



Artículo / Article

Estimación de biomasa y carbono almacenado en bosques comunitarios de la región Frailesca de Chiapas, México

Estimation of the biomass and stored carbon in community forest of La Frailesca region of Chiapas, Mexico

Luis Alfredo Rodríguez-Larramendi¹, Francisco Guevara-Hernández², Luis Reyes-Muro³,
Jesús Ovando-Cruz⁴, José Nahed-Toral⁵, Miguel Prado-López¹, Rady Alejandra Campos Saldaña¹

Resumen

Con el objetivo de estimar la biomasa y el carbono acumulado en bosques de pino (*Pinus maximinoii*), encino (*Quercus rugosa*), roble (*Quercus robur*) y ocote (*Pinus patula*), en 11 ejidos de la región Frailesca de Chiapa, se seleccionaron 22 parcelas de 500 m² (dos por cada ejido); en las que se determinaron la altura (H), la edad (años) y el diámetro normalizado (DN) de 358 árboles. Se ajustaron ecuaciones de regresión entre la biomasa acumulada (BM_t) y la edad de cada árbol. Los ajustes resultaron estadísticamente significativos para el modelo exponencial $y=b \cdot e^{cx}$. Se demuestra que, a partir de la edad del árbol, es posible estimar la biomasa total acumulada y que la mayor acumulación, tanto de biomasa como de carbono, se produjo en los bosques de pino y la menor en los de roble, debido a su estado fisiológico determinado por la menor edad del arbolado. Los bosques de pino registraron un almacén de 158 Mg ha⁻¹, seguido del encino con 117 Mg ha⁻¹. La especie que menos carbono almacenó fue el roble con 5.9 Mg ha⁻¹. De los sitios estudiados, los bosques del ejido "24 de Febrero" presentaron mayor captura potencial de carbono.

Palabras clave: Acumulación de biomasa, biomasa aérea, biomasa radicular, bosques comunitarios, captura de carbono, relaciones alométricas.

Abstract

Twenty-two 500 m² plots (two for each *ejido*) were selected in 11 *ejidos* of La Frailesca region of Chiapas in order to estimate the biomass and accumulated carbon in pine (*Pinus maximinoii*), oak (*Quercus robur*), holm oak (*Quercus rugosa*) and Mexican weeping pine (*Pinus patula*). The height (H), age (years) and normalized diameter (ND) of 358 trees were determined in these plots. Regression equations between the accumulated biomass (BM_t) and the age of each tree were adjusted. The adjustments were statistically significant for the exponential model $y=b \cdot e^{cx}$. This study proves that the total accumulated biomass can be estimated based on the age of the tree, and that the largest accumulation of both biomass and carbon occurred in the pine forests, and the lowest, in the oak forests; this is due to their physiological status, as the latter trees are younger. Pine trees had a storage of 158 Mg ha⁻¹, followed by holm oaks, with 117 Mg ha⁻¹; the species with the lowest value was oak, with 5.9 Mg ha⁻¹. Of all the studied sites, the forests of the "24 de Febrero" *ejido* had the highest potential for carbon capture.

Key words: Biomass accumulation, aboveground biomass, root biomass, community forests, carbon capture, allometric relationships.

Fecha de recepción/ Reception date: 19 de septiembre de 2016; Fecha de aceptación/Acceptance date: 30 de septiembre de 2016.

¹ Facultad de Ingeniería. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Sede Villacorzo. México.

² Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad Autónoma de Chiapas. Correo-e: francisco.guevara@unach.mx

³ Campo Experimental Pabellón. CIR-Norte Centro. INIFAP. México.

⁴ Red de Estudios para el Desarrollo Rural, A. C. México.

⁵ Departamento de Agroecología. El Colegio de la Frontera Sur. México.

Introducción

En México, los bosques de coníferas y latifolias ocupan 15.4 % del territorio nacional; los manejados cubren 7.3 millones de hectáreas, en tanto que los protegidos 7.1 millones de hectáreas (SARH-SFF, 1994). Por otro lado, cerca de 80 % de las áreas forestales son de propiedad comunal y 95 % de los aprovechamientos forestales provienen principalmente, de bosques templados nativos (Masera *et al.*, 2001).

En el estado de Chiapas, los bosques latifolios, y de coníferas, abarcan 1 117 248 ha y las selvas 2 175 948 ha (SARH-SFF, 1994), por lo que a la entidad le corresponde el segundo lugar nacional en cuanto a superficie forestal y extracción maderable de pino, ciprés, liquidámbar, encino, macules, amate, cedro y caoba. Adicionalmente, su vasta cubierta boscosa, le confiere un gran potencial para la captura y almacenamiento de CO₂.

Los ecosistemas forestales pueden capturar cantidades significativas de Gases de Efecto Invernadero (GEI), en particular, CO₂. Por tal motivo, en las últimas décadas existe un interés considerable por incrementar el contenido de carbono en la vegetación, mediante la conservación forestal, reforestación, creación de granjas forestales y otros métodos de manejo del suelo. Gran número de estudios han demostrado la capacidad de las especies forestales para almacenar carbono en su biomasa (Pimienta *et al.*, 2007; Alberto y Elvir, 2005; Roncal *et al.*, 2008; Nájera y Hernández, 2009).

Cada año, esas áreas forestales almacenan cantidades importantes de biomasa que contribuyen a reducir los niveles de carbono en la atmósfera (Melillo *et al.*, 1993; Dixon *et al.*, 1994), lo cual cobra mayor significado, si se considera que el contenido de CO₂ en la atmósfera se ha incrementado desde la revolución industrial, y las estimaciones indican que para el siglo XXI esta tendencia de aumento será mayor (Petit *et al.*, 1999; Crowley, 2000; UNEP, 2001). Todo ello, apunta a que las actividades antrópicas han provocado disturbios que coadyuvan al deterioro de los ecosistemas (Dhillon y Von Wuehlich, 2013).

Diversos estudios realizados en México han demostrado el potencial de los bosques para capturar el carbono atmosférico. Masera *et al.* (2001) generaron un modelo para simular la captura de carbono en el período 2000-2030, en el que se dividió el uso del suelo en bosques, selvas, zonas áridas y usos no forestales. Estos autores usaron dos escenarios: el primero, denominado de "referencia" y el segundo, de "políticas". De adoptarse las opciones propuestas derivadas de sus resultados, México tendría la posibilidad de capturar aproximadamente 46 millones de toneladas de carbono durante el periodo 2000-2030. Una parte de esa mitigación se lograría a través de: a) evitar la deforestación, b) manejar sustentablemente los bosques naturales, y c) restaurar las áreas forestales degradadas.

Introduction

In Mexico, conifer and broadleaf forests occupy 15.4 % of the national territory; managed forests cover 7.3 million hectares, while protected forests cover 7.1 million hectares (SARH-SFF, 1994). On the other hand, nearly 80 % of the forest areas are communal property, and 95 % of the forest exploitations originate mainly from native temperate forests (Masera *et al.*, 2001).

In the state of Chiapas, these forests cover 1 117 248 ha, and rain forests occupy 2 175 948 ha (SARH-SFF, 1994); therefore, the entity has the second place nationally for forest surface area and timber extraction from pine, cypress, sweetgum, holm oak, rosy trumpet, amate, cedar and mahogany trees. In addition, its vast forest cover confers it a great potential for CO₂ sequestration.

Forest ecosystems can capture significant amounts of Greenhouse Gases (GHG), particularly CO₂. For this reason, in recent decades there is considerable interest in increasing the carbon content of the vegetation through the preservation of forests, reforestation, the creation of forest farms and other land management methods. A great number of studies have demonstrated the ability of forest species to store carbon in their biomass (Pimienta *et al.*, 2007; Alberto and Elvir, 2005; Roncal *et al.*, 2008; Nájera and Hernández, 2009).

Each year, these forest areas store significant amounts of biomass that contribute to reduce carbon levels in the atmosphere (Melillo *et al.*, 1993; Dixon *et al.*, 1994), which acquire greater significance if we consider that the CO₂ content in the atmosphere has augmented since the industrial revolution, and estimations indicate that in the XXIst century this tendency will increase further (Petit *et al.*, 1999; Crowley, 2000; UNEP, 2001). All this indicates that anthropic activities have caused disturbances that contribute to the deterioration of the ecosystems (Dhillon and Von Wuehlich, 2013).

Various studies performed in Mexico have proven the potential of forests to capture atmospheric carbon. Masera *et al.* (2001) created a model simulating carbon capture during the 2000-2030 period, which divided land use into forests, rain forests, arid zones and non-forest uses. These authors used two scenarios: the first, referred to as "baseline", and the second, as "policies". If the proposed options derived from their results were to be adopted, Mexico would be able to capture approximately 46 million tons of carbon during the 2000-2030 period. Part of this mitigation would be achieved as follows: a) by preventing deforestation, b) through sustainable management of the natural forests, and c) by restoring the degraded forest areas.



El CO₂ es uno de los componentes más importantes de los GEI y es producido por las actividades humanas, cuando se utilizan combustibles fósiles en la generación de energía y satisfacción de otras demandas de la sociedad. Los procesos de deforestación, los cambios de uso del suelo y las concentraciones de metano que resultan de las actividades agropecuarias, también propician el cambio climático (UNEP, 2001).

El aumento de la concentración de GEI en la atmósfera ha provocado el fenómeno de "efecto invernadero", origen de cambios en las escalas climáticas de la Tierra (IPCC, 2007). Como consecuencia del incremento de CO₂ en la atmósfera ocurren eventos climáticos extremos, tales como inundaciones por huracanes, con lamentables pérdidas humanas y económicas (IPCC, 2005).

De acuerdo con Alberto y Elvir (2005), el secuestro de carbono ha sido objeto de estudio de investigaciones forestales en diferentes países. Montero y Kaninnen (2002) señalan que en el sur de Costa Rica, la acumulación de biomasa aérea y el secuestro de carbono en plantaciones manejadas de *Terminalia amazonia* (J.F. Gmel.) Exell a los 10 años fue de 97.03 Mg ha⁻¹ y 45.30 Mg ha⁻¹, respectivamente. En la zona central de Honduras, la acumulación de biomasa fue de 80.53 Mg ha⁻¹ en bosques naturales de *Pinus oocarpa* (Ramos, 2000). La acumulación de carbono en biomasa aérea de bosques de pino en el ejido La Majada en Michoacán, México, tuvo un valor de 28.85 Mg ha⁻¹ (Zamora, 2003), mientras que en bosques de coníferas de Tancítaro, en Michoacán, la acumulación y captura de carbono anual en biomasa aérea fue de 19.00 Mg ha⁻¹ y 1.65 Mg ha⁻¹, respectivamente (Fragoso, 2003). Con base en la contribución potencial de los bosques de Chiapas para mitigar los efectos del cambio climático, el objetivo de la presente investigación fue estimar producción de biomasa y la captura de carbono en los bosques de pino, encino, ocote y roble en áreas forestales de la región Frailesca, así como conocer la relación existente entre la producción de biomasa y la edad de los árboles.

Materiales y Métodos

Localización

La investigación se llevó en el municipio Villacorzo, al sureste del estado de Chiapas, en áreas boscosas de 11 ejidos de la región Frailesca (Cuadro 1, Figura 1), ubicado entre los 16° 11' 05" N y 93° 16' 03" O, a una altitud promedio de 584 msnm (CEIEG, 2011).

CO₂ is one of the main components of GHGs and is produced by human activities when fossil fuels are utilized to generate energy and to meet other demands of society. Deforestation processes, land-use changes and methane concentrations resulting from agricultural and stockbreeding activities also promote climate change (UNEP, 2001).

The increase in GHG concentrations in the atmosphere has caused the "greenhouse effect" phenomenon, which has resulted in changes in the climatic scales of the Earth (IPCC, 2007). The increase of CO₂ in the atmosphere produces extreme climatic events such as floods caused by hurricanes, which result in regrettable losses of human lives as well as economic losses (IPCC, 2005).

According to Alberto and Elvir (2005), carbon sequestration has been the object of study of forest research in various countries. Montero and Kaninnen (2002) point out that, in southern *Costa Rica*, the accumulation of aboveground biomass and carbon sequestration in managed *Terminalia amazonia* (J. F. Gmel.) Exell plantations after 10 years was of 97.03 Mg ha⁻¹ and 45.30 Mg ha⁻¹, respectively. In central Honduras, the accumulation of aboveground biomass was of 80.53 Mg ha⁻¹ in natural *Pinus oocarpa* forests (Ramos, 2000). Carbon accumulation in the aboveground biomass of the pine forests of the *La Majada ejido* in Michoacán, Mexico, amounted to 28.85 Mg ha⁻¹ (Zamora, 2003), while in the conifer forests of *Tancítaro*, Michoacán, Mexico, the annual accumulation and capture of carbon in the aboveground biomass added up to 19.00 Mg ha⁻¹ and 1.65 Mg ha⁻¹, respectively (Fragoso, 2003). Based on the potential contribution of the forests of *Chiapas* to the mitigation of the effects of climate change, the purpose of the present research was to estimate the production of biomass and the capture of carbon in pine, holm oak, Mexican weeping pine and oak forests in the forest areas of *La Frailesca* region, as well as to determine the relationship between the age of trees and biomass production.

Materials and Methods

Location

The research was carried out in *Villacorzo* municipality, in southeastern *Chiapas*, in forest areas of 11 *ejidos* of *La Frailesca* region (Table 1, Figure 1), located between the coordinates 16° 11' 05" N and 93° 16' 03" W, at a mean altitude of 584 masl (CEIEG, 2011).



Cuadro 1. Distribución de las parcelas por ejidos y especies forestales seleccionadas.

Ejidos	Parcelas de 500 m ²			
	Pino	Encino	Roble	Ocote
24 de Febrero	+	+		
Monterrey			+	
Patria Chica			+	
La Frailesca				+
Juan Sabinés Gutiérrez	+			
Bonanza		+		
La Libertad			+	
Tierra Santa	+			
La Unión	+			
Nuevo Refugio				+
Unión del Carmen			+	

Table 1. Distribution of the plots by ejidos and by selected forest species.

Ejidos	500 m ² plots			
	Pine	Holm oak	Oak	Mexican weeping pine
<i>24 de Febrero</i>	+	+		
<i>Monterrey</i>			+	
<i>Patria Chica</i>			+	
<i>La Frailesca</i>				+
<i>Juan Sabinés Gutiérrez</i>	+			
<i>Bonanza</i>		+		
<i>La Libertad</i>			+	
<i>Tierra Santa</i>	+			
<i>La Unión</i>	+			
<i>Nuevo Refugio</i>				+
<i>Unión del Carmen</i>			+	

En la zona de estudio predomina el clima cálido subhúmedo con lluvias abundantes en verano. La precipitación mínima anual es de 1 200 mm y la máxima 3 000 mm, distribuida entre 100 y 200 días al año. Los suelos son afectados por la erosión o de los limos precipitados por acción eólica y por las avenidas de los ríos; su fertilidad es variable, con uso agrícola condicionado a su profundidad y pedregosidad (CEIEG, 2011).

Las localidades presentan una cobertura vegetal compuesta, principalmente, por vegetación secundaria de bosque de coníferas, mesófilo de montaña y de encino; de selva caducifolia, subcaducifolia y perennifolia.

A subhumid warm climate with abundant summer rains prevails in the study area. The minimum annual precipitation is 1 200 mm, and the maximum is 3 000 mm, distributed among 100 and 200 days a year. The soils are affected by silt erosion precipitated by the action of the wind and by river floods; its fertility is variable, with its agricultural use conditioned by its depth and stoniness (CEIEG, 2011).

The localities have a vegetal cover that consists mainly of conifer forest secondary vegetation, montane cloud and holm oak forests, and deciduous, sub-deciduous and evergreen rainforests.

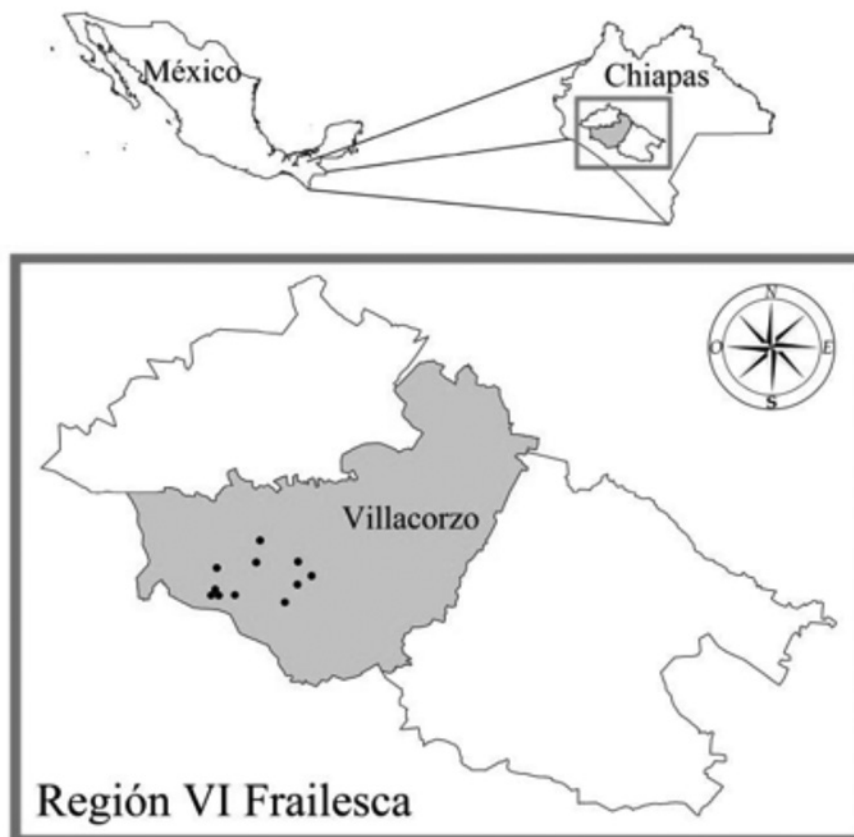


Figura 1. Localización de los ejidos donde se seleccionaron las parcelas para la investigación en la región Frailesca, Chiapas, México. Elaborado por Red AC.
 Figure 1. Location of the *ejidos* where the plots were selected for research purposes in *La Frailesca* region of *Chiapas*, Mexico. Created by Red AC (Network of Studies for Rural Development).

Selección de parcelas y estimación de biomasa acumulada y secuestro de carbono

Los datos dasométricos se registraron en 22 parcelas de muestreo (dos por *ejido*), de 500 m². La información se organizó en una base de datos provenientes de 358 individuos de las especies: *Pinus maximinoii* H. E. Moore (pino), *Quercus rugosa* Neé (encino), *Quercus robur* L. (roble) y *Pinus patula* Schiede ex Schtdl. & Cham. (pino ocote) (Cuadro 1). La edad de los árboles se determinó con una barrena Pressler y con información suministrada por los *ejidatarios*; el diámetro normalizado (DN) con una cinta diamétrica y la altura del tallo principal (H), con un Clinómetro (Gómez-Castro *et al.*, 2010).

El cálculo del volumen del tallo (V) se realizó con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot H \cdot DN^2 \cdot CF \dots\dots\dots(1)$$

Plot selection and estimation of the accumulated biomass and carbon sequestration

Mensuration data were recorded for twenty-two 500 m² sampling plots (two in each *ejido*). This information was entered into a database which included data of 358 individuals of the following species: *Pinus maximinoii* H. E. Moore (pine), *Quercus robur* L. (oak), *Quercus rugosa* Neé (holm oak), and *Pinus patula* Schiede ex Schtdl. & Cham. (Mexican weeping pine) (Table 1). The age of the trees was determined using a Pressler drill, as well as based on information provided by the common land holders; the normalized diameter (ND) was measured with a diameter measuring tape, and the height (H) of the main stem, with a clinometer (Gómez-Castro *et al.*, 2010).

The stem volume (V) was calculated using the following equation:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot H \cdot DN^2 \cdot CF \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

- H* = Altura del árbol
- CF* = Coeficiente de forma de cada especie.
- DN* = Diámetro normalizado

Para estimar la biomasa del tallo, se multiplicó el volumen total por la densidad de cada una de las especies (Cuadro 2) (González, 2008). Una vez calculados los valores de biomasa, se procedió a estimar el carbono acumulado, multiplicando la biomasa por 0.50 que representa la concentración de carbono promedio para coníferas (Hamburg, 2000); valor citado en los Inventarios de Gases de Efecto Invernadero, sector forestal para México (IPCC, 2005).

El valor de la acumulación de biomasa en las diferentes partes del árbol se obtuvo mediante factores de expansión de la biomasa (FEM) y los coeficientes de forma (CF) publicados por González (2008) (Cuadro 2), con las siguientes expresiones:

Biomasa del fuste (BM_f)
 $BM_f = V \cdot \rho$(2)

Donde:

- BM_f = Biomasa del fuste
- V = Volumen del fuste
- ρ = Densidad de la madera (Cuadro 2)

Biomasa de la parte aérea del árbol (BM_o)
 $BM_o = BM_f \cdot FEB$(3)

Donde:

- BM_o = Biomasa de la parte aérea del árbol
- BM_f = Biomasa del fuste
- FEB = Factor de Expansión de la biomasa

Biomasa de las raíces (BM_r)
 $BM_r = BM_o \cdot 0.30$(4)

Donde:

- BM_r = Biomasa de las raíces
- BM_o = Biomasa de la parte aérea del árbol

Where:

- H* = Tree height
- SC* = Shape coefficient of each species.
- ND* = Normalized diameter

In order to estimate the stem biomass, the total volume was multiplied by the density of each of the species (Table 2) (González, 2008). Once the values of the biomass were determined, the accumulated carbon was estimated by multiplying the biomass by 0.50, a value that represents the mean concentration of carbon for conifers (Hamburg, 2000); a value cited in the Green House Gas Inventories of the forestry sector for Mexico (IPCC, 2005).

The value of the biomass accumulation in the various parts of the tree was determined based on the biomass expansion factors (BEFs) and shape coefficients (SCs) published by González (2008) (Table 2), with the following expressions:

Stem biomass (SBM)
 $SBM = V \cdot \rho$(2)

Where:

- SBM = Stem biomass
- V = Stem volume
- ρ = Wood density (Table 2)

Tree aboveground biomass ($AGBM$)
 $AGBM = SBM \cdot BEF$(3)

Where:

- $AGBM$ = Tree aboveground biomass
- SBM = Stem biomass
- BEF = Biomass expansion factor

Root biomass (RBM)
 $RBM = AGBM \cdot 0.30$(4)

Where:

- RBM = Root biomass
- $AGBM$ = Tree aboveground biomass

Cuadro 2. Factores de expansión de la biomasa (FEB), coeficientes de forma (CF) y densidad, de las especies estudiadas.

Especie	Factores de Expansión de la Biomasa (FEB)	Coeficientes de forma (CF)	Densidad (kg m ⁻³)
<i>Pinus maximinoii</i> H. E. Moore	1.25	0.52	507
<i>Quercus rugosa</i> Neé	1.27	0.39	650
<i>Quercus robur</i> L.	1.27	0.39	650
<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schlttdl. et Cham.	0.25	0.52	507

Table 2. Biomass expansion factors (BEF), shape coefficients (SCs) and density of the studied species.

Species	Biomass expansión factors (BEF)	Shape coefficients (SCs)	Density (kg m ⁻³)
<i>Pinus maximinoii</i> H. E. Moore	1.25	0.52	507
<i>Quercus rugosa</i> Neé	1.27	0.39	650
<i>Quercus robur</i> L.	1.27	0.39	650
<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.	0.25	0.52	507

Análisis estadísticos

Las diferencias entre la biomasa acumulada por especies y entre ejidos, se determinaron procesando los datos a través de un ANOVA. Se elaboraron histogramas de frecuencias para la edad y el diámetro normalizado (DN) y se realizaron análisis de regresión no lineales entre las variables altura del árbol y diámetro normalizado (DN), así como entre biomasa total (BMt) y la edad del árbol por especie. La comparación de medias se hizo con la prueba de Tukey para $p \leq 0.05$ (Steel y Torrie, 1980). Previo a todos los análisis estadísticos, se llevaron a cabo las comprobaciones de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, con el programa STATISTICA®, versión 8.0 (StatSoft, 2007).

Resultados y Discusión

El histograma de la edad de los árboles por especie muestra que las parcelas de pino reflejaron una distribución bastante heterogénea, con 12 % de los árboles en edades dentro del intervalo de 40-50 años (Figura 2), seguido de 10 % entre 90-100 años de edad. La de los encinos varió de 20 a 70 años, con 10 % de los individuos en el intervalo de 30-50 años. Los bosques de roble tuvieron 95 árboles con edades entre 20 y 40 años, mientras que los de ocote tuvieron 18 % con edades de 30-60 años (Figura 2).

La mayor cantidad de árboles con valores de DN de 0.1-0.4 m correspondió al roble, seguido del pino y el ocote (Figura 3). En todos los casos, al igual que para edad, la mayor heterogeneidad de las muestras correspondió a las parcelas de pino, con valores de DN entre 0.13-1.02 m (Figura 3). El intervalo de máximos, mínimos, así como el del DN (Cuadro 3) permitió definir que las especies con más variabilidad fueron pino, encino, roble y ocote, en ese orden (Cuadro 3).

Statistical analyses

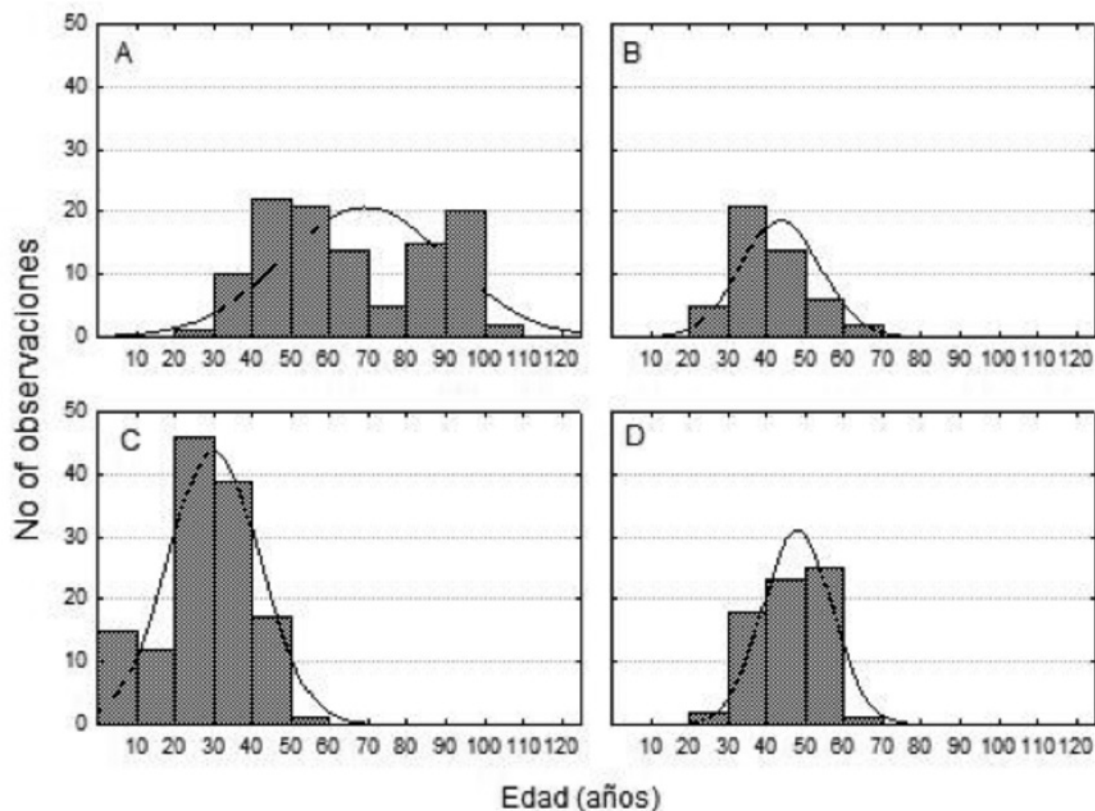
The differences in the biomass accumulated between species and between tissues were determined by processing the data through an ANOVA. Frequency histograms were created for the age and the normalized diameter (ND), and non-linear regression analyses were carried out between the tree height and normalized diameter (ND) variables, as well as between the total biomass (TBM) and the tree's age by species. The mean comparison was carried out using Tukey's test for $p \leq 0.05$ (Steel and Torrie, 1980). Previously to all the statistical analysis, the assumptions or normality and of variance homogeneity were verified using the STATISTICA®, version 8.0 software (StatSoft, 2007).

Results and Discussion

The histogram of tree age by species shows that the pine plots reflected a rather heterogeneous distribution, with 12 % of the trees aged 40-50 years (Figure 2), followed by 10 % of trees aged 90-100. The age of holm oaks ranged between 20 and 70 years, with 10 % of the individuals in an age interval of 30-50 years. The oak forests had 95 trees aged 20 to 40 years, while 18 % of the trees of Mexican weeping pine forests were aged 30-60 years (Figure 2).

The largest number of trees with ND values of 0.1-0.4 m were oaks, followed by pines and Mexican weeping pines (Figure 3). In every case, like for the tree age, the highest degree of heterogeneity was found in the pine plots, with ND values ranging between 0.13 and 1.02 m (Figure 3). The interval between maximums, minimums and NDs (Table 3) made it possible to determine that the species with the highest variability were pine, holm oak, oak and Mexican weeping pine, in this order (Table 3).





A = Pino; B = Encino; C = Roble; D = Ocote.

A = Pine; B = Holm oak; C = Oak; D = Mexican weeping pine.

Figura 2. Histogramas de frecuencia de edades de los árboles muestreados por especie en la región Frailesca, Chiapas, México.

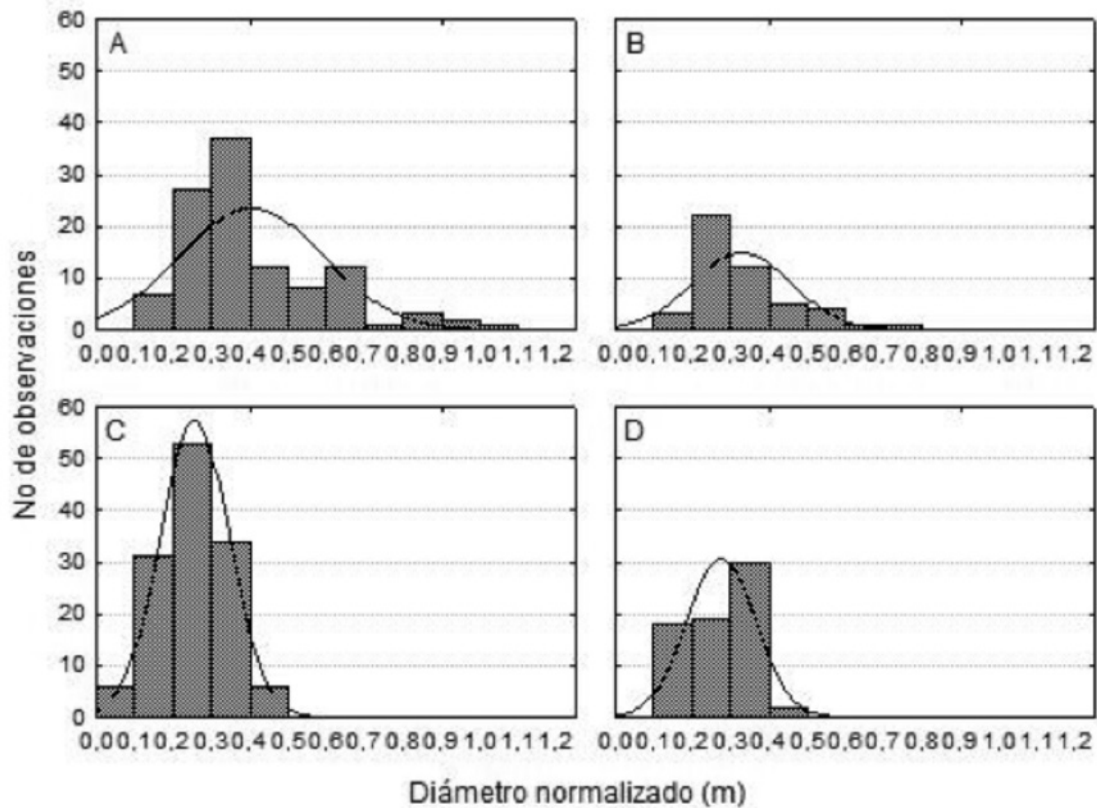
Figure 2. Frequency histograms of tree ages sampled by species in La Frailesca region of Chiapas, Mexico.

Cuadro 3. Valores máximos, mínimo e intervalo del diámetro normalizado (DN) de las especies estudiadas.

Especies	Media (m)	Máximo (m)	Mínimo (m)	Rango (m)
<i>Pinus maximinoii</i> H. E. Moore	0.40	1.02	0.13	0.89
<i>Quercus rugosa</i> Neé	0.33	0.75	0.15	0.60
<i>Quercus robur</i> L.	0.26	0.46	0.05	0.41
<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.	0.27	0.40	0.10	0.30

Table 3. Intervals between the maximums, the minimums and the normalized diameters (NDs) of the studied species.

Species	Mean (m)	Maximum (m)	Minimum (m)	Range (m)
<i>Pinus maximinoii</i> H. E. Moore	0.40	1.02	0.13	0.89
<i>Quercus rugosa</i> Neé	0.33	0.75	0.15	0.60
<i>Quercus robur</i> L.	0.26	0.46	0.05	0.41
<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.	0.27	0.40	0.10	0.30



A = Pino; B = Encino; C = Roble; D = Ocote.
 A = Pine; B = Holm oak; C = Oak; D = Mexican weeping pine.

Figura 3. Histogramas de frecuencia del DN de los árboles muestreados por cada especie en la región Frailesca, Chiapas, México.

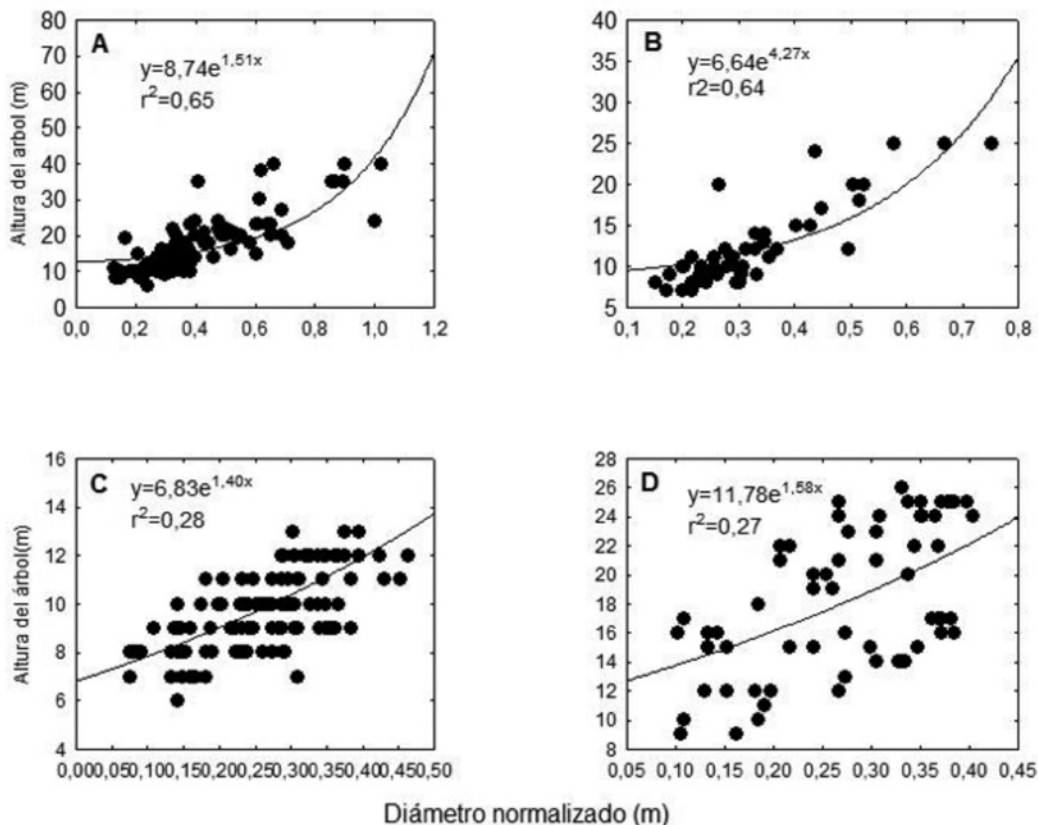
Figure 3. Frequency histograms of the ND of the sampled trees by species in *La Frailesca* region, *Chiapas*, *Mexico*.

Dada la estrecha relación que se ha observado entre el DN, la edad de los árboles y la acumulación de biomasa y captura de carbono en diferentes especies forestales (Fonseca *et al.*, 2008; Gómez-Castro *et al.*, 2010), es factible comprender la capacidad de dichos bosques para la captura de carbono atmosférico, máxime si se demuestra que la biomasa acumulada y el carbono capturado se incrementan con la edad.

La relación entre la altura y el DN en las especies se ajustó a un modelo exponencial (Figura 4), denominado alométrico y citado anteriormente, por Acosta *et al.* (2002) y Gómez-Castro *et al.* (2010). Los coeficientes más altos de determinación (r^2) se observaron en pino y encino, que además tuvieron la mayor amplitud de intervalo de edades y DN. Para todas las especies, el ajuste matemático arrojó significación estadística de los parámetros del modelo, de acuerdo con la prueba de *t* de Student (Cuadro 4), lo cual corrobora la selección del modelo exponencial para estimar la altura de los árboles a través del diámetro normalizado, aunque se sugiere que hay que profundizar en el efecto del intervalo del diámetro normalizado, para el que se obtienen las mejores estimaciones.

Given the close relationship observed between the ND, the age of the trees and biomass accumulation and carbon capture in various forest species (Fonseca *et al.*, 2008; Gómez-Castro *et al.*, 2010), it is possible to understand the capacity of these forests to capture carbon from the atmosphere, particularly if it can be proven that the accumulated biomass and the captured carbon increase with the age of the trees.

The relationship between the height and the ND of the species was adjusted to an exponential model (Figure 4) called allometric, previously cited by Acosta *et al.* (2002) and Gómez-Castro *et al.* (2010). The highest determination coefficients (r^2) were observed in pines and holm oaks, which also had the broadest interval between tree ages and NDs. For all the species, the mathematical adjustment produced a statistical significance of the model parameters, according to the Student's *t*-test (Table 4), a fact that corroborates the selection of the exponential model to estimate tree heights through the normalized diameter, although it suggests the need to delve into the effect of the normalized diameter interval, for which the best estimates were obtained.



A = Pino; B = Encino; C = Roble; D = Ocote.
 A = Pine; B = Holm oak; C = Oak; D = Mexican weeping pine.

Figura 4. Ajustes de modelos de regresión exponencial entre la altura y el DN de las especies estudiadas de la región Frailesca, Chiapas, México.

Figure 4. Exponential regression models of adjustment between the height and the ND of the studied species of La Frailesca region of Chiapas, Mexico.

Cuadro 4. Parámetros y significación estadística del modelo de ajuste matemático entre la altura y el diámetro normalizado.

Especies	Parámetros del modelo	Estimado	Error Estándar	t	p	Límites de confianza (95 %)	
						Mín.	Máx.
<i>Pinus maximinoii</i> H. E. Moore	a	8,74	0,524	16,701	0,01	7,707	9,782
	b	1,51	0,099	15,193	0,01	1,313	1,706
<i>Quercus rugosa</i> Neé	a	6,64	0,314	21,146	0,01	6,018	7,261
	b	4,27	0,270	15,779	0,01	3,732	4,802
<i>Quercus robur</i> L.	a	6,83	0,414	16,475	0,01	6,008	7,647
	b	1,40	0,206	6,785	0,01	0,992	1,808
<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.	a	11,78	1,251	9,417	0,01	9,283	14,277
	b	1,58	0,344	4,598	0,01	0,894	2,265

t = t de student; p = Probabilidad de error.



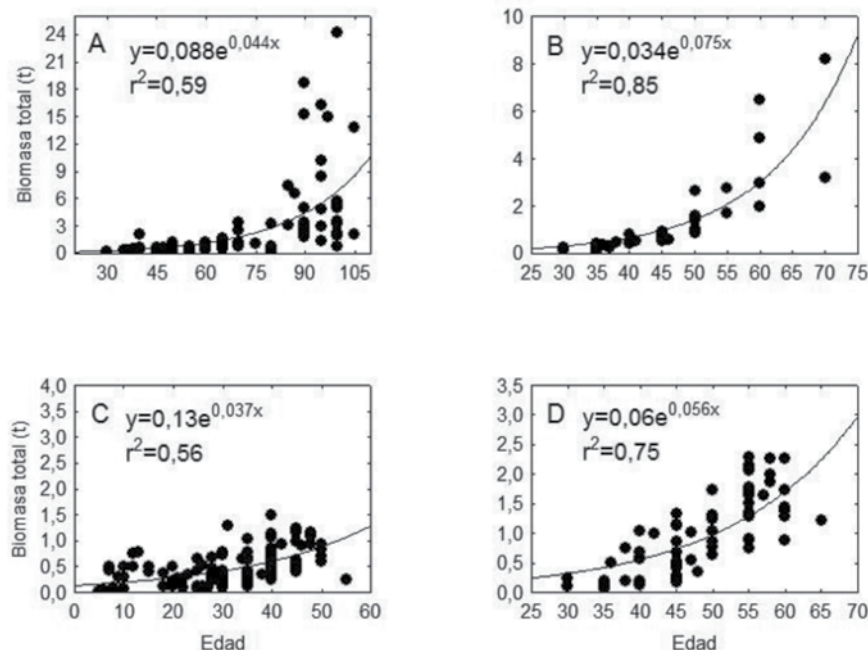
Table 4. Parameters and statistical significance of the model of mathematical fit between the height and the normalized diameter.

Species	Model parameters	Estimate	Standard error	t	p	Confidence limits	
						(95 %)	
						Min.	Max.
<i>Pinus maximinoii</i> H. E. Moore	a	8.74	0.524	16.701	0.01	7.707	9.782
	b	1.51	0.099	15.193	0.01	1.313	1.706
<i>Quercus rugosa</i> Neé	a	6.64	0.314	21.146	0.01	6.018	7.261
	b	4.27	0.270	15.779	0.01	3.732	4.802
<i>Quercus robur</i> L.	a	6.83	0.414	16.475	0.01	6.008	7.647
	b	1.40	0.206	6.785	0.01	0.992	1.808
<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.	a	11.78	1.251	9.417	0.01	9.283	14.277
	b	1.58	0.344	4.598	0.01	0.894	2.265

t = Student's t; p = Probability of error.

Para todas las especies, la relación entre la biomasa total del árbol (BM_t) y la edad se ajustó significativamente un modelo exponencial (Figura 5, Cuadro 5), con coeficientes de determinación que van de 0.56 a 0.85. Resultados similares obtuvieron Rodríguez *et al.* (2004) para las relaciones alométricas entre la producción de biomasa y la edad de árboles de pino. Este resultado corrobora los estudios de estimación de biomasa y carbono a través del DN, y ratifica la relación entre la edad del árbol con los procesos fotosintéticos que desencadenan la acumulación de biomasa y carbono (Pacheco *et al.*, 2007).

For all species, the ratio of the total biomass of the tree (BM_t) and the age was significantly fitted according to an exponential model (Figure 5, Table 5), with determination coefficients ranging between 0.56 and 0.85. Similar results were obtained by Rodríguez *et al.* (2004) for the allometric relationships between the biomass production and the age of the pine trees. This result corroborates the biomass and carbon estimation studies based on the ND and ratifies the relationship between tree age and the photosynthetic processes that trigger biomass and carbon accumulation (Pacheco *et al.*, 2007).



A = Pino; B = Encino; C = Roble; D = Ocote.

A = Pine; B = Holm oak; C = Oak; D = Mexican weeping pine.

Figura 5. Ajustes de curvas de regresión entre la biomasa total acumulada (BM_t) y la edad de las diferentes especies de árboles.

Figure 5. Regression curves of fit between the total accumulated biomass (BM_t) and the age of the trees of the various species.

Fonseca *et al.* (2008) documentan que la biomasa aérea y la biomasa de raíces aumentan con la edad, en bosques secundarios y plantaciones forestales. Hughes *et al.* (1999) consignan una biomasa promedio de 272.1 Mg ha⁻¹, a los 16 años de edad. Corrales (1998) registra 162.1 Mg ha⁻¹ de biomasa en bosques secundarios de 15 años y 324.1 Mg ha⁻¹ en bosques primarios en climas húmedos y muy húmedos de Costa Rica.

According to Fonseca *et al.* (2008), both the aboveground biomass and the root biomass increase with the age in secondary forests and forest plantations. Hughes *et al.* (1999) register an average biomass of 272.1 Mg ha⁻¹ at 16 years of age. Corrales (1998) registers a biomass of 162.1 Mg ha⁻¹ in secondary forests aged 15 years, and of 324.1 Mg ha⁻¹ in primary forests in humid and very humid climates in Costa Rica.

Cuadro 5. Parámetros y significación estadística del modelo de ajuste matemático entre la biomasa y la edad de los árboles.

Especies	Parámetros del modelo	Estimado	Error Estándar	t	p	Límites de confianza	
						(95 %)	
						Mín.	Máx.
<i>Pinus maximinoii</i> H. E. Moore	a	0.09	0.07	1.22	0.23	-0.055	0.23
	b	0.04	0.009	5.06	0.01	0.027	0.06
<i>Quercus rugosa</i> Neé	a	0.034	0.016	2.18	0.05	0.002	0.07
	b	0.075	0.007	10.28	0.01	0.059	0.09
<i>Quercus robur</i> L.	a	0.13	0.036	3.72	0.01	0.063	0.21
	b	0.04	0.007	5.55	0.01	0.024	0.05
<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.	a	0.06	0.024	2.48	0.01	0.012	0.1
	b	0.06	0.007	7.59	0.01	0.041	0.07

t = t de student; p = Probabilidad de error.

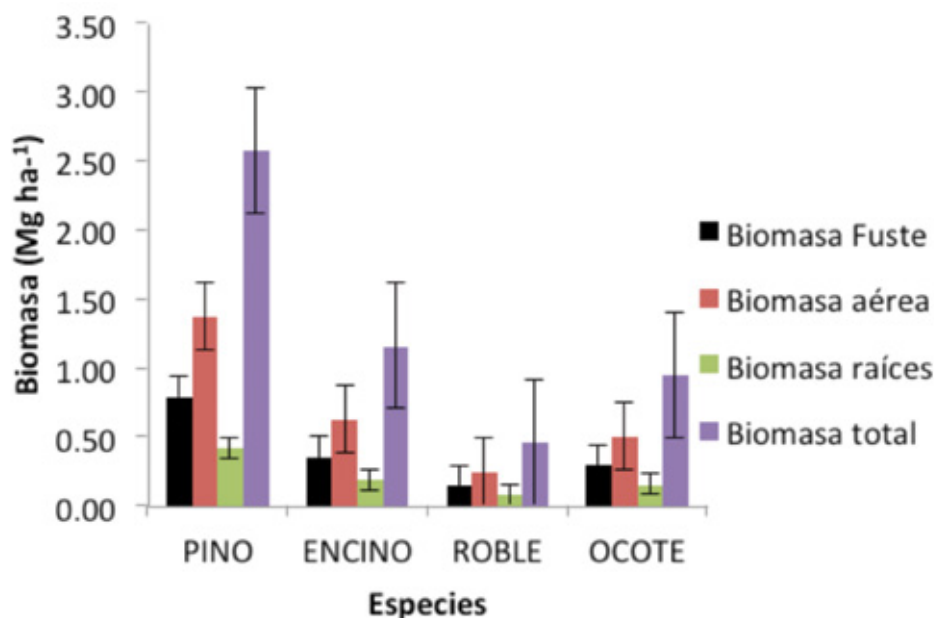
Table 5. Parameters and statistical significance of the model of mathematical fit between the biomass and the age of the trees.

Species	Model parameters	Estimate	Standard Error	t	p	Confidence limits	
						(95 %)	
						Min.	Max.
<i>Pinus maximinoii</i> H. E. Moore	a	0.09	0.07	1.22	0.23	-0.055	0.23
	b	0.04	0.009	5.06	0.01	0.027	0.06
<i>Quercus rugosa</i> Neé	a	0.034	0.016	2.18	0.05	0.002	0.07
	b	0.075	0.007	10.28	0.01	0.059	0.09
<i>Quercus robur</i> L.	a	0.13	0.036	3.72	0.01	0.063	0.21
	b	0.04	0.007	5.55	0.01	0.024	0.05
<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.	a	0.06	0.024	2.48	0.01	0.012	0.1
	b	0.06	0.007	7.59	0.01	0.041	0.07

t = Student's t; p = Probability of error.

Los árboles que mayor cantidad de biomasa acumularon, tanto en el fuste como en la parte aérea y las raíces fueron los de pino, con valores que superaron las 0.79, 1.37, 0.42 Mg ha⁻¹, respectivamente (Figura 6). El roble acumuló menor biomasa. Monroy y Navar (2004) citan resultados similares para *Hevea brasiliensis* (Willd.) ex A. Juss.) Müll. Arg., con valores de 73.9 % de biomasa en el fuste y 27.1 % en las ramas, los cuales se incrementaron con la edad de los árboles.

The trees that accumulated the largest amount of biomass in the stem and other aboveground parts and in the roots were pines, with values above 0.79, 1.37 and 0.42 Mg ha⁻¹, respectively (Figure 6). Oak trees accumulated the least biomass. Monroy and Navar (2004) cite similar results for *Hevea brasiliensis* (Willd.) ex A. Juss.) Müll. Arg., with values of 73.9 % stem biomass and 27.1 % branch biomass, both of which increased with the age of the trees.



Las líneas verticales en las columnas representan el error estándar de la media.

The vertical lines in the columns represent the mean standard error.

Figura 6. Acumulación de biomasa en el fuste, ramas y raíces de árboles de pino, encino, roble y ocote en comunidades de la región Frailesca, Chiapas, México

Figure 6. Biomass accumulation in the stem, branches and roots of pine, oak, holm oak and Mexican weeping pine trees in communities of *La Frailesca* region of Chiapas, Mexico.

En cuanto a la relación entre el contenido de carbono y la biomasa acumulada en los distintos componentes de la planta, los resultados sugieren que las altas tasas de crecimiento y fijación de carbono aéreo registradas en los pinares, como lo demostraron Pacheco *et al.* (2007), se pudiera deber a una buena combinación entre la producción de madera y celulosa, en comparación con otras especies, lo anterior es útil para la implementación de proyectos de reforestación y secuestro de CO₂ (Gamara, 2001). Sin embargo, existen otros factores como el sitio y la masa arbolada que determinan la acumulación de biomasa y la captura del carbono. Este autor, también refiere que tanto la biomasa acumulada, como el carbono secuestrado se relacionan directamente con el crecimiento, en diámetro (DN) y en altura total del árbol (Ugalde, 1997).

Al analizar la información en los diferentes ejidos, se comprobó que la biomasa total acumulada en árboles de pino fue superior en "24 de Febrero" y "Juan Sabinés" (Figura 7), con valores que superaron los 8 y 6 Mg ha⁻¹, respectivamente. Como consecuencia, los mayores valores de captura de carbono correspondieron a esas comunidades.

As for the relationship between the carbon content and the accumulated biomass in the various components of the plant, the results suggest that the high rates registered in pine forests for both growth and aboveground carbon fixation may be due, as Pacheco *et al.* (2007) proved, to a good combination between the production of wood and cellulose compared to other species; this is helpful for the implementation of reforestation and CO₂ sequestration projects (Gamara, 2001). However, other factors, such as the site and the tree mass, also determine biomass accumulation and carbon capture. Furthermore, this author cites a direct relationship between the sequestered carbon and growth, in both the normal diameter (ND) and the total height of the trees (Ugalde, 1997).

Analysis of the information from the various *ejidos* proved that the total biomass accumulated in pine trees was highest at "24 de Febrero" and "Juan Sabinés" (Figure 7), with values above 8 and 6 Mg ha⁻¹, respectively. Therefore, these communities also had the highest values for carbon capture.



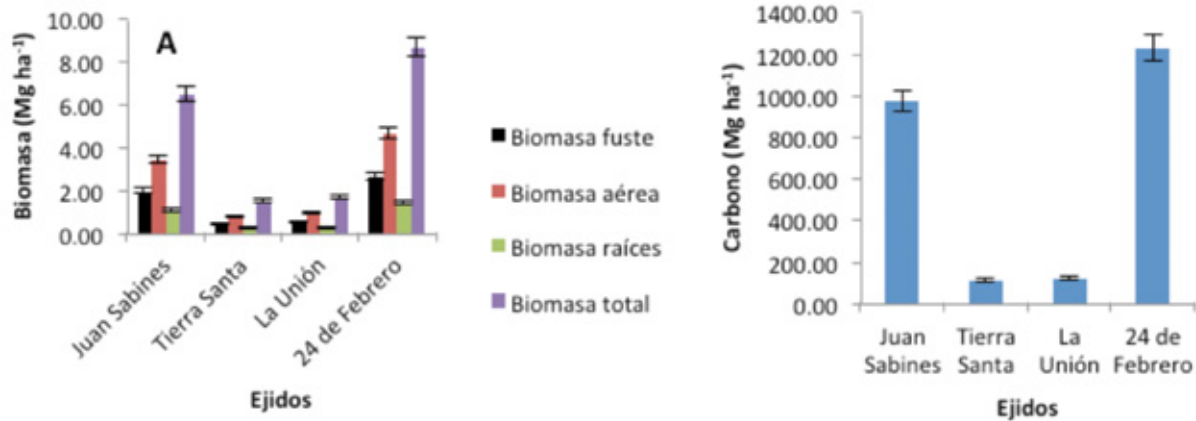
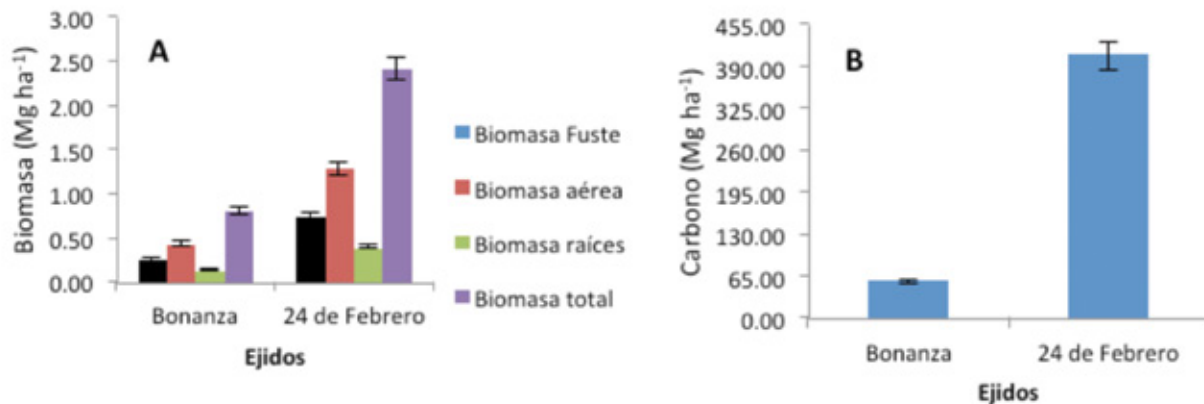


Figura 7. Acumulación de biomasa (A) y carbono (B) en bosques de *Pinus maximinoii* H. E. Moore de las comunidades Juan Sabinés, Tierra Santa, La Unión y 24 de Febrero de la región Frailesca de Chiapas.

Figure 7. Biomass (A) and carbon (B) accumulation in *Pinus maximinoii* H. E. Moore forests of the Juan Sabinés, Tierra Santa, La Unión and 24 de Febrero communities of La Frailesca region of Chiapas.

Los bosques de encino, predominantes en las comunidades “Bonanza” y “24 de Febrero”, acumularon hasta 0.8 y 2.5 ha⁻¹Mg de biomasa total, respectivamente (Figura 8); mientras que el carbono acumulado fue superior en “24 de Febrero”, con 390 Mg de C ha⁻¹, lo cual demuestra el potencial que tiene este ejido para la captura de CO₂ y su contribución a la mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Holm oak forests, which are prevalent in the “Bonanza” and “24 de Febrero” communities, accumulated up to 0.8 and 2.5 ha⁻¹Mg of total biomass, respectively (Figure 8), whereas the accumulated carbon was higher at “24 de Febrero”, with 390 Mg of C ha⁻¹, which proves the potential of this ejido for CO₂ capture and its contribution to the abatement of Greenhouse Gases (GHGs).



Las líneas verticales en las barras indican el error estándar de la media.
The vertical lines in the columns represent the mean standard error.

Figura 8. Acumulación de biomasa (A) y carbono (B) en bosques de *Quercus rugosa* Neé de las comunidades Juan Sabinés, Tierra Santa, La Unión y 24 de Febrero de la región Frailesca de Chiapas, México.

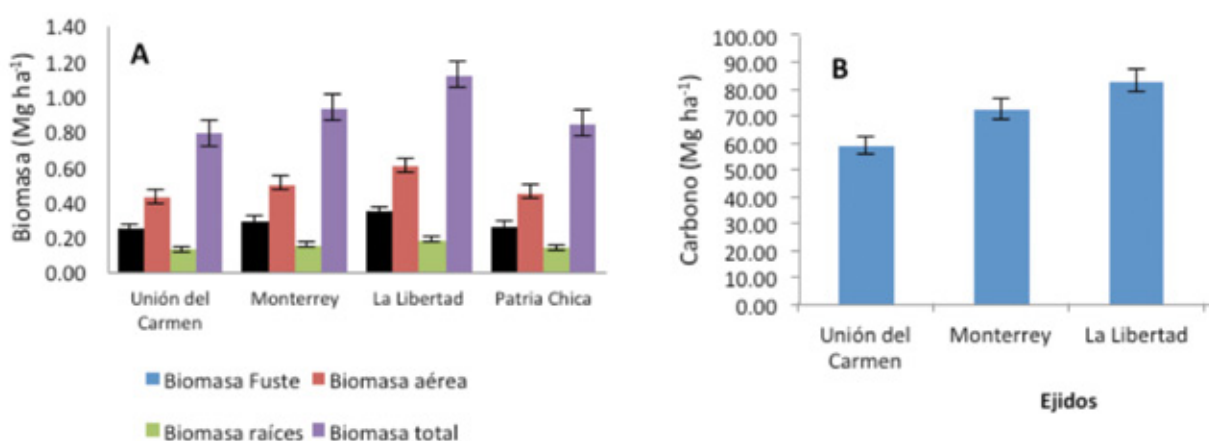
Figure 8. Biomass (A) and carbon (B) accumulation in *Quercus rugosa* Neé forests in the Juan Sabinés, Tierra Santa, La Unión and 24 de Febrero communities of La Frailesca region of Chiapas, Mexico.

La acumulación total de biomasa en árboles de roble fue de 0.79 a 1.12 Mg ha⁻¹, el mayor registro en las áreas boscosas del ejido “La Libertad”, seguido de “Monterrey” (Figura 9). El menor valor se registró en “Patria Chica”. En cuanto al carbono capturado, en todos los ejidos estuvo por encima de 50 Mg ha⁻¹; el más alto se obtuvo en los bosques del ejido “La Libertad”, con 82 Mg de C ha⁻¹ (Figura 9).

The total biomass accumulation in oak trees was 0.79 to 1.12 Mg ha⁻¹, the highest record in the forest areas of the “La Libertad” ejido, followed by “Monterrey” (Figure 9). The lowest value was found at “Patria Chica”. As for carbon capture, in all the ejidos it was above 50 Mg ha⁻¹; the highest was obtained in the forests of the “La Libertad” ejido, with 82 Mg of C ha⁻¹ (Figure 9).

Pimienta *et al.* (2007) estimaron un valor promedio de carbono acumulado para fuste limpio de *Pinus cooperi* C. E. Blanco en Durango, México, de 51.12 Mg ha⁻¹, valor superior al presentado por Domínguez *et al.* (2007) en bosques mixtos de *Pinus teocote* Schiede ex Schltdl. & Cham. y *Pinus pseudostrabus* Lindl. del sur de Nuevo León, México, con 45.18 Mg ha⁻¹. En trabajos sobre la cuantificación de biomasa y el carbono fijado en bosques templados lluviosos de la región centro-sur de Chile, en 269 derribados y pertenecientes a árboles apeados de 12 especies arbóreas, estimaron la biomasa y carbono en raíces, sotobosque, necromasa y hojarasca. La cantidad de carbono almacenado en los sitios de la pre-cordillera de Los Andes, acumularon 662.06 Mg ha⁻¹, mayor que los de la Cordillera de la Costa, con 423.83 Mg ha⁻¹.

For the clear trunks of *Pinus cooperi* C. E. Blanco in Durango, Mexico, Pimienta *et al.* (2007) estimated an average value of accumulated carbon of 51.12 Mg ha⁻¹, a higher value than estimated by Domínguez *et al.* (2007) for the mixed *Pinus teocote* Schiede ex Schltdl. & Cham. and *Pinus pseudostrabus* Lindl. forests in southern Nuevo León, Mexico, which was 45.18 Mg ha⁻¹. Studies of biomass and fixed carbon quantification in 269 felled and harvested trees belonging to 12 species in temperate rainforests of the central-southern region of Chile estimated the biomass and the carbon accumulated in the roots, undergrowth, necromass and dead leaves. Carbon accumulation in the sites of the pre-Andes mountains was 662.06 Mg ha⁻¹, i.e., higher than in the Cordillera de la Costa (Coast Mountain Range), where it was 423.83 Mg ha⁻¹.



Las líneas verticales en las barras indican el error estándar de la media.
The vertical lines in the columns represent the mean standard error.

Figura 9. Acumulación de biomasa (A) y carbono (B) en bosques de *Quercus robur* L. de las comunidades Juan Sabinés, Tierra Santa, La Unión y 24 de Febrero de la región Frailesca de Chiapas, México.

Figure 9. Biomass (A) and carbon (B) accumulation in *Quercus robur* L. forests of the Juan Sabinés, Tierra Santa, La Unión and 24 de Febrero communities of La Frailesca region of Chiapas, Mexico.

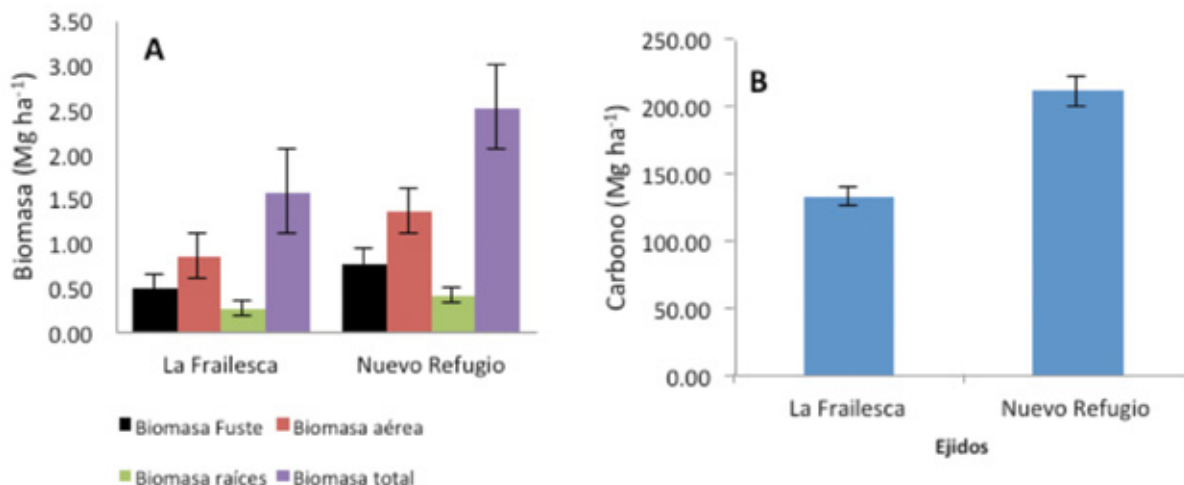
La biomasa total acumulada por árboles de ocote (*Pinus oocarpa* Schiede) osciló entre 1.57 y 2.51 Mg ha⁻¹ (Figura 10). Esta especie, solamente, se registró en los ejidos "La Frailesca" y "Nuevo Refugio", los bosques de este último contribuyeron más a dicha acumulación. Los valores de carbono acumulado más altos se presentaron en los bosques de "Nuevo Refugio", con 212 Mg de C ha⁻¹, mientras que en el ejido "La Frailesca", la captura se redujo a 132 Mg ha⁻¹.

The total biomass accumulated by Mexican weeping pines (*Pinus oocarpa* Schiede) ranged between 1.57 and 2.51 Mg ha⁻¹ (Figure 10). This species occurred only in the "La Frailesca" and "Nuevo Refugio" ejidos; the forests of the latter contributed a larger amount to this accumulation. The highest values for accumulated carbon 212 Mg of C ha⁻¹, were found in the forests of "Nuevo Refugio", while the "La Frailesca" ejido accumulated only 132 Mg ha⁻¹.

En cuanto a la acumulación de biomasa por componentes del árbol (figuras 6, 7, 8, 9 y 10), en todos los taxa y localidades, la mayor acumulación se produjo en la biomasa aérea, lo cual coincide con Gower *et al.* (1993), quienes demostraron que aproximadamente 75 % de la biomasa de un árbol corresponde a la biomasa aérea y 25 % se acumula en las raíces.

As for the accumulation of biomass per tree components (figures 6, 7, 8, 9 and 10), in all the taxa and localities, the highest accumulation occurred in the aboveground biomass, as indicated by Gower *et al.* (1993), who proved that approximately 75% of the biomass of a tree is accumulated in the aboveground parts, while only 25% is accumulated in the roots.





Las líneas verticales en las barras indican el error estándar de la media.
The vertical lines in the columns represent the mean standard error.

Figura 10. Acumulación de biomasa (izquierda) y carbono (derecha) en bosques de *Pinus oocarpa* Schiede de las comunidades La Frailesca y Nuevo Refugio de la región Frailesca de Chiapas, México.

Figure 10. Biomass (left) and carbon (right) accumulation in *Pinus oocarpa* Schiede forests of the La Frailesca and Nuevo Refugio in La Frailesca region of Chiapas, Mexico.

La comparación de la acumulación de biomasa y captura de carbono por especies evidenció que *Pinus* spp. y *Quercus* spp. tuvieron los registros más altos y *Quercus robur* los menores (Cuadro 6), que coincide con los resultados publicados por González (2008), quien al comparar tres especies arbóreas determinó una acumulación de biomasa superior en *P. maximinoi*, seguido por *Quercus* sp. En cuanto al carbono, las especies de pino y encino muestran un potencial de captura de 380.113 a 173.852 Mg de C ha⁻¹ (Cuadro 6).

Comparison between biomass accumulation and carbon capture by species showed that *Pinus* spp. and *Quercus* spp. had the highest values, while *Quercus robur* had the lowest (Table 6). This agrees with the findings of González (2008), who, after comparing three tree species, determined that *P. maximinoi* had the highest biomass accumulation, followed by *Quercus* spp. In regard to carbon, pine and holm oak had a capture potential of 380.113 to 173.852 Mg of C ha⁻¹ (Table 6).

Cuadro 6. Biomasa y carbono acumulados en bosques de pino, encino, roble y ocote de la región Frailesca, Chiapas.

Especie	Biomasa Total (Mg ha ⁻¹)		Carbono acumulado (Mg ha ⁻¹)	
	Media	Error Estándar	Media	Error Estándar
<i>Pinus maximinoii</i> H. E. Moore	2.606 ^a	1.112	380.113 ^a	158.117
<i>Quercus rugosa</i> Neé	1.070 ^b	0.671	173.852 ^b	117.217
<i>Quercus robur</i> L.	0.459 ^c	0.040	70.516 ^c	5.968
<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.	1.019 ^b	0.144	172.091 ^b	23.543
General	1.327	0.397	201.583	57.122

Letras diferentes en los superíndices (^a, ^b y ^c) indican diferencias estadísticas significativas para p ≤ 0.05.



Table 6. Accumulated biomass and carbon in pine, holm oak, oak and Mexican weeping pine forests of *La Frailesca* region, *Chiapas*.

Specie	Total Biomass (Mg ha ⁻¹)		Accumulated carbon (Mg ha ⁻¹)	
	Mean	Standard Error	Mean	Standard Error
<i>Pinus maximinoii</i> H. E. Moore	2.606 ^a	1.112	380.113 ^a	158.117
<i>Quercus rugosa</i> Neé	1.070 ^b	0.671	173.852 ^b	117.217
<i>Quercus robur</i> L.	0.459 ^c	0.040	70.516 ^c	5.968
<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.	1.019 ^b	0.144	172.091 ^b	23.543
General	1.327	0.397	201.583	57.122

Different letters in the superscripts (^a, ^b and ^c) indicate significant statistical differences of $p \leq 0.05$.

Conclusiones

La acumulación de biomasa se ajustó a un modelo exponencial con la edad de los árboles de las cuatro especies evaluadas. Los bosques del ejido "24 de Febrero" registran mayor crecimiento mostraron, a juzgar por la altura y el diámetro del fuste, así como por la biomasa acumulada, lo cual coloca a este ejido entre una de las localidades con más potencialidad para la captura de carbono de los sitios estudiados.

Los árboles de pino, encino, roble y ocote de las comunidades de la región Frailesca de Chiapas, México acumulan entre 0.459 y 2.606 Mg ha⁻¹ de biomasa vegetal, por lo que se les considera con un gran potencial para la captura de carbono. Para el caso del pino alcanza una cifra de 380.113 Mg⁻¹ ha⁻¹ de C, que la ubica con el potencial más alto de captura, debido su mayor desarrollo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Luis Alfredo Rodríguez-Larramendi: coordinó e integró la elaboración del artículo y analizó datos de campo; Francisco Guevara-Hernández: coordinó el equipo de investigación así como el trabajo de campo y gabinete, coordinó el proyecto que dio origen a este documento y redactó gran parte del artículo; Luis Reyes-Muro: colaboró en el trabajo de campo y en la elaboración y análisis de resultados del artículo; Jesús Ovando-Cruz: elaboró la cartografía del artículo así como información de las instituciones involucradas en el presente artículo; José Nahed-Toral: aportó el enfoque y las conceptualizaciones teórica y metodológica para la elaboración del artículo; Miguel Prado-López: aportó la información sobre las áreas naturales protegidas y revisó los borradores; Rady Alejandra Campos Saldaña: contribuyó en el trabajo de campo, en la información metodológica y revisiones de los borradores del artículo.

Conclusions

Biomass accumulation was adjusted to an exponential model with the age of the trees of the four evaluated species. The forests of the "24 de Febrero" ejido registered the highest growth, based on their height and stem diameter, as well as on the accumulated biomass, rendering this ejido one of the localities with the highest potential for carbon capture of all the studied sites.

Pine, holm oak, oak and Mexican weeping pine trees of the communities of *Frailesca* region in *Chiapas*, Mexico, accumulate between 0.459 and 2.606 Mg ha⁻¹ of vegetal biomass; therefore, they are considered to have a high potential for carbon capture. Pine trees reached a value of 380.113 Mg⁻¹ ha⁻¹ of C; due to its high degree of development, this species has the highest capture potential of all.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Contribution by author

Luis Alfredo Rodríguez Larramendi: coordination and integration of the article and analysis of field data; Francisco Guevara Hernández: coordination of the research team, as well as of field work, logistics, and of the project which supported the actual paper and review of great part of it; Luis Reyes Muro: help in field work and in the making and analysis of results; Jesús Ovando Cruz: maps and help in the information of the institutions involved in the actual paper; José Nahed Toral: contribution with the focus and theoretical and methodological concept to prepare this paper; Miguel Prado López: information about natural protected areas and review of previous versions of the manuscript; Rady Alejandra Campos Saldaña: help in field work, in methodology and review of the previous versions of the document.

End of the English version



Referencias

- Acosta M., M., J. Vargas H., A. Velázquez M. y J. Etchevers B. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36(6): 725-736.
- Alberto, D. M. y J. A. Elvir. 2005. Acumulación y fijación de carbono en biomasa aérea de *Pinus oocarpa* en bosques naturales de Cabañas, La Paz. *Tatascán* 17(2):1-12.
- Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica. Gobierno del Estado de Chiapas (CEIEG). 2011. Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica. Gobierno del Estado de Chiapas. <http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/perfiles/PHistoricoIndex.php?region=107&option=1> (10 de agosto de 2011).
- Corrales, L. 1998. Estimación de la cantidad de carbono almacenado y captado (masa aérea) en el Corredor Biológico Mesoamericano de Costa Rica. PROARCA/CAPAS/CCAD/USAID. San José, Costa Rica. 15 p.
- Crowley, T. J. 2000. Causes of climate change over the past 1000 years. *Science* 289(5477): 270-277.
- Dhillon, R. S. and G. Von Wuehlich. 2013. Mitigation of global warming through renewable biomass. *Biomass Bioenergy* 48: 75-89.
- Dixon, R. K., S. Brown, R. A. Houghton, A. M. Solomon, M. C. Trexler and J. Wisniewski. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 185-190.
- Domínguez C., G., A. Aguirre O., P. Jiménez y M. Villalón H. 2007. Evaluación del contenido de carbono en bosques del sur de Nuevo León. *Madera y Bosques* 13(1) 35 - 46.
- Fonseca, G., W., A. Federico E., J. Montero, H. Toruño y H. Leblanc. 2008. Acumulación de biomasa y carbono en bosques secundarios y plantaciones forestales de *Vochysia guatemalensis* e *Hieronyma alchorneoides* en el Caribe de Costa Rica. *Agroforestería en Las Américas* 46: 47-64.
- Fragoso, P. 2003. Estimación del contenido y captura de carbono en biomasa aérea del predio Cerro Grande municipio de Tancitaro Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich., México. 66 p.
- Gamara, J. 2001. Estimación de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* LABILL, en Junin, Perú. In: Galloso, J. y R. Jandl. (eds.). Simposio Internacional "Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales". 18-20 de octubre de 2001. Valdivia, Chile. 21 p.
- Gómez C., H., R. Pinto R., F. Guevara H. y A. González R. 2010. Estimaciones de biomasa aérea y carbono almacenado en *Gliricidia sepium* (lam.) y *Leucaena leucocephala* (Jacq.) y su aplicación en sistemas silvopastoriles. *ITEA* 106 (4): 256-270.
- González M., Z. 2008. Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de *Pinus maximinoi* H. E. Moore, *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Mtz. y *Quercus* sp. en el norte del Estado de Chiapas, México. Tesis de Maestría. Manejo y Conservación de Bosques Naturales y Biodiversidad. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 97 p.
- Gower, S., B. Reich and Y. Son. 1993. Canopy dynamics and aboveground production for five tree species with different leaf longevities. *Tree Physiology* 12(4):327-45.
- Hamburg, S. P. 2000. Simple rules for measuring changes in ecosystem carbon in forestry-offset projects. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 5(1): 25-37.
- Hughes, R. F., J. B. Kauffman and V. J. Jaramillo. 1999. Biomass, carbon and nutrient dynamics of secondary forest in a humid tropical region of Mexico. *Ecology* 80(6):1882-1907.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2005. Special report on Carbon Dioxide Capture and Storage (Prepared by working group III of the Intergovernmental Panel On Climate Change - IPCC). Cambridge University Press. Cambridge, UK and New York, USA. 442 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Resumen Técnico en Cambio Climático 2007: Mitigación. In: Metz, B., O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave y L. A. Meyer (eds). Contribución del Grupo de Trabajo III al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. Cambridge University Press. Cambridge, UK y New York, USA. 72 p.
- Masera, O., A. Cerón and A. Ordóñez. 2001. Forestry mitigation options for Mexico: Finding synergies between national sustainable development priorities and global concerns. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 6(3): 291-312.
- Meilillo, J. M., A. D. McGuire, D. W. Kicklighter, B. Moore, C. J. Vorosmarty and A. L. Schloss. 1993. Global climate change and terrestrial net primary production. *Nature* 363:234-240.
- Monroy R., C. y J. J. Navar C. 2004. Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *Hevea brasiliensis* Mull. Arg. en Veracruz México. *Madera y Bosques* 10(2): 29-43.
- Montero, M. y M. Kanninen. 2002. Biomasa y Carbono en plantaciones de *Terminalia amazonia* (Gmel.) Exell en la zona Sur de Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana* 39-40: 50-55.
- Nájera L., J. A. y H. Hernández H. 2009. Acumulación de biomasa aérea en un bosque coetáneo de la región de El Salto, Durango. *Ra Ximhai* 52(2):225-230.
- Pacheco E., F. C., A. Alderete, A. Gómez G., A. Fierros G., V. M. Cetina A. y H. Vaquera H. 2007. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30 (3): 251-254.
- Petit, J. R., J. Jouzel, D. Raynaud, N. I. Barkov, J. M. Barnola, I. Basile, M. Benders, J. Chappellaz, M. Davis, G. Delayque, M. Delmotte, V. M. Kotlyakov, M. Legrand, V. Y. Lipenkov, C. Lorius, L. Pépin, C. Ritz, E. Saltzman and M. Stievenard. 1999. Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399: 429-436.
- Pimienta T., D. J., G. Domínguez C., J. O. Aguirre C., F. J. Hernández y J. Jiménez P. 2007. Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* Blanco, en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques* 13(1): 35-46.
- Rodríguez F., F. J., J. A. Prieto R. y J. J. Navar C. 2004. Producción de biomasa en plantaciones forestales del norte de México. *Revista Ciencia Forestal en México* 29(96):67-90.
- Roncal-García S., L. Soto-Pinto, J. Castellanos-Albores, N. Ramírez-Marcial y B. De Jong. (2008). Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. *Interciencia* 33(3):200-206.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hídricos- Subsecretaría Forestal y Fauna (SARH-SFF). 1994. Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994. México, D.F., México. 122 p.
- StatSoft. 2007. STATISTICA. Data analysis software system. Version 8.0. Tulsa, OK, USA. n/p.
- Steel, R. G. and J. H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. 2nd Ed. McGraw-Hill Book. New York, NY, USA. 672 p.
- Ugalde A., L. A. 1997. Resultados de 10 años de investigación silvicultural del proyecto MADELEÑA en Costa Rica. CATIE. Turrialba, Costa Rica. Serie Técnica, Informe Técnico Núm. 287. 162 p.
- United Nations Environment (UNEP). 2001. Climate Change. INFORMATION SHEETS Switzerland, UNEP, UNFCCC. Information Kit. Geneva. Switzerland. 30 p.