



CONCENTRACIÓN DE CARBONO EN LA BIOMASA AÉREA DEL MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO

CARBON CONCENTRATION IN THE ABOVE-GROUND BIOMASS IN THE TAMAULIPAN THORNSCRUB

José I. Yerena-Yamallel¹; Javier Jiménez-Pérez¹; Oscar A. Aguirre-Calderón¹; Eduardo J. Treviño-Garza¹

¹Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Carretera Nacional km 145, Linares, Nuevo León, C. P. 67700. MÉXICO. Correo-e: yamallel@hotmail.com

RESUMEN

Se determinó la concentración de carbono por unidad de biomasa base peso seco de 10 especies del matorral espinoso tamaulipeco y para cada uno de sus componentes (tallo, ramas, ramillas, hojas y corteza). La concentración de carbono expresado como porcentaje de la biomasa, se hizo con el equipo Solids TOC Analyzer, que determina la concentración de carbono en muestras sólidas a través de combustión completa. Mediante un ANAVA no se encontraron diferencias en la concentración promedio de carbono de las especies ($P>0.05$); esta concentración varió de 44.25 a 47.08 % con una media general de 45.4 ± 1.32 %; *Cordia boissieri* (44.25 ± 1.52 %) y *Acacia farnesiana* (44.52 ± 1.37 %) son las especies que resultaron con los valores de concentración de carbono menores, y *Forestiera angustifolia* (47.08 ± 1.27 %) con el más alto. El componente corteza de *Cordia boissieri* obtuvo el menor porcentaje de concentración de carbono (39.62 ± 0.70 %), y las hojas de *Acacia schaffneri* el mayor (50.14 ± 1.21 %); la interacción de ambos factores resultó significativa ($P<0.0001$).

Recibido: 26 de febrero, 2010
Aceptado: 9 de abril, 2011
doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.02.004
<http://www.chapingo.mx/revistas>

PALABRAS CLAVE:

Calentamiento global, almacenamiento de carbono, *Cordia boissieri*, *Acacia farnesiana*, *Forestiera angustifolia*

ABSTRACT

The carbon concentration per unit of biomass (dry weight basis) was determined for 10 species in the Tamaulipan thornscrub and for each of their components (bole, branches, twigs, leaves and bark). Carbon concentration expressed as a percentage of biomass was obtained using a Solids TOC Analyzer, which determines the carbon concentration in solid samples by complete combustion. By ANOVA, no differences were found among the species in average carbon concentration ($P>0.05$). This concentration ranged from 44.25 to 47.08 % with an overall average of 45.4 ± 1.32 %. *Cordia boissieri* (44.25 ± 1.52 %) and *Acacia farnesiana* (44.52 ± 1.37 %) are the species that had the lowest carbon concentration values, while *Forestiera angustifolia* (47.08 ± 1.27 %) had the highest. The bark component of *Cordia boissieri* obtained the lowest carbon concentration percentage (39.62 ± 0.70 %), while the leaves of *Acacia schaffneri* had the highest (50.14 ± 1.21 %). The interaction of both factors was significant ($P<0.0001$).

KEY WORDS: Global warming, carbon storage, *Cordia boissieri*, *Acacia farnesiana*, *Forestiera angustifolia*

INTRODUCCIÓN

La preocupación sobre las consecuencias del cambio climático global, generado por un eventual aumento de la temperatura del planeta y su relación con el incremento en los niveles de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, en particular de CO_2 , ha motivado múltiples estudios en las últimas décadas. Los científicos han establecido que desde 1885 la concentración de CO_2 en la atmósfera ha aumentado en un 25 %, producto de la combustión de fósiles para la generación de energía y la deforestación a escala mundial. Alguna de las áreas de interés corresponde a la capacidad de captación y de retención de carbono (C) por parte de los bosques, tanto

INTRODUCTION

Concern about the consequences of global climate change, generated by an increase in global temperature and its relationship with increasing levels of greenhouse gases (GHGs) in the atmosphere, particularly CO_2 , has resulted in many studies in recent decades. Scientists have established that since 1885 the CO_2 concentration in the atmosphere has increased by 25 % due to the burning of fossil fuels for power generation and global deforestation. Some areas of interest relate to the ability of forests, both natural and those established by planting, to capture and retain carbon (C). This is because forests play a major role in the global C cycle, storing large amounts of this element

naturales como los establecidos mediante plantaciones. Esto se debe a que los bosques desempeñan un papel primordial en el ciclo global del C, almacenando grandes cantidades de este elemento en la biomasa y el suelo, además de su intercambio con la atmósfera a través de los procesos de fotosíntesis y respiración (Brown, 1999).

El calentamiento global es producto del incremento en la concentración de diversos gases en la atmósfera, conocidos como de efecto invernadero, entre los que destacan: el bióxido de carbono (CO_2), que es el responsable del 71.5 % del efecto invernadero (Lashof y Ahuja, 1990), y otros gases con concentraciones menores tales como metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), dióxido de azufre (SO_2), clorofluorocarbonos (CFC), ozono (O_3) y el vapor de agua con fluctuaciones anuales (Houghton y Woodwell, 1989; Dixon *et al.*, 1994; Masera, 1995). Estos gases absorben más del 90 % de la radiación infrarroja que es emitida desde la Tierra. Como resultado, el calor es atrapado en la atmósfera permitiendo una temperatura superficial promedio de 15 °C. Sin estos gases de efecto invernadero, la temperatura promedio sería de -18 °C (Garduño, 2004).

Una causa en el incremento de la concentración de CO_2 en la atmósfera es el cambio de uso del suelo. Este proceso de liberación de carbono a la atmósfera es factible de revertir en alguna medida al proteger y conservar los ecosistemas arbóreos y arbustivos, así como mediante la aplicación de reforestación y restauración de ecosistemas degradados (Rodríguez *et al.*, 2008). Lo anterior permitirá que exista una recaptura de CO_2 de la atmósfera. Este sistema, conocido como captura de carbono, podrá contribuir de manera significativa a reducir el calentamiento global (Pimienta *et al.*, 2007).

Por la amenaza que el cambio climático global representa para el planeta, se reunieron en Kyoto, Japón, en 1997, representantes de 38 países. En esa reunión los países industrializados se comprometieron a reducir para el periodo 2008-2012 las emisiones de gases de efecto invernadero (Protocolo de Kyoto). Dentro del Protocolo de Kyoto se incluyen tres mecanismos de flexibilización para ser utilizados en el cumplimiento de los compromisos de la Convención: aplicación conjunta, comercio de emisiones y Mecanismo de Desarrollo Limpio. El Mecanismo de Desarrollo Limpio está definido en el artículo 12 del Protocolo de Kyoto y se refiere a actividades de mitigación del cambio climático, entre los países industrializados y los países en desarrollo (situación de México). La idea fundamental del Mecanismo de Desarrollo Limpio parte del hecho que los gases de efecto invernadero que están ocasionando las modificaciones climáticas, se distribuyen uniformemente en la atmósfera y por lo tanto la reducción y/o secuestro de estos gases en cualquier sitio del planeta produce el mismo efecto. Este fundamento permite a los países industrializados, comprometidos en la disminución

in biomass and soil, in addition to their exchange with the atmosphere through the processes of photosynthesis and respiration (Brown, 1999).

Global warming is due to the increased concentration of various gases in the atmosphere, known as the greenhouse effect. Among the most important of these so-called greenhouse gases are: carbon dioxide (CO_2), which is responsible for 71.5 % of the greenhouse effect (Lashof and Ahuja, 1990), and other gases with lower concentrations such as methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O), sulfur dioxide (SO_2), chlorofluorocarbons (CFCs), ozone (O_3) and water vapor with annual fluctuations (Houghton and Woodwell, 1989; Dixon *et al.* 1994; Masera, 1995). These gases absorb more than 90% of the infrared radiation emitted from the Earth. As a result, heat is trapped in the atmosphere resulting in an average surface temperature of 15 °C. Without these greenhouse gases, the average temperature would be -18 °C (Garduño 2004).

One of the causes of this increasing CO_2 concentration in the atmosphere is land-use change. This process of releasing carbon into the atmosphere can be reversed by protecting and conserving tree and bush ecosystems, as well as by reforesting and restoring degraded ecosystems (Rodríguez *et al.*, 2008). This will enable recapturing CO_2 from the atmosphere. This system, known as carbon sequestration, can make a significant contribution to reducing global warming (Pimienta *et al.*, 2007).

Due to the threat that global climate change poses to the world, representatives from 38 countries met in Kyoto, Japan, in 1997. At that meeting, industrialized countries committed themselves to reducing greenhouse gas emissions for the period 2008-2012 (Kyoto Protocol). Within the Kyoto Protocol are three so-called flexibility mechanisms designed to help countries fulfill their Convention commitments: joint implementation, emissions trading and the Clean Development Mechanism (CDM). The CDM is defined in Article 12 of the Kyoto Protocol and refers to climate change mitigation by industrialized and developing countries (Mexico's status). The CDM is based on the fact that greenhouse gases are causing climate changes that are evenly distributed in the atmosphere and therefore reducing and/or sequestering these gases anywhere in the world produces the same effect. The CDM thus allows industrialized countries committed to decreasing greenhouse gas emissions to make the reductions through projects in developing countries, but at a lower cost than they would pay for the same initiative back home. Under this system, then, developed countries can buy carbon credits by funding projects to capture or abate these gases in other nations and certifying such reductions as their own.

One of the important criteria for selecting carbon sequestration projects is that they have the essential component which is the presence of externalities,

de las emisiones de gases de efecto invernadero, efectuar las reducciones a través de proyectos en los países en desarrollo, con costos inferiores a los equivalentes en los países industrializados. Tal es el caso donde los países desarrollados pueden comprar bonos de carbono, financiando proyectos de captura o abatimiento de estos gases en otras naciones y acreditando tales disminuciones como propias.

Uno de los criterios importantes de selección de los proyectos sobre captura de carbono es contar con el componente indispensable que constituye la presencia de externalidades, el cual exige que los proyectos generen y activen el desarrollo local, brindando beneficio económico y social a los pobladores de las áreas forestales (Harmon, 2001).

Para proponer estrategias viables dirigidas a la mitigación del cambio climático, es imprescindible conocer la dinámica del carbono en los ecosistemas y las modificaciones a los flujos de este elemento derivadas de los patrones de cambio de uso de suelo. En este contexto, es indispensable contar con la información básica sobre las concentraciones de carbono en los diferentes almacenes de los ecosistemas.

En las estimaciones de la concentración de carbono almacenado para biomasa aérea se asume generalmente el valor de la fracción de carbono en materia seca en un 50 % sin diferenciar especies (IPCC, 1996; Brown, 1997; Houghton *et al.*, 1999; Brown, 1999). No obstante, diferentes estudios denotan la variabilidad de la concentración de carbono según la especie y tejido del árbol (Lin *et al.*, 2002; Peri *et al.*, 2004; Gayoso y Guerra, 2005; Figueroa *et al.*, 2005; Avendaño *et al.*, 2009).

Si bien en México existen otros trabajos sobre captura de carbono en diferentes ecosistemas (Maser *et al.*, 1995; Maser *et al.*, 1997; de Jong, *et al.*, 1999; Ordóñez y Maser, 2001; Maser *et al.*, 2001; Díaz *et al.*, 2007; Ordóñez *et al.*, 2008; Návar, 2008), en los ecosistemas del estado de Nuevo León se cuenta con poca información relativa a este tópico, por lo que se hace necesario iniciar trabajos tendientes a establecer las bases metodológicas para la medición del carbono capturado y la inventarización de esta variable, con fines de certificación, como una alternativa futura de generación de recursos económicos para los pobladores del área. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue determinar la concentración de carbono por unidad de biomasa aérea base peso seco de diez especies leñosas y para cada uno de los componentes (tallos, ramas, ramillas, hojas y corteza) del matorral espinoso tamaulipeco.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la reserva ecológica del Matorral - Escuela de la Facultad de Ciencias Forestales de

which requires that projects create and stimulate local development, providing social and economic benefits to the residents of the forest areas (Harmon, 2001).

To propose feasible strategies aimed at mitigating climate change, it is essential to know the carbon dynamics of an ecosystem and the modifications to the flows of this element arising from changing land-use patterns. In this context, it is essential to have the basic information on carbon concentrations in the different ecosystem stores.

In estimates of the carbon concentration stored in above-ground biomass, the carbon fraction of dry matter is generally assumed to be 50% without differentiating species (IPCC, 1996; Brown, 1997; Houghton *et al.* 1999; Brown, 1999). However, different studies denote that the variability in carbon concentration is based on tree species and tissue (Lin *et al.*, 2002; Peri *et al.* 2004; Gayoso and Guerra, 2005; Figueroa *et al.*, 2005; Avendaño *et al.*, 2009).

While in Mexico there have been other studies on carbon sequestration in different ecosystems (Maser *et al.* 1995; Maser *et al.* 1997; de Jong, *et al.* 1999; Ordóñez and Maser, 2001; Maser *et al.*, 2001; Díaz *et al.*, 2007; Ordóñez *et al.* 2008; Návar, 2008), there is little information available on this topic for ecosystems in the state of Nuevo Leon, which is why it is necessary to undertake work aimed at establishing the methodological basis for measuring the carbon captured and inventorying this variable, for certification purposes, as a future alternative for generating economic resources for area residents. Therefore, the objective of this study was to determine the carbon concentration per unit of above-ground biomass (dry weight basis) for ten woody species and each of their components (bole, branches, twigs, leaves and bark) in the Tamaulipan thornscrub.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in the Matorral ecological reserve managed by the Forestry School of the Autonomous University of Nuevo Leon. It is located in a subdivision of the Tamaulipan thornscrub of the Gulf Coastal Plain, in the municipality of Linares, Nuevo Leon, situated between 25° 09' and 24° 33' north latitude and 99° 54' and 99° 07' west longitude, at an altitude of 350 m.

Based on research conducted in the Tamaulipan thornscrub, 10 woody species with greater ecological importance value were selected for this study (Alanís *et al.*, 2008; Jiménez *et al.*, 2009) (Table 1).

It is important to note that this study was conducted in parallel with work on assessing the above-ground biomass of these species; the sampling method used the frequency table of diameter classes to determine the

la Universidad Autónoma de Nuevo León; ésta se encuentra en una fracción del matorral espinoso tamaulipeco de la Planicie Costera del Golfo, en el municipio de Linares, Nuevo León, situado entre las coordenadas 25° 09' y 24° 33' de la latitud norte, y 99° 54' y 99° 07' de longitud oeste, en una altitud de 350 m.

De acuerdo a investigaciones realizadas en el matorral espinoso tamaulipeco, para la presente investigación se seleccionaron las 10 especies leñosas con mayor valor de importancia ecológica (Alanís *et al.*, 2008; Jiménez *et al.*, 2009) (Cuadro 1).

CUADRO 1. Especies estudiadas.

TABLE. Species studied.

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Palo verde	<i>Cercidium macrum</i>
Gavia	<i>Acacia rigidula</i>
Vara dulce	<i>Eysenhardtia texana</i>
Anacahuíta	<i>Cordia boissieri</i>
Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>
Chapote	<i>Diospyros texana</i>
Tenaza	<i>Havardia pallens</i>
Panalero	<i>Forestiera angustifolia</i>
Coma	<i>Bumelia celastrina</i>
Huizache chino	<i>Acacia schaffneri</i>

Es importante destacar que el presente trabajo se realizó de forma paralela a trabajos de evaluación de la biomasa aérea de dichas especies, donde el método de muestreo que se empleó fue el de la tabla de frecuencias de clases diamétricas para determinar el número de individuos a muestrear por especie, asegurando al menos un individuo de cada especie por cada clase diamétrica con frecuencia de al menos tres individuos, considerando aspectos de no variación de exposición y libres de competencia por luz. Se escogieron de forma selectiva 45 individuos de las 10 especies para la determinación de la concentración de carbono.

Una vez elegidos los individuos, se realizaron dos tipos de mediciones. Las primeras con el individuo en pie, y las segundas una vez derribado. Previo al derribo de los individuos, se registró para cada árbol: número, especie, diámetro basal y altura.

Identificado el árbol o arbusto a procesar, se señaló la zona de caída de éste y se determinó la zona de procesado (área destinada para el desrame y troceo para la recolecta de las muestras) con el fin de habilitarla para el trabajo. A continuación se describen los pasos realizados: a) derribo del individuo, el corte se hizo lo más cerca posible del suelo; b) desrame y troceo, los árboles y arbustos se dividieron

number of individuals to sample per species, ensuring at least one individual of each species per diameter class with a frequency of at least three individuals, all of which had the same exposure and were free of competition for light. We selectively chose 45 individuals of the 10 species to determine carbon concentration.

Once the individuals were selected, two types of measurements were made: the first with the individual standing, the second after it had been felled. Prior to felling the individuals, the following was recorded for each tree: number, species, basal diameter and height.

After identifying the tree or shrub to process, the felling area of each one was noted and the processing site (area intended for delimiting and bucking for sample collecting) determined to enable the work to proceed. The following describes the steps taken: a) felling of the individual, with the cut being made as close as possible to the ground; b) delimiting and bucking, with the trees and shrubs being divided into their above-ground components: bole, branches, twigs (< 1 cm diameter) and leaves; c) sample collecting; bole: wood samples were selected from the radial section at 0.10 m, then packed in a paper bag with the species, number of individual and site recorded (this nomenclature was used for all samples); branches: samples from 1 cm in diameter were taken; twigs: samples of less than 1 cm in diameter were taken; leaves: samples were obtained at random; and bark: a portion of the section where the bole wood sample was taken was collected.

Each sample collected in the field was later weighed in the laboratory and then placed in a drying oven at a temperature of 105 °C to constant weight. Each sample was ground in a pulverizing mill and then deposited in a previously-marked plastic bag.

The carbon concentration was obtained using an O-I Analytical Solids TOC Analyzer, which determines the carbon concentration in solid samples by complete combustion at a temperature of 900 °C. Combustion-produced gases are measured by a non-dispersive infrared detector that counts the carbon molecules contained in these gases. The detection range of carbon concentration in the samples is from 50 µg to 30 mg of carbon with an accuracy of ± 15 µg of carbon. We analyzed a total of 675 subsamples of 225 samples of the 45 individuals.

A completely-randomized experimental design was used to analyze the results. The results were subjected to an analysis of variance (ANOVA) and, subsequently, Tukey's means comparison test (Statsoft, 2005).

RESULTS AND DISCUSSION

Carbon concentration (%) among the species

The analysis of variance determined no significant

en sus componentes aéreos: fuste, ramas, ramillas (< 1 cm diámetro) y hojas; c) recolecta de muestras; fuste: se seleccionaron las muestras de madera de la sección radial a 0.10 m; se empaquetó en una bolsa de papel y se identificaron la especie, número de individuo y sitio (esta nomenclatura se utilizó para todas las muestras); ramas: se tomaron muestras a partir de 1 cm de diámetro; ramillas: se tomaron muestras menores de 1 cm de diámetro; hojas: se obtuvieron muestras al azar, y corteza: se recolectó una porción de la sección donde se tomó la muestra de madera del fuste.

Recolectadas las muestras en campo, se procedió a pesar cada una de éstas en el laboratorio y posteriormente se colocaron en la estufa de secado a 105 °C de temperatura, hasta obtener un peso constante. Cada muestra se trituró en un molino pulverizador, depositándolas en bolsas de plástico previamente identificadas.

La concentración de carbono se determinó con un equipo analítico denominado Solids TOC Analyzer de O-I Analytical; éste determina la concentración de carbono en muestras sólidas mediante combustión completa, a una temperatura de 900 °C; los gases producto de la combustión son medidos a través de un detector infrarrojo no dispersivo que contabiliza las moléculas de carbono contenidas en estos gases. El intervalo de detección de concentración de carbono en las muestras va de 50 µg a 30 mg de carbono con una precisión de ± 15 µg de carbono. En total se analizaron 675 submuestras de 225 muestras de los 45 individuos.

El diseño experimental empleado para el análisis de los resultados fue completamente al azar. Los resultados se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y, posteriormente, a una prueba de comparación de medias a través de la prueba de Tukey (Statsoft, 2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de carbono (%) entre las especies

Con el análisis de varianza se determinó que no existen diferencias significativas entre la concentración de carbono de las diferentes especies ($P>0.05$), aquellas que obtuvieron el porcentaje menor fueron *Cordia boissieri*, *Acacia farnesiana* y *Cercidium macrum* con 44.25, 44.52 y 44.73 %, respectivamente. *Forestiera angustifolia* con 47.08 % resultó con el porcentaje mayor; la media general es de 45.4 % (Cuadro 2).

La concentración de carbono de la biomasa aérea por especie, resultó en todos los casos inferior al valor de 50 % sugerido por defecto por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre los Cambios Climáticos (IPCC, 1996); es asimismo menor a valores reportados por otros autores:

CUADRO 2. Concentración de carbono por especie (%).

TABLE 2. Carbon concentration per species (%).

Especie	$\bar{X} \pm \sigma$
<i>Cordia boissieri</i>	44.25 ± 1.52
<i>Acacia farnesiana</i>	44.52 ± 1.37
<i>Cercidium macrum</i>	44.73 ± 1.52
<i>Acacia rigidula</i>	44.98 ± 1.38
<i>Eysenhardtia texana</i>	46.06 ± 1.37
<i>Diospyros texana</i>	45.22 ± 1.24
<i>Acacia schaffneri</i>	45.49 ± 1.42
<i>Bumelia celastrina</i>	46.25 ± 1.52
<i>Havardia pallens</i>	46.49 ± 1.36
<i>Forestiera angustifolia</i>	47.08 ± 1.27

σ = desviación estándar

σ = standard deviation

differences in carbon concentration among the different species ($P>0.05$). Those that obtained the lowest percentage were *Cordia boissieri*, *Acacia farnesiana* and *Cercidium macrum* with 44.25, 44.52 and 44.73 %, respectively. *Forestiera Angustifolia* with 47.08 % had the highest percentage; the overall average was 45.4 % (Table 2).

The carbon concentration in above-ground biomass per species was in all cases lower than the 50% default value suggested by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1996). It is also lower than values reported by other authors: Francis (2000) notes a range of 48.9 to 54.9 % for 20 species in sapling-stage secondary forests in Puerto Rico; Peri *et al.* (2004) cite a 48.9 % average for a lenga beech forest (*Nothofagus pumilio*) in Argentina; Figueroa *et al.* (2005) report a range of 47.3 to 51.3 % for six species in the tropical rainforest zone of the Sierra Norte de Oaxaca, Mexico. Other authors cite similar values to those found in this study: Lin *et al.* (2002) report a variability of 45.69 to 51.84 % for 47 timber species (24 native and 23 exotic species) in Jilin province in NE China; Gayoso and Guerra (2005) note a range of 34.86 to 48.31 % for 16 native forest species in Chile; and Avendaño *et al.* (2009) report 46.48 % for *Abies religiosa* forests in the state of Tlaxcala, Mexico.

Carbon concentration (%) per component for all species

Highly significant differences among the components of all species were obtained ($P<0.0001$). Tukey's means comparison test ($\alpha=0.05$) determined that the bark component is statistically different as it has a lower carbon concentration value (42.08 %) than the other components; bole, branches and twigs showed no statistically significant differences, forming an intermediate group. There were statistically significant differences between the leaf

Francis (2000) señala un intervalo de 48.9 a 54.9 % para 20 especies en bosques secundarios en estado de latizal en Puerto Rico; Peri *et al.* (2004) obtienen un promedio de 48.9 %, para un bosque de ñire (*Nothofagus pumilio*) en Argentina; Figueroa *et al.* (2005) reportan un intervalo de 47.3 a 51.3 % para seis especies en el bosque tropical de zona lluviosa de la Sierra Norte de Oaxaca, México. Otros autores citan valores similares a los encontrados en este estudio: Lin *et al.* (2002) con una variabilidad de 45.69 a 51.84 % para 47 especies maderables (24 especies nativas y 23 especies exóticas) de la provincia Jilin en el NE de China; a su vez, Gayoso y Guerra (2005) para 16 especies de bosques nativos de Chile, refieren de 34.86 a 48.31 %, y Avendaño *et al.* (2009) para bosques de *Abies religiosa* en el estado de Tlaxcala, México, de 46.48 %.

Concentración de carbono (%) por componente de todas las especies

Se obtuvieron diferencias altamente significativas entre los componentes de todas las especies ($P < 0.0001$). La prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) determinó que el componente corteza es estadísticamente diferente y con un valor inferior (42.08 %) a la concentración de carbono de los otros componentes; tallo, ramas y ramillas no mostraron diferencias estadísticamente significativas, formando un grupo intermedio; el componente hojas tuvo diferencias estadísticamente significativas con los demás, ya que presenta la concentración de carbono más alta, con un valor promedio de 48.14 % (Cuadro 3).

CUADRO 3. Concentración de carbono por componente de todas las especies (%).

TABLE 3. Carbon concentration per component for all species (%).

Componente	$\bar{X} \pm \sigma$
Corteza	42.08 \pm 0.42 a
Ramillas	45.70 \pm 0.39 b
Ramas	45.73 \pm 0.35 b
Tallo	45.93 \pm 0.37 b
Hojas	48.14 \pm 0.60 c

σ = desviación estándar

σ = standard deviation

Medias con la misma letras dentro de columnas son similares, de acuerdo con la prueba de Tukey a una $\alpha = 0.05$.

Means with the same letters within columns are similar, according to Tukey's test at $\alpha = 0.05$.

La concentración de carbono promedio en tallo, ramas, ramillas y corteza de las especies de este estudio, fue más baja que las determinadas por Francis (2000) para otras especies en Puerto Rico, con valores de 52.07 % (promedio de tallo, ramas y ramillas) y 49.63 % (corteza); a su vez son similares a los reportados por Gayoso y Guerra (2005) en Chile de 44.38 % (tallo), 43.17 % (promedio

component and the others, as the former has the highest carbon concentration, with an average value of 48.14% (Table 3).

The average carbon concentration in bole, branches, twigs and bark of the species in this study was lower than those determined by Francis (2000) for other species in Puerto Rico, with values of 52.07 % (average of stem, branches and twigs) and 49.63 % (bark). On the other hand, they are similar to those reported by Gayoso and Guerra (2005) in Chile: 44.38 % (bole), 43.17 % (average for branches and twigs) and 43.52 % (bark). Francis (2000) obtained 51.67 % for leaves in Puerto Rico, a value higher than that of this study. For their part, Gayoso and Guerra (2005) report a lower value of 43.52 % for this component in Chile.

Carbon concentration (%) among species and among components

The significance test (ANOVA) of the interaction among the components and species showed that there is a highly significant interaction ($P < 0.0001$) among them, which determines that both factors are not independent, i.e., the carbon concentration in the above-ground biomass components varies with species (Table 4).

With regard to the leaf component, the species *Cordia boissieri* is the one with the lowest carbon concentration (43.09 %) compared to that of other species, which varies from 46.55 to 50.14 %. The stem, branch and twig components show a very close relationship in each of the species, as they present a similar trend (Table 4).

On the other hand, there is a wide range of variation in carbon concentration among the components of the species, which ranges from 39.62 % in the bark component of *Cordia boissieri* to 50.14 % in the leaves of *Acacia schaffneri*, meaning a range of 10.52 % (Table 4), while Gayoso and Guerra (2005) found a greater range, 13.45 %, in 16 forest-type native species of evergreen and Oak-Raulí-Coigüe in Chile; similarly, Francis (2000) found a 12.1 % variation in 20 species of sapling-stage secondary forests in Puerto Rico.

One of the most extensive studies conducted in Australia by Gifford (2000) indicates that carbon concentration in woody components depends on the proportion of compounds such as lignin and inorganic minerals. As lignin and mineral content differs among different tree tissues, it is to be expected that the various components will have different carbon concentrations. Several authors (Ascencio, 1982; Peñuelas and Lluís, 2003) note that the variability in the carbon concentration in the leaves depends on their anatomical characteristics, physiological processes such as photorespiration, carboxylation and oxygenation,

CUADRO 4. Concentración de carbono de los componentes de las especies (%).

TABLE 4. Carbon concentration in the components of the species (%).

Especie	Componente									
	Tallo		Ramas		Ramillas		Corteza		Hojas	
	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ	\bar{X}	σ
Cb	46.43	0.66	46.22	2.11	45.90	0.86	39.62	0.70	43.09	2.04
Af	45.83	2.68	43.57	2.92	43.81	0.09	41.33	2.76	48.06	1.60
Cm	45.87	2.19	45.85	3.68	45.50	1.44	39.90	0.75	46.55	5.40
Ar	44.89	0.99	44.95	0.77	44.22	1.47	41.74	1.83	49.19	1.77
Et	46.54	0.42	45.09	2.02	44.89	1.69	42.32	1.84	46.54	1.71
Dt	45.51	2.38	45.94	3.42	45.87	2.30	41.44	1.87	47.32	2.60
As	44.44	0.58	44.75	0.97	44.99	1.22	43.12	3.47	50.14	1.21
Bc	46.29	1.83	46.64	0.95	47.01	3.24	41.71	0.31	49.59	3.05
Hp	47.45	1.14	46.81	2.01	46.21	1.40	43.47	1.26	48.23	3.73
Fa	47.39	3.21	46.46	1.53	48.13	2.80	43.60	1.64	49.82	2.66

σ = desviación estándar. Cb= *Cordia boissieri*, Af= *Acacia farnesiana*, Cm= *Cercidium macrum*, Ar= *Acacia rigidula*, Et= *Eysenhardtia texana*, Dt= *Diospyros texana*, As= *Acacia schaffneri*, Bc= *Bumelia celastrina*, Hp= *Havardia pallens*, Fa= *Forestiera angustifolia*

σ = standard deviation. Cb= *Cordia boissieri*, Af= *Acacia farnesiana*, Cm= *Cercidium macrum*, Ar= *Acacia rigidula*, Et= *Eysenhardtia texana*, Dt= *Diospyros texana*, As= *Acacia schaffneri*, Bc= *Bumelia celastrina*, Hp= *Havardia pallens*, F= *Forestiera angustifolia*

para ramas y ramillas) y 43.52 % (corteza). Francis (2000) determinó 51.67 % para las hojas en Puerto Rico, valor que resultó mayor al del presente estudio; por su parte, Gayoso y Guerra (2005) señalan un valor inferior de 43.52 % para este mismo componente, en Chile.

Concentración de carbono (%) entre especies y entre componentes

La prueba de significancia (ANAVA) de la interacción entre los componentes y especies, arrojó que existe una interacción altamente significativa ($P < 0.0001$) entre éstos, con lo que se determina que ambos factores no son independientes, es decir, que la concentración de carbono en los componentes de la biomasa aérea varía con la especie (Cuadro 4).

En cuanto al componente hojas, la especie *Cordia boissieri* es la que presenta la menor concentración de carbono (43.09 %), en comparación con el de las demás especies, donde varía de 46.55 hasta 50.14 %. Los componentes tallo, ramas y ramillas muestran una relación muy estrecha en cada una de las especies, pues presentan una tendencia similar (Cuadro 4).

Por otra parte, se observa que hay un amplio intervalo de variación en la concentración de carbono entre los componentes de las especies, el cual va de 39.62 %, en el componente corteza de *Cordia boissieri*, a 50.14 % en las hojas de *Acacia schaffneri*, significando un intervalo de 10.52 % (Cuadro 4); mientras que Gayoso y Guerra (2005) encontraron un intervalo de variación mayor, en 16 especies nativas de los tipos forestales Siempreverde y Roble-Raulí-Coigüe en Chile, de 13.45 %; de la misma manera, Francis (2000) encontró una variación de 12.1

the balance or ratio between enzyme activities and temperature changes.

CONCLUSIONS

The carbon concentration in the species ranged from 44.25±1.52 % (*Cordia boissieri*) to 47.08±1.27 % (*Forestiera angustifolia*), and that of the components of all the species from 48.14±0.60 % (leaves) to 42.08±0.42 % (bark). The bark component of *Cordia boissieri* had the lowest carbon concentration percentage (39.62±0.70 %), and the leaves of *Acacia schaffneri* the highest (50.14±1.21 %).

The carbon concentration values found for the species studied here are lower than the value recommended by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1996), which is 50% applied to biomass to determine total carbon and which is generalized for all species. This method may overestimate the carbon sequestered by some ecosystems; for this reason, we recommend using the appropriate values corresponding to the species or species groups. A more accurate figure for carbon concentration in the above-ground biomass in the Tamaulipan thornscrub would be 45.4±1.32 %.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks go to the National Science and Technology Council (known by the acronym CONACYT in Mexico) for granting a scholarship to the lead author to study a master's degree in forestry.

End of English Version

% en 20 especies de bosques secundarios en estado de latizal en Puerto Rico.

Uno de los estudios más extensos realizados en Australia por Gifford (2000), señala que la concentración de carbono en componentes leñosos dependerá de la proporción de compuestos como la lignina y minerales inorgánicos. Como los contenidos de lignina y minerales difieren entre los distintos tejidos del árbol, es de esperarse que los diversos componentes presenten distintas concentraciones de carbono. Diversos autores (Ascencio, 1982; Peñuelas y Lluís, 2003) mencionan que la variabilidad en la concentración de carbono en las hojas depende de sus características anatómicas, de los procesos fisiológicos como la fotorrespiración, carboxilación y oxigenación, del balance o razón entre las actividades de las enzimas y de los cambios de la temperatura del ambiente.

CONCLUSIONES

La concentración de carbono en las especies varió de 44.25 ± 1.52 % (*Cordia boissieri*) a 47.08 ± 1.27 % (*Forestiera angustifolia*) y la de los componentes de todas las especies, de 48.14 ± 0.60 % (hojas) a 42.08 ± 0.42 % (corteza). El componente corteza de *Cordia boissieri* obtuvo el menor porcentaje de concentración de carbono (39.62 ± 0.70 %), y las hojas de *Acacia schaffneri* el mayor (50.14 ± 1.21 %).

Los valores de concentración de carbono encontrados para las especies aquí estudiadas, son menores al valor que recomienda el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre los Cambios Climáticos (IPCC, 1996), que es del 50 % aplicado a la biomasa para determinar el carbono total y que lo generaliza para todas las especies. De esta manera podría sobrestimar el carbono capturado para algunos ecosistemas; por tal motivo, se recomienda utilizar los valores adecuados según corresponda a la especie o grupos de especies. Una cifra más precisa de concentración de carbono en la biomasa aérea del matorral espinoso tamaulipeco, sería 45.4 ± 1.32 %.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada al primer autor para realizar estudios de Maestría en Ciencias Forestales.

LITERATURA CITADA

ALANÍS, E.; JIMÉNEZ, J.; AGUIRRE, O.; TREVIÑO, E.; JURADO, E.; GONZÁLEZ, M. 2008. Efecto del uso del suelo en la fitodiversidad del matorral espinoso tamaulipeco. Revista Ciencia UANL 11(1): 56-62.

ASCENCIO, J. 1982. Mecanismos fotosintéticos en plantas con fotosíntesis intermedia C3-C4 y en plantas acuáticas. Revista de la Facultad de Agronomía (Maracay) XII (3-4): 267-282.

AVENDAÑO, D.; ACOSTA, M.; CARRILLO, F.; ETCHEVERS, J. 2009. Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. Fitotecnia Mexicana 32(3): 233-238.

BROWN, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a Primer. FAO Forestry Paper 134. Roma, Italia. 55 p.

BROWN, S. 1999. Guidelines for inventorying and monitoring carbon offsets in forest-based projects. Winrock International for the World Bank. Arlington, Virginia, E.U.A. 11 p.

DE JONG, B. H. J.; CAIRNS, M. A.; HAGGERTY, P. K.; RAMÍREZ, M. N.; OCHOA, G. S.; MENDOZA, V. J.; GONZÁLEZ, E. M.; MARCH, M. I. 1999. Land-use change and carbon flux between 1970s and 1990s in the central highlands of Chiapas, México. Environmental Management 23(3): 373-385.

DÍAZ, F. R.; ACOSTA, M. M.; CARRILLO, F. A.; BUENDÍA, E. R.; FLORES, E. A.; ETCHEVERS, J. D. B. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. Madera y Bosques 13(1): 25-34.

DIXON, R. K.; BROWN, S.; HOUGHTON, R. A.; SOLOMON, A. M.; TREXLER, M. C.; WISNIEWSKI, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science 263(5144): 185-190.

FIGUEROA, C.; ETCHEVERS, J. D.; VELAZQUEZ, A.; ACOSTA, M. 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. Terra Latinoamericana 23: 57-64.

FRANCIS, J. 2000. Estimating Biomass and Carbon Content of Saplings in Puerto Rican Secondary Forests. Caribbean Journal of Science 36(3-4): 346-350.

GARDUÑO, R. 2004. ¿Qué es el efecto invernadero?. In: Cambio climático: una visión desde México. Martínez J. y Fernández A. (eds.) INE-SEMARNAT. México, D.F. pp 29-39.

GAYOSO, J.; GUERRA, J. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. Bosque 26(2): 33-38.

GIFFORD, R. 2000. Carbon contents of above-ground tissues of forest and woodland trees. Canberra: Australian Greenhouse Office, National Carbon Accounting System, Technical Report N° 22. 17 p.

HARMON, M. E. 2001. Carbon sequestration in forests. Journal Forestry 99(4): 24-29.

HOUGHTON, R. A.; HACKLER, J. L.; LAWRENCE, K. T. 1999. The U.S. carbon budget: Contributions from land-use change. Science 285: 574-577.

HOUGHTON, R. A.; WOODWELL, C. M. 1989. Global climate change. Scientific American 260(4): 36-40.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1996. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.

JIMÉNEZ, J.; ALANÍS, E.; AGUIRRE, O.; PANDO, M.; GONZÁLEZ, M. 2009. Análisis sobre el efecto del uso del suelo en la diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco. Madera y Bosques 15(3): 5-20.

LASHOF, D. A.; AHUJA, D. R. 1990. Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming. Nature 344(5): 529-531.

LIN, Y. J.; LIU, C. P.; LIN, J. C. 2002. Measurement of specific gravity and carbon content of important timber species in Taiwan. Journal of Forest Science 17(3): 291-299.

MASERA, O. 1995. Carbon mitigation scenarios for Mexican forest: Methodological considerations and results. Interciencia 20(6): 388-395.

- MASERA, O.; BELLON, M.; SEGURA, G. 1995. Forest management options for sequestering carbon in Mexico. *Biomass & Bioenergy* 8: 357-367.
- MASERA, O.; ORDÓÑEZ, A.; DIRZO, R. 1997. Carbon emissions from Mexican forest: current situation and long-term scenarios. *Climatic Change* 35: 265-295.
- MASERA, O.; CERÓN, A.; ORDÓÑEZ, A. 2001. Forestry mitigation options for Mexico: finding synergies between national sustainable development priorities and global concerns. *Mitigation Adaptation Strategies Global Change* 6: 291-312.
- NÁVAR, J. CH. 2008. Carbon fluxes resulting from land-use changes in the Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. *Carbon Balance and Management* 3:6 Doi 10.1186/1750-0680-3-6.
- ORDÓÑEZ, A.; MASERA, O. 2001. La captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7(1): 3-12.
- ORDÓÑEZ, A.; DE JONG, B. H. J.; GARCÍA, F. O.; AVIÑA, F. L.; PÉREZ, J. V.; GUERRERO, G.; MARTÍNEZ, R.; MASERA, O. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, México. *Forest Ecology and Management* 255(7): 2074-2084.
- PEÑUELAS, J.; LLUISÁ, J. 2003. Emisiones biogénicas de COVs y cambio global. ¿Se defienden las plantas contra el cambio climático? *Ecosistemas* 1: 1-7.
- PERI, P.; VIOLA, M.; MARTÍNEZ, G. 2004. Estimación de biomasa y secuestro de carbono en bosques nativos de ñire (*Nothofagus antarctica*) en Patagonia Sur. *Publicación Técnica Forestal* 24, Convenio INTA-UNPA-CAP. Argentina. 9 p.
- PIMIENTA, D.; DOMÍNGUEZ, G.; AGUIRRE, O.; JAVIER, F.; JIMÉNEZ, J. 2007. Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* Blanco, en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques* 13(1): 35-46.
- RODRÍGUEZ, R.; JIMÉNEZ, J.; MEZA, J.; AGUIRRE, O.; RAZO, R. 2008. Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 4(2): 215-222.
- STATSOFT. 2005. *Statistica (Data Analysis Software System)*. Version 7.1. CD-ROM.