



CONCENTRACIÓN DE CARBONO EN ESPECIES DEL BOSQUE DE PINO-ENCINO EN LA SIERRA MADRE ORIENTAL

CARBON CONCENTRATION IN PINE-OAK FOREST SPECIES OF THE SIERRA MADRE ORIENTAL

Javier Jiménez Pérez¹, Eduardo Javier Treviño Garza¹ y José Israel Yerena Yamalle¹

RESUMEN

Se analizó la concentración de carbono total por unidad de biomasa base peso seco en las partes aéreas de las especies representativas del ecosistema bosque de pino - encino, en la Sierra Madre Oriental. Los componentes considerados fueron fuste, ramas, corteza y hojas de *Pinus pseudostrobus*, *Juniperus flaccida*, *Quercus laceyi*, *Quercus rysophylla*, *Quercus canbyi* y *Arbutus xalapensis*. La concentración de carbono se determinó con un equipo *Solids TOC Analyzer* que analiza las concentraciones en muestras sólidas mediante combustión completa. La especie con los valores más altos fue *Juniperus flaccida* con 51.18%, mientras que *Quercus rysophylla* presentó el menor con 47.98%; el componente con mayor concentración de carbono resultó ser las hojas de *Arbutus xalapensis* con 55.05% y el más bajo fue la corteza de *Quercus laceyi* con 43.65%. En la concentración de carbono promedio por grupo de especies, se observaron diferencias altamente significativas; de ellas el de coníferas tuvo una media de 50.76%, y el de las latifoliadas de 48.85%. Para componentes por grupo de taxa se determinaron diferencias altamente significativas, la corteza de coníferas con 51.91% fue el de concentración más alta en comparación la corteza de latifoliadas con 45.75%, que fue el más bajo. *Arbutus xalapensis*, se agrupa dentro de las coníferas; por lo tanto, generalizar la concentración de carbono total podría proporcionar subestimación o sobrestimación del carbono capturado en los ecosistemas forestales.

Palabras clave: Biomasa aérea, bosque de pino-encino, concentración de carbono, *Juniperus flaccida* Schtdl., *Quercus* spp., Sierra Madre Oriental.

ABSTRACT

The carbon concentration was analyzed per unit of dry weight based biomass in the components of the above-ground biomass of the representative species of the pine-oak forest ecosystem of the Sierra Madre Oriental. The components of the above-ground biomass considered were stem, branches, bark and leaves of the species *Pinus pseudostrobus*, *Juniperus flaccida*, *Quercus laceyi*, *Quercus rysophylla*, *Quercus canbyi* and *Arbutus xalapensis*. The carbon concentration was determined using a *Solids TOC Analyzer*, which analyzes the carbon concentrations in solid samples by complete combustion. The species with the highest carbon concentration was *Juniperus flaccida* (51.18%), while *Q. rysophylla* had the lowest (47.98%); the component with the highest carbon concentration was the leaves of *Arbutus xalapensis* (55.05%), while the bark of *Quercus laceyi* had the lowest (43.65%). Highly significant differences were observed for the average carbon concentration by group of species; the group conifers showed an average of 50.76%, while that of the broadleaf species was 48.85%. There were highly significant differences between the various components by species group; the highest concentration was found in the bark of conifers (51.91%), compared to the bark of the broadleaf species, which had the lowest (45.75%).

Key words: Above-ground biomass, carbon concentration, *Juniperus flaccida* Schtdl., pine-oak forest, *Quercus* spp., Sierra Madre Oriental.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático inducido por la actividad antropogénica que resulta en el incremento de los gases de efecto de invernadero (GEI), principalmente el CO₂, hoy se percibe como uno de los más grandes desafíos ambientales a nivel mundial (Ordóñez y Maser, 2001). La gama de sus posibles efectos nocivos en la agricultura y la productividad de los bosques se ha incrementado, y por consecuencia ha generado un gran debate de cómo reducir los GEI que se emiten a la atmósfera por la actividad industrial y las prácticas de manejo de la tierra (Alig *et al.*, 2002); sin embargo, los que formulan políticas internacionales están esforzándose por diseñar formas de mitigar los daños del aumento en las concentraciones de GEI (Lee *et al.*, 2002). Al respecto, se destaca la importancia de los bosques para paliar las emisiones de CO₂, mediante el desarrollo de proyectos encaminados a la captura de carbono, a través del proceso natural de la fotosíntesis.

En esencia la fotosíntesis es el único mecanismo de entrada de energía para la biósfera. El proceso global es una oxidación de agua, eliminación de electrones con liberación de oxígeno como subproducto, y una reducción de CO₂ para formar compuestos orgánicos tales como los carbohidratos (Salisbury y Ross, 1994). El ciclo del carbono entre el suelo, atmósfera y los reservorios bióticos es mediado por la fotosíntesis y la respiración (Lal, 2001). Las plantas superiores adquieren el bióxido de carbono atmosférico por difusión a través de los estomas, es transportado a los sitios donde se realiza la fotosíntesis para convertirlos en carbohidratos; la otra parte regresa a la atmósfera por medio de la respiración (Jaramillo, 2004).

La biomasa es el importe global de materia orgánica que está sobre la tierra en los árboles, expresada como las toneladas de materia-seca por unidad de área (Brown, 1997). Por consiguiente, representa la cantidad potencial de carbono que puede agregarse a la atmósfera como anhídrido carbónico, cuando el bosque se desforesta o se quema.

La evaluación de la biomasa de los bosques proporciona estimaciones de los almacenes del carbono en la vegetación, dado que aproximadamente 50% de esta es carbono (IPCC, 1996; Brown, 1997). Sin embargo, diferentes estudios denotan la variabilidad de su contenido en la biomasa aérea, en función de la especie y el tejido del árbol (Gayoso y Guerra, 2005; Yerena *et al.*, 2012a; Yerena *et al.*, 2012b); por ejemplo, algunos autores citan un intervalo de 45 a 50% de su peso seco (Houghton *et al.*, 1999); mientras que otros diferencian entre maderas blandas (52.1%) y maderas duras (49.1%) (Birdsey y Heath, 2001).

En el presente trabajo se destaca la importancia de estimar la concentración de carbono total por unidad de biomasa base peso seco, en los diferentes componentes aéreos de las especies representativas del bosque de pino - encino en la Sierra Madre Oriental; además se determina la concentración promedio

INTRODUCTION

The climate change induced by anthropogenic activity resulting in the increase of greenhouse gases (GG), primarily CO₂, is perceived today as one of the biggest environmental challenges worldwide (Ordóñez and Maser, 2001). The range of its potential harmful effects on agriculture and the productivity of the forests has increased and therefore has brought about much discussion regarding ways to reduce the GG issued into the atmosphere as a consequence of industrial activity and land management practices (Alig *et al.*, 2002). International policy makers are carrying out efforts to design ways of abating the damages caused by the increase of GG concentrations (Lee *et al.*, 2002). In this respect the importance of the forests and woods for the abatement of CO₂ emissions is highlighted through the development of projects aimed at enhancing carbon sequestration through the natural photosynthesis process.

Essentially, photosynthesis is the only energy input mechanism of the biosphere. The global process consists of water oxidation, disposal of electrons, with oxygen release as a subproduct, and a reduction of CO₂ to form organic compounds such as carbohydrates (Salisbury and Ross, 1994). The carbon cycle among soil, atmosphere, and the biotic reservoirs is mediated by photosynthesis and by breathing (Lal, 2001). Higher plants acquire atmospheric carbon dioxide by diffusion through the stomas; this is then transported to those places where photosynthesis occurs and is turned into carbohydrates; the remaining part returns to the atmosphere through breathing (Jaramillo, 2004).

Biomass is the total amount of organic matter that is above the earth in trees, expressed as tons of dry matter per unit of area (Brown, 1997). It therefore represents the potential amount of carbon that may be added to the atmosphere as carbon anhydride when a forest is deforested or burnt by fire.

The evaluation of forest biomass provides estimates of carbon stores in the vegetation, since approximately 50% of this consists of carbon (IPCC, 1996; Brown, 1997). However, various studies indicate the variability of its content in the above-ground biomass, in terms of the species and of tree tissue (Gayoso and Guerra, 2005; Yerena *et al.*, 2012a; Yerena *et al.*, 2012b). For instance, some authors quote an interval of 45 to 50% of its dry weight (Houghton *et al.*, 1999), while others differentiate between soft (52.1%) and hard (49.1%) woods (Birdsey and Heath, 2001).



por taxon y, por grupo de especies, ya que es un elemento que contribuye de manera confiable sobre el cálculo del carbono almacenado en los ecosistemas forestales. Este tipo de investigaciones permitirán determinar de manera más precisa las densidades de carbono asociadas a las distintas clases de vegetación (Ordóñez y Masera, 2001).

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubica en la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental y subprovincia Gran Sierra Plegada (INEGI, 1986), en el Bosque-Escuela de la Universidad Autónoma de Nuevo León, con una superficie de 1 008 ha; ubicada a 50 km al sur-oeste de la ciudad de Linares, Nuevo León, México. Geográficamente está situada en las coordenadas 24° 43' 00" de latitud norte y 99° 52' 00" de longitud oeste, con una altura sobre el nivel del mar de 1 600 m. El tipo de suelo predominante pertenece a la clase Kastañozem cálcico, de textura limosa en el suelo superficial y arcillo limosa en el subsuelo, con altos concentraciones de nutrientes minerales: K, Fe, Mn y Cu y bajos de Zn y P. El pH es moderadamente alcalino de 7.5 a 8.5, con reducidos contenidos de materia orgánica y de nitrógeno. El tipo de clima que caracteriza al área es C (w_0), templado subhúmedo con lluvias en verano; con temperatura y precipitación promedio anual de 13.9 °C y 639 mm, respectivamente.

Las especies que se consideraron corresponden a las determinadas por Jiménez *et al.* (2001), quienes consignaron como representativas de este tipo de ecosistema a *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Juniperus flaccida* Schltdl., *Quercus rysophylla* Weath., *Quercus canbyi* Trel., *Quercus laceyi* Small y *Arbutus xalapensis* HBK., en función de su abundancia, dominancia y frecuencia.

Para analizar la concentración de carbono total en la biomasa aérea por componente: hojas, ramas, corteza y fuste, y por especie se adoptó la metodología aplicada por Gayoso (2001). Se hizo un muestreo por individuo de las categorías diamétricas de 5 cm a 40 cm para *Pinus pseudostrobus*, *Juniperus flaccida*, *Q. rysophylla* y *Q. canbyi*; hasta las categorías de 35 y 20 cm para *Q. laceyi* y *Arbutus xalapensis*, respectivamente. Así se conformaron dos grupos: 16 árboles para las coníferas y 27 para las latifoliadas (Cuadro 1).

This paper highlights the importance of estimating the total carbon concentration per unit of dry weight based biomass in the different above-ground components of species representative of the pine-oak forests of the Sierra Madre Oriental; besides, the average concentration is determined by taxon and by species group, since it is an element that contributes reliably to the estimation of the carbon stored in forest ecosystems. This kind of research will allow a more accurate determination of carbon densities associated to the various classes of vegetation (Ordóñez and Masera, 2001).

MATERIALS Y METHODS

The study area is located in the Sierra Madre Oriental physiographic province and the Gran Sierra Plegada sub-province (INEGI, 1986), in the School-Forest of Universidad Autónoma de Nuevo León, with a surface of 1 008 ha, 50 km southwest of Linares, Nuevo León, Mexico. Geographically, it is located at a latitude of 24° 43' 00" North and a longitude of 99° 52' 00" West, with an altitude above sea level of 1 600m. The predominant type of soil belongs to the Kastanozem calcium class, with a silty texture in the soil surface and a clayey/silty texture in the subsoil, and contains high concentrations of certain mineral nutrients -K, Fe, Mn and Cu- and low concentrations of Zn and P. The pH is moderately alkaline, ranging between 7.5 and 8.5, with low contents of organic matter and nitrogen. The characteristic climate of the area is C (w_0), subhumid and temperate, with summer rains, and with an average annual temperature and precipitation of 13.9 °C and 639 mm, respectively.

The various species considered herein correspond to those determined by Jiménez *et al.* (2001), who registered *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Juniperus flaccida* Schltdl., *Quercus rysophylla* Weath., *Quercus canbyi* Trel., *Quercus laceyi* Small and *Arbutus xalapensis* HBK. as representative of this type of ecosystem, due to their abundance, predominance and frequency.

In order to analyze the total carbon concentration in the above-ground biomass by component -leaves, branches, bark, and stem- and by species, the methodology applied by Gayoso (2001) was adopted. Sampling by individuals of diameter categories of 5-40 cm was carried out for *Pinus pseudostrobus*, *Juniperus flaccida*, *Q. rysophylla* and *Q. canbyi*, and of categories of 35-20 cm, for *Q. laceyi* and *Arbutus xalapensis*, respectively. Thus, two groups were formed: 16 trees for conifers and 27 for broadleaf species (Table 1).

Once the tree was selected within the respective diameter category, it was felled and divided into its various components: bark, leaves, branches, and stem. The samples were collected as follows: leaves - samples were taken from each cardinal direction of the treetop and were packaged in a paper bag, and the species and diameter category were identified; branches - slices with a maximum thickness of 1 cm were taken from each cardinal direction of the tree top and were labeled with the same



Cuadro 1. Número de muestras por especie y por componente aéreo.
Table 1. Number of samples by species and by above-ground component.

Especie	Núm. de árboles	Muestras por componente				Total
		Corteza	Hojas	Ramas	Fuste	
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	8	8	8	8	8	32
<i>Juniperus flaccida</i> Schlttdl.	8	8	8	8	8	32
<i>Quercus laceyi</i> Weath.	7	7	7	7	7	28
<i>Quercus rysophylla</i> Weath.	8	8	8	8	8	32
<i>Quercus canbyi</i> Trel.	8	8	8	8	8	32
<i>Arbutus xalapensis</i> HBK.	4	4	4	4	4	16
Total	43	43	43	43	43	172

Seleccionado el árbol en la respectiva categoría diamétrica se procedió a su derribo y se dividió en sus distintos componentes: corteza, hojas, ramas y fuste. La recolecta de las muestras se efectuó de la siguiente manera: hojas, se tomó la muestra en cada uno de los cuatro puntos cardinales de la copa, se empaquetó en una bolsa de papel y se identificó la especie y categoría diamétrica; ramas, se tomaron discos de 1 cm de espesor máximo en los cuatro puntos cardinales de la copa, se etiquetaron con la misma nomenclatura utilizada para las hojas; fuste, se seleccionaron las muestras de madera de la sección radial a 1.30 m, de 1 cm de espesor; corteza, se recolectó una porción en cada lugar que se tomó la muestra de madera del fuste.

Las muestras se pesaron individualmente y se colocaron en una estufa de secado VWR modelo 1305U a 105 °C, hasta obtener un peso constante; en seguida, se fragmentaron en un molino pulverizador *Fritsch* modelo *pulverisette 2*, para dejarlas en fracciones menores de 10 µ, que fueron depositadas en bolsas de plástico, previa identificación.

La concentración de carbono total se obtuvo con un equipo *Solids TOC Analyzer* modelo 1020A de *O-I-Analytical*, que analiza muestras sólidas mediante combustión completa, a una temperatura de 900 °C, los gases resultantes son medidos a través de un detector de infrarrojo no dispersivo que contabiliza las moléculas de carbono contenidas en ellos.

El análisis de los datos de laboratorio se llevó a cabo con el programa estadístico *Statistica Advanced*. Para determinar si existían diferencias significativas entre los componentes de la biomasa aérea de las especies y determinar la interacción entre los tratamientos, se establecieron dos factores (tratamientos): especies y componentes, y dentro del factor especies seis niveles: *Pinus pseudostrobus*, *Juniperus flaccida*, *Quercus rysophylla*, *Q. canbyi*, *Q. laceyi* y *Arbutus xalapensis*; para el factor componente se definieron cuatro: fuste, ramas, hojas y corteza. Se utilizó un diseño experimental factorial 6 x 4, con 24 interacciones de tratamientos.

De esta manera, para determinar, si existen diferencias significativas en la concentración de carbono entre los componentes de la

nomenclature used for the leaves; stem - 1 cm thick samples of wood from the radial section were taken at a height of 1.30 m; bark - a portion was collected from each place from which a stem wood sample was taken.

The samples were weighed individually and were placed on a 1305U model VWR drying stove at a temperature of 105 °C, until a constant weight was attained. They were then ground in a *Fritsch Pulverisette 2* pulverizing mill into fragments of less than 10 µ, which were subsequently identified and placed in plastic bags.

The total carbon concentration was obtained with an *O-I-Analytical* model 1020A *Solids TOC Analyzer*, which analyzes solid samples by complete combustion, at a temperature of 900 °C. The resulting gases are measured with a non-dispersive infrared detector, which counts the carbon molecules contained in them.

The analysis of laboratory data was performed using *Statistica Advanced* software. In order to determine whether there were significant differences between the components of the above-ground biomass of the species and to determine the interaction between the treatments, two factors (treatments) -species and components- were established, and the species factor was divided into six levels: *Pinus pseudostrobus*, *Juniperus flaccida*, *Quercus rysophylla*, *Q. canbyi*, *Q. laceyi* and *Arbutus xalapensis*. Four levels were determined for the component factor: stem, branches, leaves, and bark. A 6 x 4 factorial experimental design with 24 interactions between treatments was analyzed.

Thus, in order to determine whether there are any significant differences in carbon concentrations between the components of the above-ground biomass of the species, and whether the latter is independent from the taxa, a variance analysis (ANOVA) was applied, with a significance level of $\alpha= 0.05$ (Steel and Torrie, 1988) for the 6 x 4 factorial design.

Whenever significance was found in the tests for the species or for the components, a totally randomized ANOVA ($\alpha= 0.05$) was performed for each treatment; when significance was found in a treatment, a mean comparison analysis was performed using the

biomasa aérea de las especies y si este es independiente o no de los taxa se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $\alpha= 0.05$ (Steel y Torrie, 1988) para el diseño factorial 6×4 .

Si resultaba significancia en las pruebas para especies y para los componentes, se hizo un ANOVA ($\alpha= 0.05$) completamente aleatorio para cada tratamiento, cuando hubo significancia en este último se procedió a efectuar un análisis de comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) (Steel y Torrie, 1988). Por otra parte, se realizó un ANOVA factorial para conocer la presencia de diferencias significativas entre los componentes de los grupos, así como entre coníferas y latifoliadas, en los que se determinaron dos factores: el grupo de especies con dos niveles, coníferas y latifoliadas; y los componentes de la biomasa aérea de cada conjunto de especies con cuatro niveles: corteza, hojas, ramas y fuste; de tal manera que el total de interacciones fue ocho (2×4).

Si se observaba significancia entre los diferentes niveles de los factores, componentes de los grupos y grupos de especies, se procedió a realizar un ANOVA completamente aleatorio para componentes, estableciéndose como tratamientos los ocho elementos de los dos grupos de taxa: cuatro para coníferas. Cuando hubo significancia, se aplicó la prueba de comparación de medias (Tukey $\alpha= 0.05$). Para el caso del grupo de especies se efectuó una comparación de medias con una prueba de "t" ($\alpha= 0.05$), dado que solo se tuvieron dos grupos de medias: concentración de carbono de coníferas y de latifoliadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de carbono total entre especies y componentes

La prueba de significancia de la interacción entre los diferentes niveles de los factores componentes y especies demostró una interacción altamente significativa ($Pr > 5.38^{-14}$); es decir, que la concentración de carbono total en los componentes de la biomasa aérea depende de la especie.

Concentración de carbono total por especie

Con el análisis factorial se determinó la existencia de diferencias altamente significativas entre las especies ($Pr > 1.11^{-15}$); por lo que se procedió a realizar el análisis de varianza bajo el diseño completamente aleatorio para carbono total por especie, que también evidenció diferencias altamente significativas entre el carbono total de la biomasa de los taxa ($Pr > 40^{08}$). La prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha= 0.05$) mostró que la concentración de carbono total en la agrupación integrada por *Quercus* spp. eran estadísticamente diferentes con valores inferiores a los de la agrupación *Pinus pseudostrobus*, *Juniperus flaccida* y *Arbutus xalapensis*; sin embargo, hay un grupo con

Tukey test ($\alpha= 0.05$) (Steel and Torrie, 1988). On the other hand, a factorial ANOVA was performed to identify the presence of significant differences between the components of the group, as well as between conifers and broadleaf species. Two factors were determined: the species group, with two levels -conifers and broadleaf species-, and the components of the above-ground biomass of each group of species, with four levels: bark, leaves, branches, and stem. There were eight (2×4) interactions total.

Whenever significance was observed between factor levels -component groups and species groups-, a totally randomized ANOVA was performed for the components, establishing as treatments the eight elements of the two taxa groups: four for the conifers and four for the broadleaf species. When significance was found, the mean comparison test (Tukey $\alpha= 0.05$) was applied. For the species groups, a mean comparison was made using a "t" test ($\alpha= 0.05$), since only two mean groups were obtained: carbon concentration in conifers and in the broadleaf species.

RESULTS AND DISCUSSION

Total carbon concentration between species and components

The significance test for the interaction between the different levels of the component and species factors showed a highly significant interaction ($Pr > 5.38^{-14}$), which indicates that the total carbon concentration in the components of the above-ground biomass depends on the species.

Total carbon concentration by species

With the factorial analysis, the existence of highly significant differences between the species ($Pr > 1.11^{-15}$) was determined. Therefore, a variance analysis was performed under a totally randomized design for total carbon by species, which also evinced highly significant differences between the total carbon concentration of the biomass of the taxa ($Pr > 40^{08}$). The Tukey mean comparison test ($\alpha= 0.05$) showed that the total carbon concentration in the *Quercus* spp. group was statistically different, with values below those of the *Pinus pseudostrobus*, *Juniperus flaccida* and *Arbutus xalapensis* group. However, there is a group with intermediate values between these two extremes and which includes a conifer together with two broadleaf species: *Quercus canbyi*, *P. pseudostrobus* and *A. xalapensis* (Table 2).

The total average carbon estimated for *Pinus pseudostrobus* was 50.35%, a percentage similar to that registered by Gutiérrez and Loipera (2001) for *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. in Colombia, 51.2%, and to the level determined by Pacheco *et al.* (2007) for *Pinus greggii* (51%) in the state of Hidalgo. The latter was determined using the same procedure as in this paper. On the other hand, the total carbon concentrations found in the species

valores intermedios entre estos dos extremos, en el que se mezcla una conífera con latifoliadas: *Quercus canbyi*, *P. pseudostrobus* y *A. xalapensis* (Cuadro 2).

El promedio de carbono total estimado para *Pinus pseudostrobus* fue 50.35%, similar al que Gutiérrez y Lopera (2001) registraron para *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. en Colombia, 51.2%; al igual que el determinado para *Pinus greggii* (51%) en el estado de Hidalgo por Pacheco *et al.* (2007); este último bajo el mismo procedimiento utilizado en el presente trabajo. Por otra parte, la concentración de carbono total obtenida para las especies de género *Quercus* resultaron más bajas que los citados por Silva (2006) y López (2006), quienes consignan un valor de 54%.

Concentración de carbono total por componente y especie

El análisis de varianza ($\alpha=0.05$) evidenció diferencias altamente significativas ($P > 0.00$) entre las medias de los componentes. La prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$) definió que la corteza del grupo integrado por *Quercus laceyi*, *Q. rysophylla* y *Arbutus xalapensis*, es estadísticamente diferente y con valores inferiores 43.65, 44.43 y 47.32%, respectivamente, al de los componentes de las otras especies; sin embargo, la corteza de *Arbutus xalapensis*, fue estadísticamente igual a otro más amplio con una concentración de carbono total de la biomasa que varió desde 47.32 hasta 51.31%; en contraparte, sus hojas resultaron estadísticamente a este último, ya que presentó el porcentaje más alto de todos los componentes de las especies, 55.05% (Cuadro 3).

Un aspecto interesante e importante a destacar es que *Arbutus xalapensis* tuvo los valores extremos, dado que el componente corteza forma parte del grupo de concentraciones más bajas con 47.32%; mientras que el componente hojas tuvo la más alta, 55.05% (Cuadro 3).

Los valores del componte hojas fueron estadísticamente similares en todas las especies, a excepción de *Arbutus xalapensis*; los componentes ramas y fuste tuvieron una relación muy estrecha en cada uno de los taxa, ya que muestran la misma tendencia (Cuadro 3).



of the *Quercus* genus were lower than those quoted by Silva (2006) and López (2006), who recorded a value of 54%.

Total carbon concentration by component and by species

The variance analysis ($\alpha=0.05$) evinced highly significant differences ($P > 0.00$) between the means of the components. The Tukey mean comparison test ($\alpha=0.05$) determined that the bark of the *Quercus laceyi*, *Q. rysophylla* and *Arbutus xalapensis* group is statistically different from and has lower values -43.65, 44.43 and 47.32%, respectively-, than those of the components of the other species groups. However, the bark of *Arbutus xalapensis* was statistically equal to another, broader group, with a total biomass carbon concentration ranging between 47.32% and 51.31%. In contrast, its leaves were found to be statistically different from those of this group, since it had the highest percentage of all the components of the species: 55.05% (Table 3).

Cuadro 2. Concentración de carbono total por especie.

Table 2. Total carbon concentration by species.

Especie	Media (%)	Agrupación Tukey ^a
<i>Quercus rysophylla</i> Weath.	47.98	a
<i>Quercus laceyi</i> Weath.	48.18	a
<i>Quercus canbyi</i> Trel.	49.14	ab
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	50.35	bc
<i>Arbutus xalapensis</i> HBK.	51.17	bc
<i>Juniperus flaccida</i> Schltdl.	51.18	c

^aLetras iguales son estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

^aValues for groups with the same letters are statistically similar ($\alpha=0.05$).

An interesting noteworthy fact is that *Arbutus xalapensis* was shown to have extreme values, since its bark component is part of the group with the lowest concentrations (47.32%), while the leaves component has the highest concentration (55.05%) (Table 3).

The values for the leaves component were statistically similar in all the species, except for *Arbutus xalapensis*; the branches and stem components were very closely to one another in each of the taxa, showing the same trend (Table 3).

Furthermore, a wide variation interval was observed in the total carbon concentration between the components of the various species, ranging between 43.65% in the bark of the *Q. laceyi* and 55.05% in the leaves of *A. xalapensis*, which is equivalent to 11.39 percentage points, while Gayoso (2005) documents a larger differentiation in the organic carbon concentration in 16 taxa of native forests of Chile, 13.45%. The component with the lowest concentration was the bark of *Dasyphyllum diacanthoides* (Less.) Cabr. (34.86%), and the leaves of *Drimys winteri* J. R. et G. Forster had the highest concentration (48.31%).

Cuadro 3. Concentración de carbono total en los componentes de la biomasa aérea de las especies.
Table 3. Total carbon concentration in the components of the above-ground biomass of the species.

Componente	Especie	Media (%)	Agrupación Tukey ^a
Corteza	<i>Quercus laceyi</i> Weath.	43.65	a
Corteza	<i>Quercus rysophylla</i> Weath.	44.43	a
Corteza	<i>Arbutus xalapensis</i> HBK.	47.32	a b c
Ramas	<i>Quercus rysophylla</i> Weath.	47.87	b
Corteza	<i>Quercus canbyi</i> Trel.	48.12	b c
Ramas	<i>Quercus canbyi</i> Trel.	48.51	b c
Ramas	<i>Quercus laceyi</i> Weath.	48.73	b c d
Fuste	<i>Quercus rysophylla</i> Weath.	48.95	b c d
Fuste	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	49.23	b c d e
Fuste	<i>Quercus laceyi</i> Weath.	49.25	b c d e
Fuste	<i>Quercus canbyi</i> Trel.	49.51	b c d e
Ramas	<i>Pinus pseudostrobus</i>	49.58	b c d e
Ramas	<i>Juniperus flaccida</i>	50.29	b c d e
Hojas	<i>Quercus canbyi</i> Trel.	50.41	b c d e
Hojas	<i>Quercus rysophylla</i> Weath.	50.69	b c d e
Hojas	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	50.75	b c d e
Hojas	<i>Juniperus flaccida</i> Schltdl.	50.87	b c d e
Ramas	<i>Arbutus xalapensis</i> HBK.	51.01	b c d e f
Hojas	<i>Quercus laceyi</i> Weath.	51.08	b c d e f
Fuste	<i>Arbutus xalapensis</i> HBK.	51.31	b c d e f
Fuste	<i>Juniperus flaccida</i> Schltdl.	51.57	d e f
Corteza	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	51.83	d e f
Corteza	<i>Juniperus flaccida</i> Schltdl.	51.99	e f
Hojas	<i>Arbutus xalapensis</i> HBK.	55.05	f

^aLetras iguales son estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

^aValues for groups with the same letters are statistically similar ($\alpha=0.05$).

Además se observó que hay un amplio intervalo de variación de la concentración de carbono total entre los componentes de las especies: desde 43.65% en la corteza de *Q. laceyi* hasta 55.05% en las hojas de *A. xalapensis*, lo que significó 11.39 puntos porcentuales; mientras que Gayoso (2005) documenta una diferenciación más grande en la concentración de carbono orgánico en 16 taxa de bosques nativos en Chile, de 13.45%; el componente con menor concentración fue la corteza de *Dasyphyllum diacanthoides* (Less.) Cabr. (34.86%) y el de mayor las hojas de *Drimys winteri* J. R. et G. Forster (48.31%).

Concentración de carbono total por grupo de especies

Con el análisis factorial se determinó significancia en los niveles del factor grupo de especies ($Pr > 5.41^{-09}$); así como en los componentes de los grupos de especies ($Pr > 6.03^{-06}$). La

Total carbon concentration by species group

Factorial analysis was used for determining significance in the levels of the species group factor ($Pr > 5.41^{-09}$), as well as in the components of the species groups ($Pr > 6.03^{-06}$). The interaction between the factor levels was highly significant ($Pr > 4.55^{-12}$).

The mean group comparison analysis using the "t" test ($\alpha=0.05$) showed highly significant differences ($Pr > 4.36^{-06}$) between the total carbon concentration of the biomass of the groups of conifers and broadleaf species, with values of 50.76% and 48.85%, respectively. These results coincide with those obtained by Gutiérrez and Lopera (2001) for conifers (50 to 53%) and for broadleaf species (47 a 50%). However, the total carbon concentration of conifers in this study is lower than those quoted in the studies by Silva (2006) and López (2006) in

interacción entre los niveles de los factores resultó altamente significativa ($Pr > 4.55^{-12}$).

El análisis de comparación de grupos de medias con la prueba de "t" ($\alpha=0.05$), mostró diferencias altamente significativas ($Pr > t 4.36^{06}$) entre la concentración de carbono total de la biomasa de los grupos de coníferas y latifoliadas, con valores de 50.76 y 48.85%, respectivamente. Resultados que coinciden con los de Gutiérrez y Lopera (2001) para coníferas (50 a 53%) y para latifoliadas (47 a 50%). Sin embargo, comparativamente con los estudios realizados por Silva (2006) y López (2006) en el norte de México, la concentración de carbono total de este estudio es menor al citado por dichos autores para las coníferas, 56 y 54% respectivamente, así como para el género *Quercus* (54%).

El promedio general de la concentración de carbono total en la biomasa aérea de las especies del bosque de pino-encino fue de 49.56%, cifra muy cercana al 50% de carbono citado por diversos autores (IPCC, 1996; Brown, 1997; Birdsey y Heath, 2001) para convertir la biomasa de los bosques en carbono almacenado.

Concentración de carbono total por componentes de los grupos de especies

El ANOVA bajo el diseño experimental completamente aleatorio (con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$) demostró diferencias altamente significativas ($Pr > 0.00$). El análisis de comparación de medias Tukey ($\alpha=0.05$) determinó que la corteza de las latifoliadas es estadísticamente diferente al resto de los componentes, mientras que las ramas y los fustes, tanto de coníferas como de latifoliadas, son estadísticamente iguales con concentraciones que van de 48.75 a 50.40%, a su vez las hojas de coníferas son estadísticamente diferente a la corteza y ramas de latifoliadas con un valor superior a estos (50.81%); las ramas, fuste, hojas y corteza de coníferas y hojas de latifoliadas son estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes, con porcentajes superiores, a la corteza de las latifoliadas, el intervalo del último grupo fue de 49.94 a 51.91 % (Cuadro 4).

northern Mexico -56% and 54%, respectively-, and so is that of the *Quercus* genus (54%).

The general average of the total carbon concentration in the above-ground biomass of the species of the pine-oak forest was 49.56%, a very similar figure to the 50% carbon quoted by various authors (IPCC, 1996; Brown, 1997; Birdsey and Heath, 2001) as required for turning the biomass of the forests into stored carbon.

Total carbon concentration by components of the species groups

The ANOVA performed under the totally randomized experimental design (with a significance level of $\alpha=0.05$) showed highly significant differences ($Pr > 0.00$). The Tukey mean comparison analysis ($\alpha=0.05$) determined that the bark of the broadleaf species is statistically different from the rest of the components, while the branches and stems of both conifers and broadleaf species are statistically equal, with concentrations ranging between 48.75% and 50.40%; at the same time, the leaves of the conifers are statistically different from the bark and branches of the broadleaf species, with a higher value than these (50.81%). The branches, stem, leaves, and bark of the conifers and the leaves of the broadleaf species are statistically equal, but they differ from the bark of the broadleaf species, showing higher percentages than these; the interval of the latter group was 49.94 to 51.91% (Table 4).

Another important, noteworthy fact is that the bark component had the lowest value among the broadleaf species, and the highest among the conifers. This explains the high significance level in the interaction between the component and species factors; in other words, the total carbon concentration of the components depends on the species or the species group.



Cuadro 4. Concentración de carbono total por componente de los grupos de especies.

Table 4. Total carbon concentration by component of the species groups.

Componente	Grupo de especie	Media (%)	Agrupación Tukey ^a
Corteza	Latifoliadas	45.75	a
Ramas	Latifoliadas	48.75	b
Fustes	Latifoliadas	49.54	b c
Ramas	Coníferas	49.94	b c d
Fuste	Coníferas	50.40	b c d
Hojas	Coníferas	50.81	c d
Hojas	Latifoliadas	51.35	d
Corteza	Coníferas	51.91	d

^aLetras iguales son estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

^aValues for groups with the same letters are statistically similar ($\alpha=0.05$).

Otro aspecto importante a destacar es que el componente corteza de las latifoliadas presentó el menor valor, y de manera inversa se comportó en las coníferas; lo que evidencia la razón del alto nivel de significancia entre la interacción de los factores componentes y especies; en otras palabras, la concentración de carbono total en los componentes depende de la especie o grupo de especies.

Concentración de carbono total entre los componentes de las coníferas

El ANOVA factorial determinó que solo hay significancia entre los niveles del factor componentes ($Pr > 0.012206$), y que no la hay en la interacción de los factores ($Pr > 0.234963$). Por lo tanto, el ANOVA bajo el diseño completamente aleatorio resultó en diferencias significativas entre los componentes de las especies ($Pr > 0.011786$). La prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha= 0.05$) estableció que las diferencias se observan entre los componentes fuste de *Pinus pseudostrabus* y la corteza de *Juniperus flaccida*, con 49.23 y 51.99%, respectivamente (Cuadro 5).

Cuadro 5. Concentración de carbono total entre los componentes de las coníferas.
Table 5. Total carbon concentrations between the components of conifers.

Componente	Especie	Media (%)	Agrupación Tukey ^a
Fuste	<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.	49.23	a
Ramas	<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.	49.58	a b
Ramas	<i>Juniperus flaccida</i> Schltld.	50.29	a b
Hojas	<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.	50.75	a b
Hojas	<i>Juniperus flaccida</i> Schltld.	50.87	a b
Fuste	<i>Juniperus flaccida</i> Schltld.	51.57	a b
Corteza	<i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.	51.83	a b
Corteza	<i>Juniperus flaccida</i> Schltld.	51.99	b

^aLetras iguales son estadísticamente similares ($\alpha= 0.05$).

^aValues for groups with the same letters are statistically similar ($\alpha= 0.05$).

Concentración de carbono total entre los componentes de las latifoliadas

Con el ANOVA factorial se obtuvieron diferencias altamente significativas entre los niveles del factor especies ($Pr > 3.25^{08}$), en los del factor componentes ($Pr > 0.00$) en la interacción de los factores ($Pr > 1.22^{03}$). Por lo tanto, el ANOVA bajo el diseño completamente aleatorio demostró la existencia de diferencias altamente significativas entre los componentes de estas especies ($Pr > 0.00$). La prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha= 0.05$) mostró que el componente corteza de *Quercus laceyi*, es estadísticamente diferente con un porcentaje inferior al resto, excepto de la corteza de *Quercus rysophylla*, ya que presentó un valor similar; mientras que las ramas, fuste y hojas de *Arbutus xalapensis* se agruparon como los de mayor concentración de carbono total (Cuadro 6).

Total carbon concentration between the components of the conifers

The factorial ANOVA determined that there is significance only between the levels of the component factor ($Pr > 0.012206$), but not in the interaction between the factors ($Pr > 0.234963$). Thus, the ANOVA performed under the totally randomized design resulted in significant differences between the components of the species ($Pr > 0.011786$). The Tukey mean comparison test established that the differences are observed between the stem component of *Pinus pseudostrabus* and the bark of *Juniperus flaccida* ($Pr > 0.012206$), with 49.23% and 51.99%, respectively (Table 5).

Total carbon concentration between the components of the broadleaf species

Highly significant differences were obtained with the factorial ANOVA between the levels of the species factor ($Pr > 3.25^{08}$), in

those of the components factor ($Pr > 0.00$), and in the interaction between the factors ($Pr > 1.22^{03}$). Thus, the ANOVA performed under the totally randomized design showed the existence of highly significant differences between the components of these species ($Pr > 0.00$). The Tukey mean comparison test ($\alpha= 0.05$) showed that the bark component of *Quercus laceyi* is statistically different from the rest, with a lower percentage, except for the bark of *Quercus rysophylla*, which had a similar value, while the branches, stem and leaves of *Arbutus xalapensis* were grouped as components with the highest total carbon concentration (Table 6).



Cuadro 6. Concentración de carbono total entre los componentes de las latifoliadas.
Table 6. Total carbon concentration between components of the broadleaf species.

Componente	Especie	Media (%)	Agrupación Tukey ^a
Corteza	<i>Quercus laceyi</i> Weath.	43.65	a
Corteza	<i>Quercus rysophylla</i> Weath.	44.43	a b
Corteza	<i>Arbutus xalapensis</i> HBK.	47.32	b c
Ramas	<i>Quercus rysophylla</i> Weath.	47.87	c
Corteza	<i>Quercus canbyi</i> Trel.	48.12	c d
Ramas	<i>Quercus canbyi</i> Trel.	48.51	c d
Ramas	<i>Quercus laceyi</i> Weath.	48.73	c d
Fuste	<i>Quercus rysophylla</i> Weath.	48.95	c d
Fuste	<i>Quercus laceyi</i> Weath.	49.25	c d
Fuste	<i>Quercus canbyi</i> Trel.	49.51	c d
Hojas	<i>Quercus canbyi</i> Trel.	50.41	c d
Hojas	<i>Quercus rysophylla</i> Weath.	50.69	c d
Ramas	<i>Arbutus xalapensis</i> HBK.	51.01	c d e
Hojas	<i>Quercus laceyi</i> Weath.	51.08	c d e
Fuste	<i>Arbutus xalapensis</i> HBK.	51.31	c d e
Hojas	<i>Arbutus xalapensis</i> HBK.	55.05	e

^aLetras iguales son estadísticamente similares ($\alpha = 0.05$).

^aValues for groups with the same letters are statistically similar ($\alpha = 0.05$).

CONCLUSIONES

La concentración de carbono total en la biomasa aérea en las especies representativas del ecosistema bosque de pino - encino varió de 47.98% en *Quercus rysophylla* a 51.18% en *Juniperus flaccida*. El porcentaje en *Quercus rysophylla* y *Quercus laceyi* es diferente al de las coníferas *Pinus pseudostrobus* y *Juniperus flaccida*, además al de *Arbutus xalapensis*; mientras que *Quercus canbyi* es similar al de las otras dos especies de *Quercus* citadas anteriormente; es semejante al de *Pinus pseudostrobus* y *Arbutus xalapensis*; con un intervalo de variación entre las especies del orden de tres puntos porcentuales.

En los componentes de las coníferas, la concentración de carbono de la biomasa en las ramas es diferente al resto; y en las latifoliadas, las ramas y el fuste son semejantes. La corteza en las coníferas presenta el valor más alto; en cambio en las latifoliadas se comporta de manera inversa; es decir, es el menor. Los porcentajes en fuste y ramas en cada una de las especies son similares; también para grupos de especies. Es decir, ramas y fuste de coníferas son parecidas a las ramas y fuste de latifoliadas. La concentración de carbono total para las coníferas es de 50.76% y 48.85% para latifoliadas.

A pesar de que la concentración de carbono en la biomasa aérea entre los grupos de especies presentes en el área de estudio coinciden con los intervalos citados por algunos

CONCLUSIONS

The total carbon concentration in the above-ground biomass of species representative of the pine-oak forest ecosystem varied between 47.98% for *Quercus rysophylla* and 51.18% for *Juniperus flaccida*. The percentage in *Quercus rysophylla* and *Quercus laceyi* is different from that present in the conifers *Pinus pseudostrobus* and *Juniperus flaccida* and from that of *Arbutus xalapensis*, while that of *Quercus canbyi* is similar to the percentage of the two other *Quercus* species mentioned above and also to that of *Pinus pseudostrobus* and *Arbutus xalapensis*, with a variation interval of three percentage points between the species.

The carbon concentration of the biomass of the branches of conifers differs from that of the rest of the components, while the branches and the stem of the broadleaf species have similar percentages. The bark of conifers has the highest value, whereas the lowest is found in the bark of the broadleaf species. The percentages of the stem and branches of the conifers are similar to those of the same components of the broadleaf species. The total carbon concentration is 50.76% for the conifers, and 48.85% for the broadleaf species.

Although the carbon concentrations found in the above-ground biomass of the species groups occurring in the study area coincide with the intervals quoted by certain authors, when

autores; analizándola de forma individual hubo una especie de latifoliada, *Arbutus xalapensis*, que se integró dentro de las coníferas; por lo tanto, generalizar la concentración de carbono total podría proporcionar subestimación o sobrestimación del carbono capturado en los ecosistemas forestales. ▽

AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica (PAICYT-UANL), por su aportación financiera para llevar a cabo este estudio científico.

REFERENCIAS

- Alig, R. J., D. Adams and B. McCarl. 2002. Projecting Impacts of Global Climate Change on the US Forest and Agriculture Sectors and Carbon Budgets. *Forest Ecology and Management*. 169(1-2):3-14.
- Birdsey, R. and L. Heath. 2001. Forest Inventory Data, Models, and Assumptions for Monitoring Carbon Flux. In: Lal, R. (ed.). *Soil Carbon Sequestration and Greenhouse Effect*. No. 57. Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI. USA. pp.125-135.
- Brown, S. 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer. FAO forestry paper 134. Rome, Italy. 104 p.
- Gayoso, J. y J. Guerra. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque* 26(2):33-38.
- Gutiérrez, V. y G. Lopera. 2001. Metodología para la cuantificación de existencias y flujos de carbono en plantaciones forestales. In: Gayoso, J. y R. Jandl. (eds.) *Medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales*. IUFRO World Series. Viena, Austria. 13:75-85.
- Houghton, R. A., J. L. Hackler and K. T. Lawrence. 1999. The U.S. carbon budget: Contributions from land-use change. *Science*. 285(5427):574-578.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1986. *Síntesis geográfica del estado de Nuevo León*. 1ª reimpresión. SPP. México, D. F. México. 184 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1996. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>. (5 de noviembre de 2008).
- Jaramillo, V. 2004. El ciclo global del carbono. In: Martínez, J. y A. Fernández (comps.). *Cambio climático: una visión desde México*. INE-Semarnat. México, D. F. México. pp. 77-85.
- Jiménez, J., O. Aguirre y H. Kramer. 2001. Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el Norte de México. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 10 (2):356-366.
- Lal, R. 2001. Soils and the Greenhouse Effect. In: Lal, R. (ed.). *Soil Carbon Sequestration and Greenhouse Effect*. Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI. USA. 57:1-8.
- Lee, J., I. Morrison, D. Leblanc, T. Dumas and D. Cameron. 2002. Carbon Sequestration in Trees and Regrowth Vegetation as Affected by Clearcut and Partial Cut Harvesting in a Second-Growth Boreal Mixedwood. *Forest Ecology and Management*. 169:83 -101.
- López T., A. 2006. *Estimación de factores de expansión de volumen a biomasa y carbono en ecosistemas forestales en Chihuahua, México*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N.L. México. 59 p.
- Ordóñez, A. y O. Masera. 2001. La captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*. 7 (1):3-12.
- Pacheco E., F. C., A. Aldrete, A. Gómez G., A. M. 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.
- Salisbury, B. y C. Ross. 1994. *Fisiología vegetal*. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D. F. México. 759 p.

individually analyzed there was a softwood, *Arbutus xalapensis*, which became part of the conifer group; thus, generalizing the total carbon concentration may result in under- or overestimation of the amounts of carbon sequestered by forest ecosystems. ▽

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank the Scientific and Technological Research Support Program (PAICYT-UANL) for its financial contribution to this scientific study.

End of the English version

- Silva A., F. 2006. *Estimación de factores de expansión de biomasa y carbono en ecosistemas forestales del norte de México*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N.L. México. 78 p.
- Yerena Y., J. I., J. Jiménez P., O. A. Aguirre C. y E. J. Treviño G. 2012a. Contenido de carbono total de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso, en el matorral espinoso tamaulipeco, en México. *Bosque* 33(2):145-152.
- Yerena Y., J. I., J. Jiménez P., O. A. Aguirre C., E. J. Treviño G. y E. Alanís R. 2012b. Concentración de carbono en el fuste de 21 especies de coníferas del noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 3 (13):49-56.





Juan Rentería *Ánima*, 2013.