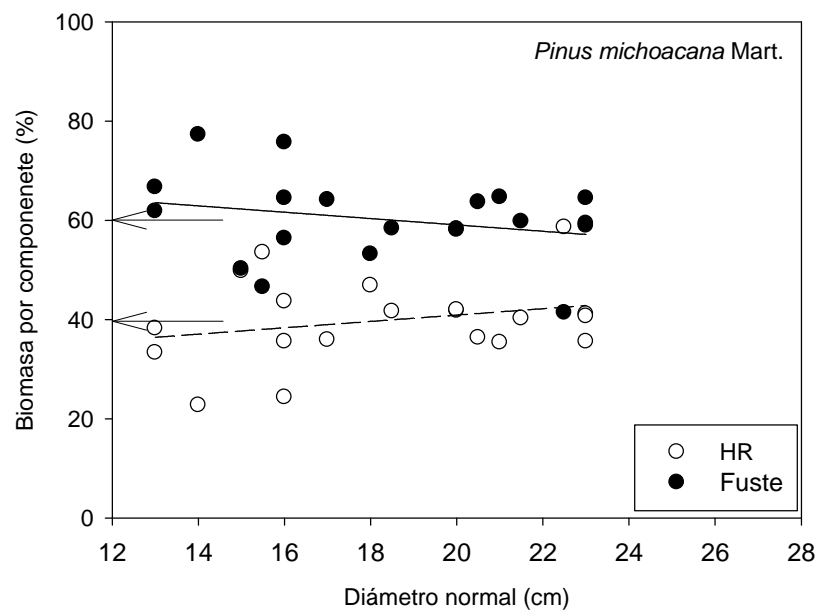


Figura 9. Tendencia lineal de porcentaje de biomasa en *P. michoacana* en el predio el Clarín, Jerécuaro, Guanajuato.

Por otra parte el porcentaje de biomasa promedio que se presenta en el fuste de los árboles de *P. pseudostrobus* es de 58.35% variando de 46.37% hasta 67.45% (Figura 10). En el componente hojas-ramas se observó un porcentaje promedio de 41.65% de biomasa, variando desde 32.54% a un máximo de 53.62%, en un intervalo de 14.5 a 27 cm de diámetro, observándose un ligero incremento en biomasa respecto al crecimiento en diámetro (Figura 10).

Las pruebas de “t” realizadas al 95%, al porcentajes de biomasa, transformada con arcsen, no registraron diferencias significativas ($P < 0.4646$), indicando que

ambas especies registran la misma proporción de biomasa en los componentes hojas-ramas y fuste.

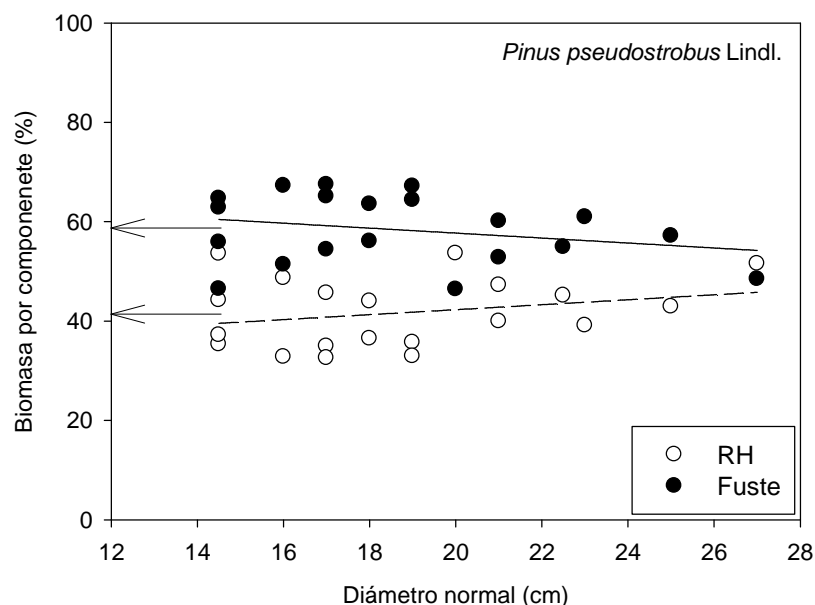


Figura 10. Tendencia lineal en el porcentaje de biomasa en *P. pseudostrobus* en el predio el Clarín, Jerécuaro, Guanajuato.

Los porcentajes de biomasa por componente encontrados en ambas especies en el presente estudio, son similares a los que reportan Nívar *et al.* (2001) en fuste fue de 64 y 67%, mientras que en hojas-ramas fue de 36 y 33% de *P. duranguensis* y *P. cooperi*, respectivamente; Pacheco *et al.* (2007) en *Pinus greggii* Engelm., reportan 49% en hojas-ramas y 51% en fuste; Aguilar (2009) encontró en una plantación de *Pinus greggii* Engelm., muestra que el fuste aporta el 59.06% de biomasa, seguido por las ramas con 29.43%, las hojas con el 10.42% y en conos (1.09%); Mora (2010) reportó que la biomasa aérea se encuentra distribuida en el fuste (61.48%), ramas y hojas (38.52%) en *Pinus greggii* Engelm.

4.5. Estimación del incremento en biomasa fustal en *P. michoacana* y *P. pseudostrobus*

Los resultados indican que para ambos estratos (AD y ADCS) y especies el modelo que mejor estima el crecimiento en biomasa fustal es el de Schumacher, cuyas estadísticas se reportan en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Estadísticos de ajuste de los modelos de crecimiento en biomasa fustal para *P. michoacana* y *P. pseudostrobus*.

Especie	Estrato	N	R ² aj	CME	Sxy	P>F
<i>P. michoacana</i>	AD	8	0.9575	16.7513	4.09	0.0001
	ADCS	20	0.8124	54.4800	7.38	0.0001
<i>P. pseudostrobus</i>	AD	8	0.8241	163.5151	12.78	0.0001
	ADCS	20	0.6579	187.1996	13.68	0.0001

ADCS= Árboles dominantes, codominantes y suprimidos, AD= Árboles dominantes, n= Número de árboles R²aj= Coeficiente de determinación ajustado, CME= Cuadrado medio del error, Sxy= Error estándar, P>F= Significancia del modelo.

Los estadísticos de ajuste obtenidos en *P. michoacana* son mejores que los de *P. pseudostrobus*. A nivel estrato, AD presenta los mejores estadísticos en ambas especies, aunque es posible que estos valores pudieran ser efecto del menor número de observaciones (Cuadro 10). En términos generales los coeficientes de determinación ajustados y errores estándar fueron aceptables; se observa que AD de *P. michoacana* presentan un coeficiente de determinación aceptable (0.95), mientras que *P. pseudostrobus* presentó 0.82; en el estrato ADCS se obtuvo un R² aj menos satisfactorio, el cual es explicado por la gran variación en el crecimiento de este estrato.

Los estudios para estimar la acumulación de biomasa aérea en especies de otros ecosistemas (matorral) muestran que los mejores ajustes se obtienen con el modelo Logístico explicando hasta 0.91% en *Celtis pallida* Torr. y *Diospyros texana* Eastw. (Nájera, 1999).

En el cuadro 11 se pueden observar los modelos y sus parámetros para estimar el crecimiento e incremento en biomasa fustal de ambas especies.

Cuadro 11. Parámetros del modelo de Shumacher para estimar el crecimiento e incremento en biomasa fustal de *P. michoacana* y *P. pseudostrobus*.

Especie	Estrato	Modelo
<i>P. michoacana</i>	AD	$Y = e^{(5.5303 + (-17.7098 / E))}$
	ADCS	$Y = e^{(5.3580 + (-18.0385 / E))}$
<i>P. pseudostrobus</i>	AD	$Y = e^{(6.0266 + (-19.7879 / E))}$
	ADCS	$Y = e^{(5.7366 + (-20.5653 / E))}$

AD= Árboles dominantes, ADCS= Árboles dominantes, codominantes y suprimidos, e= Base de los logaritmos neperianos, E= Edad (años).

4.6. Estimación del incremento corriente anual e incremento medio anual en biomasa fustal de *P. michoacana* y *P. pseudostrobus*

En la Figura 11 se puede apreciar que en *P. michoacana* los rangos de biomasa fustal a la edad de 13 años (edad actual de la plantación) y a la densidad actual, van de 53 a 64 kg en el estrato ADCS y AD respectivamente, observándose una diferencia 11 kg de ambos estratos. El modelo estima a la edad de 13 años un incremento en biomasa de 72 kg en AD en *P. michoacana*

mientras que en el estrado ADCS alcanza una biomasa de 45.63 kg. El incremento del estrato AD se debe a que estos individuos se encontraban libres de competencia (espacio y luz), por lo que se ve gran acumulación de biomasa fustal. En la Figura 11 la curva punteada muestra la tendencia-pronóstico de la biomasa fustal con el modelo de Shumacher para cada estrato.

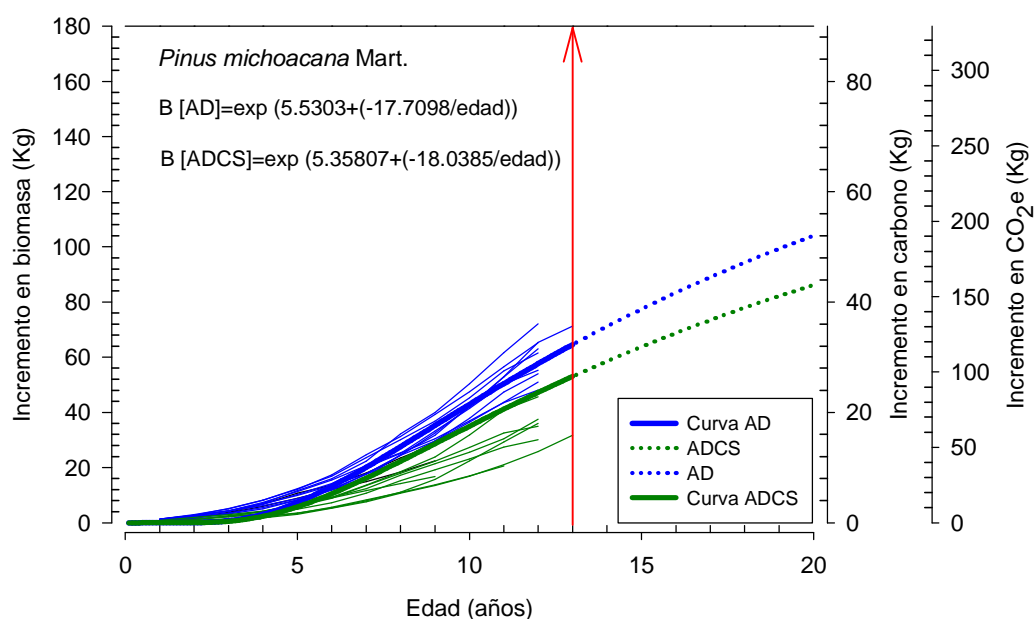


Figura 11. Curvas de crecimiento en biomasa fustal por estrato para *P. michoacana*.

Mientras que en la Figura 12 el rango de biomasa fustal observada en *P. pseudostrobus* el estrato ADCS a la edad de 13 años oscila entre 28 y 57 kg, el cual representa 14 y 28 kg de carbono respectivamente, mientras que para el estrato AD el valor mínimo fue de 53 y el máximo de 128 kg de biomasa fustal.

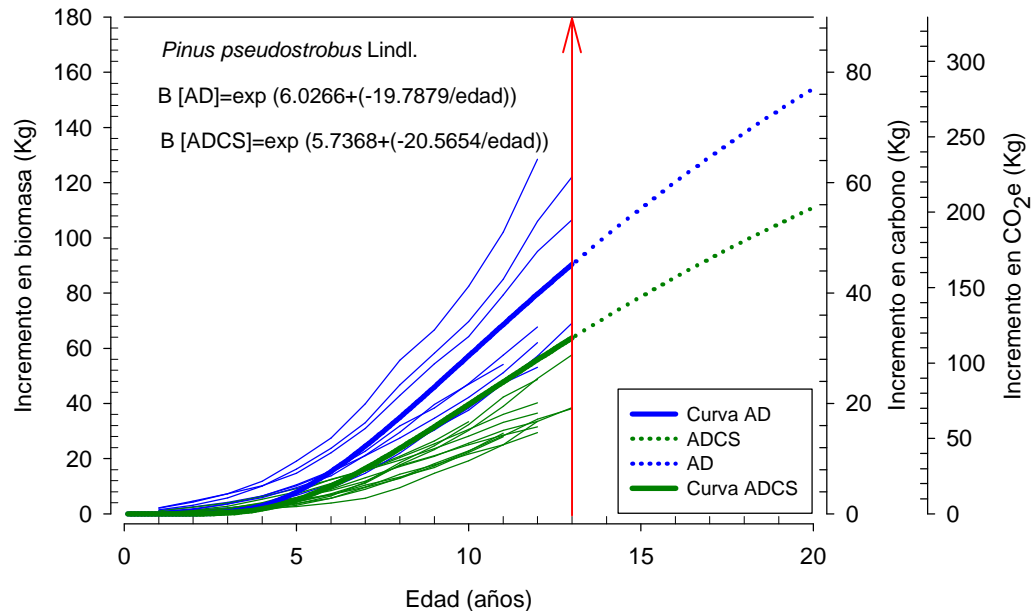


Figura 12. Curvas de crecimiento en biomasa fustal por estrato para *P. pseudostrobus*.

El incremento corriente anual (ICA) en biomasa fustal de los árboles dominantes (AD) de *P. michoacana* alcanza el máximo valor a la edad de 9 años siendo este de 7.92 kg. La máxima productividad de biomasa fustal (IMA) según la proyección hecha por el modelo, parece ser alcanzada entre los 18 y 20 años con 5.22 kg y en ese mismo rango de edad el estrato ADCS presenta su mayor productividad de biomasa fustal (4.33 kg), presentándose aquí el punto máximo de incremento (IMA) en biomasa fustal en este periodo de tiempo.

La diferencia de ICA's (biomasa de fuste) entre ambos estratos a la edad donde se tiene el valor máximo, es de 2.78 kg, representado 1.39 Kg C (Figura 13). Así también en misma Figura muestra las líneas punteadas indican la predicción de la biomasa fustal, para ver el comportamiento futuro en captura de carbono.

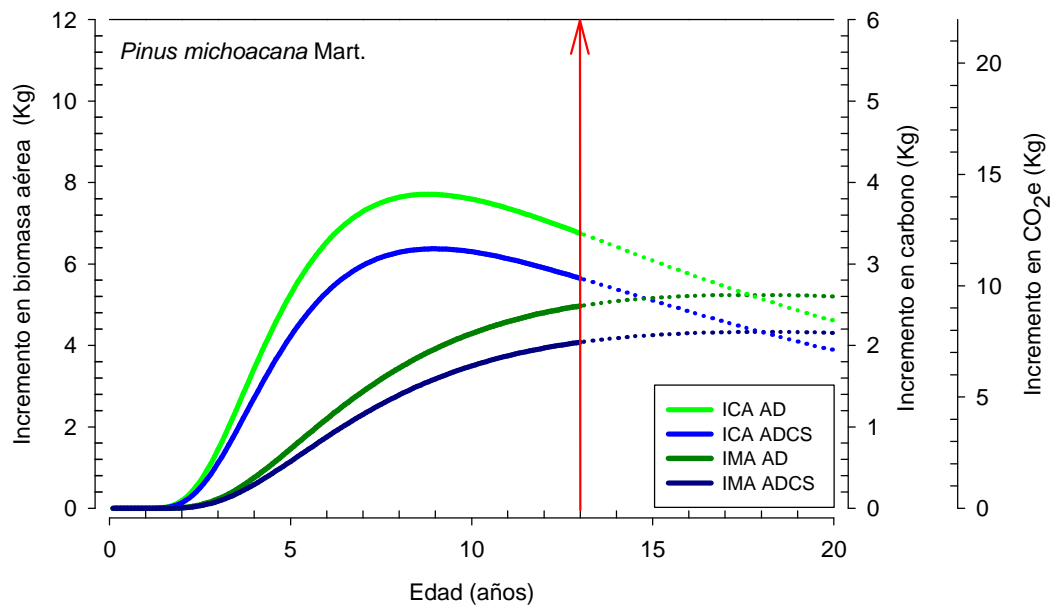


Figura 13. Curvas de ICA e IMA por estrato en biomasa fustal de *P. michoacana*.

Este procedimiento para la estimación de la biomasa es importante debido a que conocido el factor de conversión biomasa-carbono (0.50) y haciendo el producto por la forma funcional del modelo se obtiene el incremento de carbono a través del tiempo.

El ICA máximo en biomasa fustal del estrato AD en *P. pseudostrobus* se dio a la edad de 9 años, dicho incremento es de 11.32 kg aproximadamente (Figura 14).

La máxima productividad (IMA) de biomasa fustal en este mismo estrato (AD), según la proyección del modelo es alcanzada después de los 20 años con aproximadamente 7.7 kg; mientras que el ICA en ADCS se obtuvo a la edad de 9 años con una biomasa de 8.16 kg, mientras que en el IMA del estrato mencionado es de 5.54 kg a la edad de 20 años, existiendo una diferencia de 2.16 kg entre ambos estratos de esta especie.

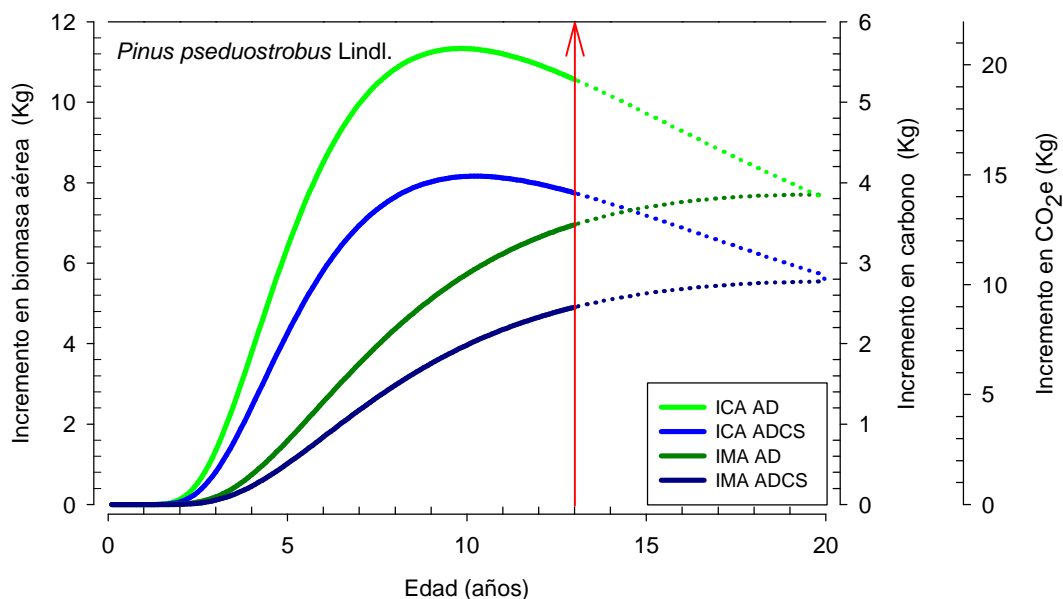


Figura 14. Curvas de ICA e IMA por estrato en biomasa aérea en *P. pseudostrabus*.

Los resultados muestran que el incremento en biomasa fustal, parece ser afectado especialmente por la competencia, de aquí la importancia de realizar adecuadamente las prácticas de manejo (podas, preaclareos y aclareos) para maximizar la fijación de biomasa y por ende la captura de carbono.

Los incrementos (IMA) encontrados en este estudio, difieren a los reportados por Nívar *et al.* (2001) *Pinus duranguensis* reportando un IMA de 1.35 kg año⁻¹ y en *Pinus cooperi* de 1.21 kg año⁻¹ mientras que en este estudio se dé termino un IMA de 4.73 kg y 7.22 kg año⁻¹ en *Pinus michoacana* y *Pinus pseudostrabus* respectivamente, de igual forma los resultados difieren a los reportados por Pacheco *et al.* (2007) donde reportan un IMA de 1.33 kg año⁻¹ (6 años); Aguilar (2009) y Mora (2010) en *P. greggii* reportan 1.42 y 1.10 kg año⁻¹ a la edad de 16 años, respectivamente.

Mora (2010) presenta en su estudio que el ICA en biomasa de fuste de *Pinus greggii* Emgelm., a la edad de 16 años (edad de la plantación) alcanza un valor máximo a los 14 años ($1.429 \text{ kg año}^{-1}$), representando una tasa de captura de carbono de $0.7145 \text{ kg año}^{-1}$.

4.7. Biomasa aérea total, carbono y carbono equivalente de *P. michoacana* y *P. pseudostrobus*

El modelo seleccionado (biomasa total) estima una biomasa aérea de $31,622 \text{ kg ha}^{-1}$ para *P. pseudostrobus* y solo $7,738 \text{ kg ha}^{-1}$ para *P. michoacana* (Cuadro 12). Los resultados muestran diferencias importantes cuando se utilizan los modelos en los componentes HR, F y total (T), arrojando una diferencia de $2,524 \text{ kg ha}^{-1}$. Los análisis de biomasa observada y estimada por los modelos seleccionados, demuestran que es más eficiente utilizar el modelo para estimar la biomasa total que estimarla por componente.

El promedio del almacenamiento de carbono por árbol en *Pinus pseudostrobus* es de 114.5 y de 28.31 kg en *P. michoacana*. Los modelos estiman un contenido de carbono de $15.81 \text{ t C ha}^{-1}$ y 3.86 t C ha^{-1} respectivamente, con un total de $19.67 \text{ t C ha}^{-1}$. Estos valores se consideran altos en comparación a los reportados por Pacheco *et al.* (2007), Aguilar (2009) y Mora (2010) los cuales son del orden de $17.90 \text{ t C ha}^{-1}$, $15.03 \text{ t C ha}^{-1}$ y de $12.12 \text{ t C ha}^{-1}$ respectivamente en *Pinus greggii*. Estas diferencias pueden ser debido a la especie, morfología, crecimiento, condiciones físicas y biológicas del área de estudio entre otras.

Considérese que en nuestro estudio la edad promedio y densidad de la plantación es de 11 años y $564 \text{ árboles ha}^{-1}$, mientras que las de los autores mencionados anteriormente son de 6 años y $4425 \text{ árboles ha}^{-1}$; 16 años y $920 \text{ árboles ha}^{-1}$; 16 años y $1246 \text{ árboles ha}^{-1}$.

Con una densidad de 564 árboles por hectárea de ambas especies el potencial de almacenamiento de carbono equivalente (CO₂e) obtenido para *P. michoacana* y *P. pseudostrobus*, es promedio por árbol de 103.65 y 417.81 kg respectivamente, representando 72.02 t CO₂e ha⁻¹ (Cuadro 12); siendo altos también estos valores con respecto a los estimados por Pacheco *et al.* (2007) quienes estiman un almacén de 65.8 t CO₂e ha⁻¹; Aguilar (2009) con 55.16 t CO₂e ha⁻¹ y Mora (2010) 44.48 t CO₂e ha⁻¹.

Cuadro 12. Biomasa, carbono y carbono equivalente por componente para *P. michoacana* y *P. pseudostrobus* en el predio El Clarín, Jerécuaro, Guanajuato.

Especie	Características Dasométricas			Biomasa aérea estimada (Kg ha ⁻¹)			
	Árboles.ha ⁻¹	D	H	HR	F	HR+F	T
<i>P. michoacana</i>				3,060	4,845	7,905	7,738
				Carbono aéreo estimado (t C ha⁻¹)			
	207	18.3	8.1	1.530	2.422	3.952	3.869
				Carbono equivalente (t CO₂e ha⁻¹)			
				5.599	8.864	14.464	14.160
<i>P. pseudostrobus</i>				Biomasa aérea estimada (Kg ha⁻¹)			
				16,386	17,592	33,979	31,622
				Carbono aéreo estimado (t C ha⁻¹)			
	357	18.7	9.8	8.193	8.796	16.989	15.811
				Carbono equivalente (t CO₂e ha⁻¹)			
			29.986	32.193	62.179	57.864	
Total t CO₂e ha⁻¹				35.585	41.057	76.643	72.024

D = Diámetro promedio, H = Altura promedio, HR= Biomasa en hojas-ramas, F= Biomasa en fuste, HR+F= Biomasa en hojas-ramas + biomasa fuste, T= Biomasa total.

5. CONCLUSIONES

El mejor modelo obtenido para estimar volumen fustal con corteza en ambas especies fue el de la variable combinada: *Pinus michoacana* $\text{Vol} = 0.00504 + 2.539 \cdot D \cdot \text{DB} \cdot H$ y *Pinus pseudostrobus* $\text{Vol} = -0.00383 + 2.0435 \cdot \text{DN} \cdot \text{DB} \cdot H + 1.79098 \cdot \text{DB}^3$, indicando que el volumen fustal es bien estimado usando las variables, D, H y DB, siendo mayor el volumen en *P. pseudostrobus*.

De igual forma la biomasa de los componentes hojas-ramas y fuste es estimada eficientemente con el diámetro a la base y la altura total, la cual representa en hojas-ramas y fuste el 39.84 y 41.65; 60.16 y 58.34% en *P. michoacana* y *P. pseudostrobus*, respectivamente, indicando que en el fuste se almacena el porcentaje más alto de biomasa. Los modelos de biomasa en *P. michoacana* que esta especie alcanza un crecimiento en biomasa de 45 kg en el estrato ADCS, mientras que en *P. pseudostrobus* esta es de 57.56 kg la diferencia es de 12.56 kg (6.28 kg de carbono) entre ambas especies, representando en carbono equivalente 22.98 kg.

El ICA de biomasa fustal en el estrato ADCS indica que ambas especies el valor máximo de biomasa de este componente es alcanzado a la edad de 9 años, siendo de esta de 6.37 kg año⁻¹ para *P. michoacana* (3.18 kg de carbono) y 8.16 kg año⁻¹ (4.08 kg de carbono) en *P. pseudostrobus*, por lo que representa una diferencia de 3.16 kg año⁻¹ de biomasa fustal equivalentes a 1.58 kg año⁻¹ de carbono. Mientras que en el estrato AD alcanza un ICA en biomasa de 7.71 kg año⁻¹ y de 11.32 kg año⁻¹ en ambas especies respectivamente.

En términos generales los modelos seleccionados mostraron mejores ajustes para el componente fuste. La biomasa de hojas es el componente con la mayor variabilidad, estos patrones han sido demostrados en la mayoría de las investigaciones de biomasa y captura de carbono.

6. RECOMENDACIONES

El uso de los modelos de biomasa es importante para estimar la biomasa de las especies forestales ya que nos pueden aportar el conocimiento de cuanto verdaderamente contienen de biomasa y captura de carbono en cada uno de sus componentes.

Es recomendable utilizar el modelo de Schumacher para estimar el total de biomasa en cada árbol ya que estimó también de manera correcta los componentes (Hojas-ramas y fuste). De esta manera, se recomienda el uso de los modelos seleccionados en árboles de *Pinus michoacana* y *P. pseudostrobus* dentro de las categorías de 15 a 25; 15 y 30 cm, respectivamente.

Los estudios sobre evaluación del crecimiento e incremento en biomasa y carbono en plantaciones forestales son escasos, por lo que se recomienda que estos modelos sean probados en las mismas y otras especies, con el fin de conocer la productividad en especies con alto valor ecológico, económico y de rápido crecimiento. Del mismo modo también se recomienda que se utilice la metodología de análisis troncales para obtener el comportamiento del crecimiento e incremento en biomasa fustal.

Pinus michoacana y *Pinus pseudostrobus*, mostraron tener una gran importancia, ya que en comparación con otros estudios, tienen mayores crecimientos e incrementos en biomasa aérea, por lo tanto fijan cantidades mayores de carbono; estos resultados nos sirven para incorporarlos a los programas de servicios ambientales para resaltar el valor y la importancia técnica, ecológica y económica que representan las plantaciones forestales.

7. LITERATURA CITADA

- Alba L J, Mendizábal H L C, Méndez M C (2007)** Potencialidad diferencial de captura de carbono de una plantación de *Pinus greggii*. En Naolinco, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 9: 57-60.
- Aguilar C J (2009)** Captura de carbono en una plantación de *Pinus greggii* Engelm. Arteaga, Coahuila México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Saltillo, Coahuila. 73 p.
- Álvarez E (1993)** Composición Florística, Diversidad, Estructura y Biomasa de un Bosque Inundable en la Amazonia Colombiana. Trabajo de grado. Magister en Biología. Área Ecología. Universidad de Antioquia, Medellín.
- Andrasko K (1990)** El recalentamiento del globo terráqueo y los bosques: estado actual de los conocimientos. *Unasyva* 163. Vol. 41. 3-11.
- Araujo T M N, Higuchi J, A de Carvalho Jr (1999)** Comparison of formula for biomass content determination in a tropical.
- Bidwell R G (1993)** Fisiología vegetal. A. G. T. Editor, Mexico. 784 p.
- Bobek B, S Borowski, R Dzieciolowski (1975)** Browse supply in various forest ecosystems. *Pol. Ecol. Stud.* 1:17-32.
- Bruce J, P Lee Hoesung, Haites Erik F (1996)** Climate change. 1995. Economic and social dimensions of climate change. Contribution of Working Group III to the Second Assessment. *Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: Cambridge University Press.
- Brown S y Lugo A (1992)** Aboveground biomass estimates for tropical moist forest of the Brazilian Amazon. *Interciencia* 17: 8-18

- Brown S (1997a)** Los bosques y el cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. Congreso Forestal Mundial. Antalya Turquía. Vol. 1 Tema 4. 107-121.
- Brown S (1997b)** Estimating biomass and biomass change of tropical forests. A primer. FAO Roma. Forestry Paper 135 p.
- Brown S, Gillespie A, Lugo A (1989)** Biomass estimation methods for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35: 881-902.
- Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC 2006)** Respuesta de México ante el cambio climático global. 19 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR 2008)** Consulta el 21 de Septiembre 2008.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO 1998)** "Climas" (clasificación de Koppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO 1998)** "Precipitación total anual" (clasificación de Koppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO 1998)** "Temperatura promedio anual". (Clasificación de Koppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México
- Díaz F R, Acosta M M, Carrillo A F, Buendía R E, Flores A E, Etchevers B J D (2007)** Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques* 13: 25-34.

- Dixon R K, Brown S, Houghton R A, Solomon A M, Trexler M C, Wisniewski J (1994)** Carbón pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 185-190.
- FAO (2000)** Situación de la actividad forestal en México. Comisión Forestal para América del Norte. St. Andrews, New Brunswick, Canadá.
- FAO (2001)** Situación de los bosques del mundo. (En línea). Disponible en <http://www.fao.org/docrep/003/y0900s/y0900s00.htm>
- Ferrere P, Lupi A M, Boca R, Nakama V, Alfieri A (2008)** Biomasa en plantaciones de *Eucalyptus viminalis* Labill. de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Ciência Florestal*. Vol. 18. No. 3. 293-307.
- Figueroa N C, Etchevers B J D, Velásquez M A, Acosta M M (2005)** Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra* 23(1):57-64.
- Fonseca G W, Alice G F, Rey B J M (2009)** Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque* 30(1): 36-47.
- Frangi J L, Lugo E (1985)** Ecosystem Dynamics of a Subtropical Floodplain Forest. *Ecological Monographs*. 55: 351-369.
- Gaillard B C, Pece M, Juárez G M, Vélez S, Gómez A, Zárate M (2002)** Determinación de funciones para la estimación de biomasa aérea individual en jarilla (*Larrea divaricata*) de la provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Foresta Veracruzana*, Vol. 4, No. 002.
- Gasparri I, Manghi E (2004)** Estimación de volumen, biomasa y contenido de carbono de las regiones forestales Argentinas. Informe final. República Argentina. Ministerio de Salud y Ambiente.

- Gayoso A J (2001)** Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. Trabajo presentado en el Taller Secuestro de Carbono. Mérida. 33-38 p.
- Gayoso A J, Schlegel B (2001)** Proyectos forestales para mitigación de gases de efecto invernadero. Proyecto FONDEF. Universidad Austral. Valdivia de Chile: 41-49.
- Gayoso A J, Guerra C J, Alarcón D (2002)** Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 157 p.
- Gayoso A J y Guerra C J (2005)** Contenido de carbono en la biomasa aérea. Universidad Austral de Chile, Casilla 567. Bosque 26(2): 33-38 Valdivia, Chile,
- Gutiérrez V V H, Lopera A G J (2001)** Metodología para la cuantificación de existencias y flujo de carbono en plantaciones forestales. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales Octubre del 2001, Valdivia – Chile. 18
- Harmon M E, Ferrell W K, Heiman M (2000)** Managing forests after Kyoto. Science 289:2058-2059 p.
- Husch B (2001)** Estimación del contenido de carbono de los bosques. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 9 p.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI 1984)**
Carta Edafológica. F14 C-85 Gto.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI 1984)**
Carta Topográfica. F14 C-85 Gto.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 1995)** Climate change 1995. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press. Cambridge.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2003)** Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry (GPG LULUCF) (en línea). Institute for Global Environmental Strategies (IGES). National Greenhouse Gas Inventories Programmes.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2007)** Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.
- Klepac D (1976)** Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México. 365 p.
- Klinge H, Herrera R (1983)** Phytomass structure of natural plant communities on spodosols in Southern Venezuela: The tall Amazon Caatinga Forest. *Vegetation* 53: 65-64.
- Kyrklund B (1990)** “Cómo pueden contribuir los bosques y las industrias forestales a reducir el exceso de anhídrido carbónico en la atmósfera”, *Unasylva*, 163 (41): 12-14.
- Loguercio G, Defossé G (2001)** Ecuaciones de biomasa aérea, factores de expansión y de reducción de Lenga *Nothofagus pumilio* (Poepp. Et Endel). Krasser, en el So del Chubut, Argentina 11 p.
- Luna L A (2005)** Los bosques tropicales ayudan a moderar el clima global. *Revista Forestal Venezolana* 49(1). 97-100.

- 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.
- Martínez R G E, Jasso M J, Velásquez M A (2003)** Las masas forestales como sumideros de CO₂ ante un cambio climático global. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente.* 9: 57-67.
- Masera O R, Ordóñez J A (1996)** Bosques y cambio climático global: Referencias seleccionadas. Reporte al Proyecto Estudio de país sobre cambio climático global. Instituto Nacional de Ecología. U.S Environmental Protection Agency.
- Méndez G J, Santos M A, Nájera L J A, Gonzales O V (2006)** Modelos para estimar volumen y biomasa de árboles individuales de *Prosopis glandulosa*, var. Torreyana en el ejido Jesús Gonzales Ortega No. 1, Opio. De Mexicali, B. C. Agrofaz Volumen 6 No. 2. 27 p.
- Mogas J y Riera P (2004)** El valor de la fijación de carbono en los programas de forestación II Simposio Iberoamericano de Gestión y Economía Forestal. Barcelona; 19 p.
- Monserud R, Onuchin A, Tchebakova N (1996)** Needle, crown, stem, and root phytomass of *Pinus silvestris* stands in Russia. *Forest Ecology and Management* 82: 59-67.
- Montoya G, Soto L, De Jong B, Nelson K, Farias P, Yakac T P, Taylor J, Tipper R (1995)** Desarrollo Forestal Sustentable: Captura de Carbono en las Zona Tzeltal y Tojolabal del Estado de Chiapas. Instituto Nacional de Ecología, Cuadernos de Trabajo 4. México, D.F.
- Mora C E (2010)** Carbono almacenado en la fitomasa aérea en una plantación de *Pinus greggii* Engelm. Arteaga, Coahuila México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Saltillo, Coahuila. 76 p.

- Masera O (2000)** Mitigación de las emisiones de carbón mientras avanza el desarrollo de las prioridades nacionales: El caso de México. *Cambio climático* 47: 259-282.
- Nájera L 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 noreste de México. Tesis de maestría. Facultad de ciencias forestales, UANL. N.L. México. 93 p.
- Návar J, González N, Graciano J (2001)** Ecuaciones para estimar componentes de biomasa en plantaciones forestales de Durango, México. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de carbono en Ecosistemas Forestales. Octubre, 2001. Valdivia- Chile. 12 p.
- Ordóñez J A (1998)** Estimación de la captura de carbono en Estudios de Caso para un Bosque Templado: San Juan Nuevo, Michoacán. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, Ciudad de México. 72 p.
- Ordóñez J A, De Jong H J, Masera O (2001)** Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques* 7: 27-47.
- Pacheco E F C, Aldrete A, Gómez G A, Fierro G A M, Cetina A V M, Vaquera H H (2007)** Almacenamiento de Carbono en la Biomasa Aérea de una Plantación Joven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30: 251-254.
- Prodan M, Peters R, Cox F, Real R (1997)** Mensura forestal. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CATIE. San José, Costa Rica. 561 p.
- Raev I, Asan ü, O Grozev (1997)** Acumulación de CO₂ en la parte aérea de la biomasa de los bosques de Turquía y Bulgaria, en las últimas décadas. XI Congreso Forestal Mundial. Antalya Turquía. 1: 4.

- Rodríguez L R, Jiménez P J, Aguirre C O A, Treviño G E J (2006)** Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. *Ciencia UANL*. 12(002):179-188.
- Russo O R (2002)** Los Bosques como sumideros y depósitos de carbono. "Valoración Económica del Capital Natural: Aplicaciones Prácticas" Costa Rica. 10 p.
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Rural (SDA 1999)** Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Microcuencas del Estado de Guanajuato. (División hidrológica).
- Segura M, Andrade H J (2008)** ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? *Agroforestería en las Américas*. No. 46.
- Síntesis Geográfica del Estado de Guanajuato e INEGI (1994).**
- Schlegel B, Gayoso J, Guerra J (2000)** Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Valdivia. 24 p.
- Schelegel B, J Gayoso, J Guerra (2001)** Manual de procedimientos de muestreo de biomasa forestal. Medición de la capacidad de captura de carbono en los bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Proyecto FONDEF. Universidad Austral de Chile. 26 p.
- Schlegel B (2001)** Estimación de biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempre verde. Universidad Austral de Chile. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. Valdivia, Chile. 13 p.
- Schlesinger W H (1997)** *Biogeochemistry: an Analysis of Global Change*. Academic Press, San Diego, CA. USA. 588 p.

Valerio J (1997) Informe de consultoría crecimiento y rendimiento. Proyecto BOLFOR. Bolivia. 34 p.

Zambrano A, Franquis F, Infante A (2004) Emisión y Captura de Carbono en los Suelos en Ecosistemas Forestales. 35: 19 (1): 11–20.

Zobel B y Talabert J (1988) Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Ed. Limusa. México. 545 p.