



Artículo / Article

Coeficientes de carbono para arbustos y herbáceas del bosque de oyamel del Parque Nacional El Chico

Carbon coefficients for shrubs and herbs of the fir forest of *El Chico* National Park

Ramón Razo Zárata¹, Alberto José Gordillo Martínez², Rodrigo Rodríguez Laguna¹,
Carlos César Maycotte Morales² y Otilio Arturo Acevedo Sandoval²

Resumen

El bosque de oyamel (*Abies religiosa*) reúne a una mezcla de especies que realizan el intercambio de CO₂ con la atmósfera y permiten la formación temprana de un reservorio de carbono; en ese contexto, el objetivo del presente estudio consistió en determinar los coeficientes de carbono para los taxa pertenecientes a los estratos arbustivo y herbáceo del bosque de oyamel del Parque Nacional El Chico. Se seleccionaron 24 especies de arbustos y 17 de herbáceas; de cada una se recolectaron cinco ejemplares y se tomaron estructuras de sus partes aéreas para integrar una muestra compuesta, misma que se secó y pulverizó para analizarla con el equipo *Toc Solids Analyzer*. Los resultados mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre arbustivas y herbáceas y entre ambos grupos de especies; *Juniperus monticola* registró el mayor coeficiente de carbono (0.54) y *Senecio platanifolius* el menor (0.41). En herbáceas, *Notholaena sinuata* obtuvo un valor de 0.50 mientras que *Anagalis arvensis*, el más bajo (0.38), que son inferiores a 0.50, lo que sugiere el *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) cuando no se dispone de coeficientes por taxon. Se concluye que las especies del estrato arbustivo se distribuyeron en un intervalo de coeficiente de carbono de 0.41 a 0.50, con un valor promedio de 0.45 el cual se debe utilizar como coeficiente de conversión de biomasa a carbono para dicho nivel. Para las herbáceas, el intervalo fue de 0.38 a 0.50 con un promedio de 0.43.

Palabras clave: *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham., arbustos, biomasa, bosque de oyamel, herbáceas, materia orgánica.

Abstract

The fir forest (*Abies religiosa*) comprises a mixture of species which perform the exchange of CO₂ with the atmosphere and allow the early formation of carbon; in this context, the objective of the actual study was to determine the coefficients of carbon for the species in the shrub and herbaceous layers in the fir forest of *El Chico* National Park. Twenty four species of shrubs and 17 species of herbs were selected; five specimens of each species were collected and a sample of their air components was taken to integrate a compound sample, which were dried and pulverized to be analyzed with the *Toc Solids Analyzer* equipment. The results showed significant differences ($p \leq 0.01$) between the shrub and herbaceous species and between both groups; *Juniperus monticola* showed the highest coefficient of carbon (0.54) and *Senecio platanifolius* the lowest (0.41). In herbaceous, *Notholaena sinuata* obtained a carbon coefficient of 0.50 while *Anagalis arvensis* had the lowest coefficient (0.38), these coefficients are lower than 0.50 which are suggested by the IPCC when coefficients are not available by species. It is concluded that the studied species of shrub layer in the fir forest in *El Chico* National Park had a range of carbon coefficient from 0.41 to 0.50, and the average value was 0.45 which should be used as coefficient of biomass conversion to carbon in this stratum. For the herbs, the range was from 0.38 to 0.50 and an average of 0.43.

Key words: *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham., shrubs, biomass, fir forest, herbs, organic matter.

Fecha de recepción/date of receipt: 6 de noviembre de 2013; Fecha de aceptación/date of acceptance: 17 de abril de 2015.

¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Correo-e: rrazo29@yahoo.com.mx

² Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Introducción

Los bosques de oyamel del Parque Nacional El Chico, al igual que otros tipos de vegetación, capturan, almacenan y liberan carbono como resultado de los procesos fotosintéticos, de respiración y de degradación de materia seca (Tipper, 1998). En estas asociaciones el carbono queda retenido en la biomasa viva, en la materia orgánica en descomposición y en el suelo (Nakama *et al.*, 2003). Es por eso que el cálculo de la biomasa es el primer paso para evaluar la productividad de los ecosistemas y la contribución de los bosques en el ciclo global del carbono (Castañeda *et al.*, 2005).

Los ecosistemas en cuestión albergan taxa de gran interés para la economía nacional, como *Abies religiosa* (Kunth) Schltld. *et Cham.*, del que se obtienen diversos productos maderables y no maderables (Musálem y Gómez, 2003), así como otros de gran importancia para la vida cotidiana como *Juniperus monticola* Martínez, el principal proveedor de leña (Musálem y Reyes, 2003); algunos son cruciales para la cultura de las comunidades como *Litsea glaucescens* Kunth, cuyas ramas son utilizadas en ceremonias religiosas (Montañez *et al.*, 2011) y las endémicas, que tienen gran significado para la ecología y la botánica (Sánchez *et al.*, 2003). Además de los árboles, incluyen una mezcla de especies pioneras que promueven la formación temprana de un reservorio de carbono (Gómez-Pompa y Vázquez-Yanes, 1981), y que también cumplen una función fisiológica básica en el intercambio de CO₂ entre la planta y la atmósfera.

Sin embargo, por la naturaleza misma de los componentes del estrato arbustivo y el herbáceo, la cantidad de biomasa y contenido de carbono son bajos en comparación con el almacenado en las partes leñosas de los árboles, pero no menos valiosos si se considera que muchos de los taxa son caducifolios y realizan un aporte continuo de biomasa y nutrientes al suelo que favorece el desarrollo de la vegetación y el aumento del almacén de carbono edáfico. En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue determinar la concentración de carbono para las especies de los estratos arbustivo y herbáceo del bosque de oyamel del Parque Nacional El Chico en el estado de Hidalgo.

Materiales y Métodos

La investigación se llevó a cabo dentro del Parque Nacional El Chico que se ubica en el extremo occidental de la Sierra de Pachuca (Figura 1), entre las coordenadas extremas 20° 10' 10" a 20° 13' 25" norte y 98° 41' 50" a 98° 46' 02" oeste; comprende una superficie total de 2 739 ha (Conanp, 2005).

Introduction

The fir forests of *El Chico* National Park, like other vegetation types, capture, store and release carbon as a result of photosynthetic processes, as well as of respiration and degradation of dry matter (Tipper, 1998). In these associations, carbon is retained in live biomass, decomposing organic matter and soil (Nakama *et al.*, 2003). That is why the calculation of biomass is the first step in assessing ecosystem productivity and the contribution of forests in the global carbon cycle (Castañeda *et al.*, 2005).

These ecosystems are home to species of great interest to the national economy as *Abies religiosa* (Kunth) Schltld. *et Cham.*, from which various timber and non-timber products are obtained (Musálem and Gómez, 2003), as well as other important ones for daily life such as *Juniperus monticola* Martínez which is the leading supplier of firewood (Musálem and Reyes, 2003); some are crucial to the culture of the social communities as *Litsea glaucescens* Kunth whose branches are used in religious ceremonies (Montañez *et al.*, 2011) and the endemic which are of great relevance to ecology and botany (Sánchez *et al.*, 2003). In addition to trees, they include a mixture of pioneer species that promote the early formation of a carbon reservoir (Gómez-Pompa and Vázquez-Yanes, 1981) and also meet a basic physiological role in the exchange of CO₂ between the plant and the atmosphere.

However, by the very nature of those that make up the shrub and herbaceous strata, the amount of biomass and carbon content are low compared to the value stored in the woody parts of trees, but no less valuable when it is considered that many of these species are deciduous and perform a continuous supply of biomass and nutrients to the soil that favor the development of vegetation and increase the reservoir of carbon in the soil. In this context, the aim of this study was to determine the carbon concentration in shrub and herbaceous species of the fir forest of *El Chico* National Park in the state of Hidalgo.

Materials and Methods

The study was conducted within the *El Chico* National Park which is located at the western end of the *Sierra de Pachuca* (Figure 1), between the extreme coordinates 20° 10' 10" to 20° 13' 25" North and 98° 41' 50" to 98° 46' 02" West; it comprises a total area of 2 739 ha (Conanp, 2005).

Based on the Köppen system modified by García (1981), the climate in the park is C (m) (w) b (i) gw" which stands for a temperate subhumid with summer rains; annual average



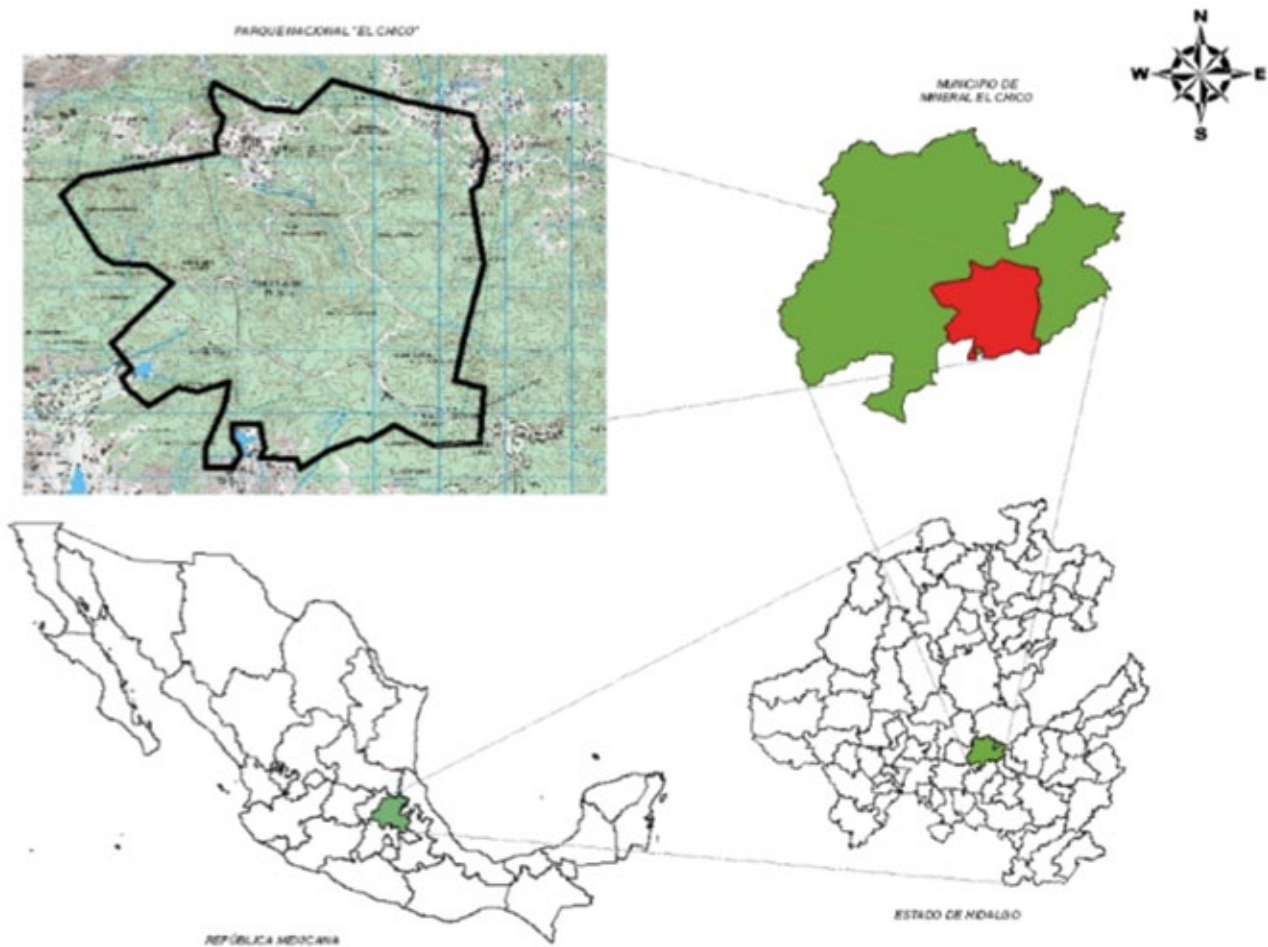


Figura 1. Ubicación geográfica del Parque Nacional El Chico, Hidalgo.
 Figure 1. Location of *El Chico* National Park, *Hidalgo*.

Con base en el sistema de Köppen modificado por García (1981), en el Parque existe un clima C (m) (w) b (i) gw” que corresponde a un templado subhúmedo con lluvias en verano; temperatura media anual entre 12 y 18 °C, influencia de monzón y porcentaje de lluvia invernal menor a 5 % de la total anual. El verano es fresco y largo, inviernos fríos con poca oscilación térmica y sequía interestival.

Los suelos predominantes son Cambisol húmico, Regosol dístico y Andosol húmico de textura media (Conanp, 2005). El tipo de roca predominante es ígnea extrusiva del tipo brecha volcánica y andesita. La vegetación, en la mayor parte del área, está formada por bosques de oyamel, con distintas condiciones de productividad. Las principales especies arbóreas son *Abies religiosa*, *Quercus spp.* y *Pseudotsuga macrolepis* Flous (Conanp, 2005). La información florística de los estratos arbustivos y herbáceos se obtuvo mediante la aplicación del método de barrido (Lot y Chiang, 1986), que consistió en recorrer aproximadamente 30 ha de superficie localizadas en el área núcleo del Parque, a partir de las diferentes condiciones

temperature between 12 and 18 °C, influence of monsoon and winter rain smaller than 5 % of the annual total. Summer is cool and long, with cold winters, little temperature variation and interestival drought.

The predominant type of rock is extrusive igneous of the volcanic andesite and crevasse type. The main soils are Humic cambisol, Dystric regosol and Humic andosol of medium texture (Conanp, 2005). The vegetation in most of the park is formed by fir forests, with different productivity conditions. The main tree species are *Abies religiosa*, *Quercus spp.* and *Pseudotsuga macrolepis* Flous (Conanp, 2005). The floristic information regarding shrubs and herbaceous strata was obtained by applying the scanning method (Lot and Chiang, 1986), which consisted of walking about 30 ha of the area located in the core of the park, according to the different ground conditions; for the shrub and herbaceous species that could not be identified in the field, flowering and / or fruiting samples were collected. This botanical material was moved to the herbarium of the Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales (Academic

del terreno; para los individuos que no fue posible identificar en campo, se recolectaron muestras de flores o frutos. Este material botánico se trasladó al herbario del Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales del Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAP) para su secado y determinación.

Colecta de muestras en campo y preparación en laboratorio

Para las especies arbustivas (incluidos renuevos de *Abies religiosa* y *Quercus spp.* que forman parte del sotobosque) y herbáceas se recolectaron cinco ejemplares, y de cada uno de ellos se tomaron muestras de flores, frutos, hojas, ramas y tallos, los cuales se guardaron en bolsas de papel previamente etiquetadas, con algunos orificios en las bolsas que contenían muestras carnosas para facilitar su secado. Así, se colocaron en una estufa de secado Grieve® modelo LW-201C con flujo de aire a 105 °C hasta alcanzar un peso constante (Jiménez *et al.*, 2013). Posteriormente, de cada *taxon* se tomaron 5 g de flores, frutos, hojas, ramas y tallo con corteza para integrar una muestra compuesta, que fue pulverizada en un molino tipo mortero de ágata Retsch® modelo RM200; este producto se depositó en bolsas de plástico etiquetadas y ahí se conservó hasta que se calculó la concentración de carbono.

Determinación de carbono y análisis estadístico

Las muestras compuestas por especie previamente pulverizadas se pusieron en la estufa de secado por 15 minutos a 65 °C para eliminar la humedad que hubieran adquirido durante su almacenamiento; para calcular el coeficiente de carbono (en porcentaje) se trabajó con el equipo *Toc Solids Analyzer*® modelo 1020A de *O I Analytical* que se utiliza en muestras sólidas mediante combustión completa, a 900 °C; los gases que resultan de la combustión son medidos a través de un detector de infrarrojo no dispersivo que contabiliza las moléculas de carbono contenidas en los de la muestra. Se pesaron 20 mg de los cinco ejemplares de cada especie para ser analizadas con el aparato.

Con los datos del coeficiente de carbono por *taxon* se realizó un análisis de varianza con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (Steel y Torrie, 1986) para determinar las diferencias estadísticas interespecíficas de cada estrato y entre arbustivo y herbáceo. Cuando hubo significancia se procedió a efectuar un análisis múltiple de comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) (Steel y Torrie, 1986).

Resultados y Discusión

El bosque de oyamel del Parque Nacional El Chico tiene un estrato arbustivo y otro herbáceo diversos, cuyo grado de desarrollo depende de las condiciones microambientales

(Area of Agricultural and Forest Sciences) of the *Instituto de Ciencias Agrícolas* (Institute of Agricultural Sciences (ICAP) for drying and classification.

Collection of samples in the field and laboratory preparation

For shrub species (including the sprouts of *Abies religiosa* and *Quercus spp.* that at this stage become part of the understory) and herbs, five specimens were collected and from them, a sample of flowers, fruits, leaves, branches and stems was taken; they were put into pre-labeled paper bags, with some holes in those containing fleshy samples to facilitate drying. The bags were placed in a Grieve® brand LW-201C model drying oven with air flow at 105 °C to constant weight in the samples (Jiménez *et al.*, 2013). Subsequently, 5 g of each species of flowers, fruits, leaves, branches and stems with bark were taken to integrate a compound sample, which was pulverized in a mill type agate mortar Retsch® RM200 model; this material was kept into labeled plastic bags until used for calculating carbon concentration.

Determination of carbon and statistical analysis

Composed samples of species previously pulverized were placed in a drying oven for 15 minutes at 65 °C to remove the moisture that they had acquired during storage; to calculate the coefficient of carbon (in percent); the *Toc Solids OI Analytical Model 1020A Analyzer*® was used to determine the concentration of carbon in solid samples by complete combustion at 900 °C; the combustion product gases are measured through a non-dispersive infrared detector which counts carbon molecules contained in the gas of the samples. 20 mg of the composite samples of the five specimens of each species for analysis were weighed with the apparatus previously mentioned.

With the resulting data from the carbon coefficient by species an analysis of variance with a significance level of $\alpha=0.05$ was performed (Steel and Torrie, 1986), in order to define the existence of statistical differences between species in each stratum and between both of them. When there was significance in the analysis, a multiple analysis of mean comparison through Tukey's test was made ($\alpha=0.05$) (Steel and Torrie, 1986).

Results and Discussion

The fir forest of the National Park *El Chico* has a diverse shrub and herbaceous layer whose degree of development depends on environmental micro site conditions and the presence of some natural or manmade phenomena, such as forest fires, pests, diseases and other weather events, when they occur outside its natural historical regime (Razo *et al.*, 2013). In some

del sitio y de la presencia de algunos fenómenos naturales o causados por el hombre, como los incendios forestales, las plagas, las enfermedades, y eventos meteorológicos, cuando ocurren fuera de su régimen histórico natural (Razo *et al.*, 2013). En los recorridos de campo se observaron claros en el bosque producto de disturbios que propiciaron la colonización agresiva del sotobosque (Figura 2).

field trips clear patches were observed as a result of forest disturbances that led to the aggressive colonization of the understory (Figure 2).

The collected and identified species from the shrub layer were the following: *Abies religiosa*, *Acaena elongata* L., *Amelanchier denticulata* (HBK.) Koch, *Arbutus glandulosa*



Figura 2. Estratos arbustivo y herbáceo del bosque de oyamel del Parque Nacional El Chico, Hidalgo.
Figure 2. Herb and shrub strata of the fir forest in El Chico National Park.

En el estrato arbustivo se identificaron: *Abies religiosa*, *Acaena elongata* L., *Amelanchier denticulata* (HBK.) Koch, *Arbutus glandulosa* Mart. & Gal., *Baccharis conferta* HBK., *Buddleja cordata* HBK., *Buddleja parviflora* HBK., *Cestrum roseum* HBK., *Crataegus pubescens* (HBK.) Steud., *Eupatorium ligustrinum* D.C., *Eupatorium glabratum* HBK., *Fucrea bendinghaussii* C. Koch., *Ilex toluhana* Hemsl., *Juniperus monticola*, *Litsea glaucescens*, *Lonicera mexicana* (HBK.) Rehder., *Prunus serotina* (Cav.) McVaugh, *Quercus eduardii* Trel., *Quercus microphylla* Née, *Ribes affine* HBK., *Senecio barbajohannis* DC., *Senecio platanifolius* Benth., *Senecio vulgaris* L., *Symphoricarpos microphyllus* HBK. Al estrato herbáceo correspondieron: *Adiantum lorentzii* Hieron, *Anagalis arvensis* L., *Cirsium ehrenbergii* Schl. Bip., *Deschampsia elongata* (Hook) Munro, *Eryngium carlinae* Delar. F., *Fragaria mexicana*

Mart. & Gal., *Baccharis conferta* HBK., *Buddleja cordata* HBK., *Buddleja parviflora* HBK., *Cestrum roseum* HBK., *Crataegus pubescens* (HBK.) Steud., *Eupatorium ligustrinum* D.C., *Eupatorium glabratum* HBK., *Fucrea bendinghaussii* C. Koch., *Ilex toluhana* Hemsl., *Juniperus monticola*, *Litsea glaucescens*, *Lonicera mexicana* (HBK.) Rehder., *Prunus serotina* (Cav.) McVaugh, *Quercus eduardii* Trel., *Quercus microphylla* Née, *Ribes affine* HBK., *Senecio barbajohannis* DC., *Senecio platanifolius* Benth., *Senecio vulgaris* L., *Symphoricarpos microphyllus* HBK. In the herbaceous stratum were found: *Adiantum lorentzii* Hieron, *Anagalis arvensis* L., *Cirsium ehrenbergii* Schl. Bip., *Deschampsia elongata* (Hook) Munro, *Eryngium carlinae* Delar. F., *Fragaria mexicana* Schl., *Lupinus montanus* HBK., *Notholaena sinuata* (Lag. ex Sw.) Kaulf., *Polypodium polypodioides* L., *Salvia gesneriflora*

Schl., *Lupinus montanus* HBK., *Notholaena sinuata* (Lag. ex Sw.) Kaulf., *Polypodium polypodioides* L., *Salvia gesneriflora* Lindl., *Salvia elegans* Vahl., *Salvia microphylla* HBK., *Sedum praealtum* ssp. *parvifolium* Clausen., *Sedum moranense* ssp. *moranense* HBK., *Solanum nigrescens* Mart. & Gal., *Sonchus oleraceus* L. y *Trisetum altijugum* (Fourn.) Scribn.

Coeficiente de carbón de las especies arbustivas

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.01$) en el coeficiente de carbono entre los taxa del estrato arbustivo. La prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) definió que *Juniperus monticola* y *Litsea glaucescens* tuvieron los coeficientes de carbono más altos con 0.50 y 0.48, respectivamente; mientras que *Senecio vulgaris* y *S. platanifolius* las cifras más bajas con 0.42 y 0.41. De las 24 especies evaluadas, 15 registraron un coeficiente de carbono estadísticamente igual (de 0.42 a 0.46) (Cuadro 1). La concentración de carbono para los individuos leñosos pero que en esta etapa de desarrollo forman parte del sotobosque, fue de 44.27 % para *Quercus microphylla* y de 43.31 % en *Q. eduardii*; dichos porcentajes son inferiores a los calculados por Jiménez et al. (2013) en un bosque de pino-encino en la Sierra Madre Oriental con árboles adultos de diferentes especies de encinos (> 47.98 %).

El coeficiente de carbono en renuevos de *Abies religiosa* del estrato arbustivo fue de 0.45, valor inferior al documentado por Avendaño et al. (2009) en árboles adultos en bosques de Tlaxcala. La diferencia es atribuible a la tasa de crecimiento del árbol, la cual está influida por la edad y por factores climáticos locales como la disponibilidad de agua, la temperatura y condiciones del suelo, lo que se refleja en la densidad básica de la madera (Návar y Domínguez, 2013).

Lindl., *Salvia elegans* Vahl., *Salvia microphylla* HBK., *Sedum praealtum* ssp. *parvifolium* Clausen., *Sedum moranense* ssp. *moranense* HBK., *Solanum nigrescens* Mart. & Gal., *Sonchus oleraceus* L. and *Trisetum altijugum* (Fourn.) Scribn.

Carbon coefficient of the shrub species

The analysis of variance showed statistically significant differences ($p \leq 0.01$) in the ratio of carbon between species of the shrub layer. The comparison test of Tukey ($\alpha = 0.05$) defined that *Juniperus monticola* and had the highest coefficients of carbon with 0.50 and 0.48, respectively, while *Senecio vulgaris* and *S. platanifolius* recorded lower figures with 0.42 and 0.41. Of the 24 species assessed for this stratum, 15 showed a statistically equal carbon ratio (from 0.42 to 0.46) (Table 1). The carbon concentration obtained for woody species but that at this stage are part of the undergrowth, was 44.27 % for *Quercus microphylla* and 43.31 % for *Q. eduardii*; these percentages are lower than those of Jiménez et al. (2013) in a study for a pine-oak forest in the Sierra Madre Oriental with mature trees of different oak species (> 47.98 %).

On the other hand, the ratio of carbon obtained in *Abies religiosa* seedlings of the shrub layer was 0.45, lower than Avendaño et al. (2009) value in adult trees of the same species in forests of Tlaxcala state. This difference can be attributed to the growth rate of the tree, which is influenced by age and by local climatic factors such as water availability, temperature and soil conditions, which are reflected in the basic wood density (Návar and Domínguez, 2013).

Carbon coefficients of herbaceous species

The analysis of variance conducted for the carbon content in the samples of the species of the herbaceous layer of the

Cuadro 1. Coeficiente de carbono por especie en el estrato arbustivo del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México.

Especie	Coeficiente de carbono	Agrupación Tukey*
<i>Juniperus monticola</i> Martínez	0.50	a
<i>Litsea glaucescens</i> Kunth	0.48	ba
<i>Cestrum roseum</i> HBK.	0.47	bc
<i>Symphoricarpos microphyllus</i> HBK.	0.46	bcd
<i>Eupatorium glabratum</i> HBK.	0.46	becd
<i>Baccharis conferta</i> HBK.	0.46	becd
<i>Arbutus glandulosa</i> Mart. & Gal	0.46	fbced
<i>Acaena elongata</i> L.	0.45	fbced
<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltl. et Cham.	0.45	fbced
<i>Ribes affine</i> HBK.	0.45	fbced
<i>Ilex toluicana</i> Hemsl.	0.45	fbced

Continúa Cuadro 1...

Continúa Cuadro 1...

Especie	Coefficiente de carbono	Agrupación Tukey*
<i>Crataegus pubescens</i> (HBK.) Steud	0.45	fbecdg
<i>Prunus serotina</i> (Cav.) McVaugh	0.44	fhecdg
<i>Quercus microphylla</i> Née	0.44	fhecdg
<i>Senecio barbajohannis</i> DC.	0.44	fhedg
<i>Amelanchier denticulata</i> (HBK.) Koch	0.43	fbedg
<i>Quercus eduardii</i> Trel.	0.43	fbedg
<i>Buddleja parviflora</i> HBK.	0.43	fheg
<i>Buddleja cordata</i> HBK.	0.43	fheg
<i>Lonicera mexicana</i> (HBK.) Rehder.	0.42	fhg
<i>Eupatorium ligustrinum</i> DC.	0.42	fhg
<i>Fucrea bendinghaussii</i> C. Koch	0.42	hg
<i>Senecio vulgaris</i> L.	0.42	h
<i>Senecio platanifolius</i> Benth.	0.41	h

*Letras iguales indican que los valores son estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

Table 1. Carbon coefficient by species in the shrub stratum of *El Chico* National Park, *Hidalgo*, *México*.

Species	Carbon coefficient	Tukey's groups*
<i>Juniperus monticola</i> Martínez	0.50	a
<i>Litsea glaucescens</i> Kunth	0.48	ba
<i>Cestrum roseum</i> HBK	0.47	bc
<i>Symphoricarpos microphyllus</i> HBK.	0.46	bcd
<i>Eupatorium glabratum</i> HBK.	0.46	becd
<i>Baccharis conferta</i> HBK.	0.46	becd
<i>Arbutus glandulosa</i> Mart. & Gal	0.46	fbced
<i>Acaena elongata</i> L.	0.45	fbced
<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltdl. et Cham.	0.45	fbced
<i>Ribes affine</i> HBK.	0.45	fbced
<i>Ilex tolucana</i> Hemsl.	0.45	fbced
<i>Crataegus pubescens</i> (HBK.) Steud	0.45	fbecdg
<i>Prunus serotina</i> (Cav.) McVaugh	0.44	fhecdg
<i>Quercus microphylla</i> Née	0.44	fhecdg
<i>Senecio barbajohannis</i> DC.	0.44	fhedg
<i>Amelanchier denticulata</i> (HBK.) Koch	0.43	fbedg
<i>Quercus eduardii</i> Trel.	0.43	fbedg
<i>Buddleja parviflora</i> HBK.	0.43	fheg
<i>Buddleja cordata</i> HBK.	0.43	fheg
<i>Lonicera mexicana</i> (HBK.) Rehder.	0.42	fhg

Continued Table 1...

Continued Table 1...

Species	Carbon coefficient	Tukey's groups*
<i>Eupatorium ligustrinum</i> DC.	0.42	fhg
<i>Fucrea bendinghausii</i> C. Koch	0.42	hg
<i>Senecio vulgaris</i> L.	0.42	h
<i>Senecio platanifolius</i> Benth.	0.41	h

* Equal letters mean that the values are statistically similar ($\alpha = 0.05$).

Coeficientes de carbono de especies herbáceas

El análisis de varianza para los contenidos de carbono en las muestras de los taxa que conforman el estrato herbáceo del bosque de oyamel arrojó diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.01$) entre especies. La prueba de comparación de medias de Tukey mostró que un taxón de helecho, *Notholaena sinuata*, registró el mayor coeficiente de carbono en su biomasa con 0.50, mientras que *Anagalis arvensis* tuvo 0.38 (Cuadro 2).

forest of fir, revealed statistically significant differences ($p \leq 0.01$) between species. The mean comparison test of Tukey showed that a species of fern, *Notholaena sinuata*, recorded the highest ratio of carbon in their biomass 0.50, while *Anagalis arvensis* did it with 0.38 (Table 2).

Acosta (2003) estimated a wide range (0.25 to 0.42) of the carbon coefficient of native grasses on systems with forest hillside vegetation in Mexico. In contrast, herbaceous *El Chico*

Cuadro 2. Coeficiente de carbono por especie en el estrato herbáceo del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México.

Especie	Coeficiente de carbono	Agrupación Tukey*
<i>Notholaena sinuata</i> (Lag. ex Sw.) Kaulf.	0.50	a
<i>Lupinus montanus</i> HBK.	0.47	ba
<i>Salvia microphylla</i> HBK.	0.46	b
<i>Adiantum lorentzii</i> Hieron	0.46	bc
<i>Salvia gesneriflora</i> Lindl.	0.44	bcd
<i>Fragaria mexicana</i> Schl.	0.44	bcd
<i>Eryngium carlinae</i> Delar. F.	0.44	bcd
<i>Salvia elegans</i> Vahl.	0.44	bcd
<i>Polypodium polypodioides</i> L.	0.43	cd
<i>Solanum nigrescens</i> Mart. & Gal.	0.43	cd
<i>Sedum praealtum</i> ssp. <i>parvifolium</i> Clausen	0.42	cd
<i>Cirsium ehrenbergii</i> Schl. Bip.	0.42	d
<i>Trisetum altijugum</i> (Fourn.) Scribn.	0.42	d
<i>Sedum moranense</i> ssp. <i>moranense</i> HBK.	0.41	ed
<i>Deschampsia elongata</i> (Hook) Munro	0.41	ed
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	0.38	e
<i>Anagalis arvensis</i> L.	0.38	e

*Letras iguales indican que los valores son estadísticamente similares ($\alpha=0.05$).

Acosta (2003) calculó un amplio intervalo del coeficiente de carbono (0.25 a 0.4) en las herbáceas nativas en sistemas con vegetación forestal de ladera en México. En contraste, en las herbáceas del Parque Nacional El Chico se concentra en uno más reducido (0.38 a 0.50). Figueroa *et al.* (2005) establecieron que el coeficiente promedio de carbono en las herbáceas, además de los arbustos de los cafetales fue menor (0.41) que el

National Park is concentrated in a smaller interval (0.38 0.50). Other authors such as Figueroa *et al.* (2005) established that the average carbon ratio of herbaceous in addition to the shrubs of the coffee plantations was lower (0.41) than that of forests (0.47), but both were significantly higher than that of the grassy prairie (0.35).

de los bosques (0.47), pero ambos resultaron significativamente superiores al coeficiente de carbono en las herbáceas de las praderas (0.35).

In the flow chart commonly used for the measurement of carbon stored in forest systems, it is advised to use 0.5 as the coefficient of conversion of carbon biomass for all shrubs and herbs (MacDicken,

Table 2. Carbon coefficient by species in the herb layer of *El Chico* National Park, *Hidalgo*, *México*.

Species	Carbon coefficient	Tukey's groups*
<i>Notholaena sinuata</i> (Lag. ex Sw.) Kaulf.,	0.50	a
<i>Lupinus montanus</i> HBK.	0.47	ba
<i>Salvia microphylla</i> HBK.	0.46	b
<i>Adiantum lorentzii</i> Hieron	0.46	bc
<i>Salvia gesneriflora</i> Lindl.	0.44	bcd
<i>Fragaria mexicana</i> Schl.	0.44	bcd
<i>Eryngium carlinae</i> Delar. F.	0.44	bcd
<i>Salvia elegans</i> Vahl.	0.44	bcd
<i>Polypodium polypodioides</i> L.	0.43	cd
<i>Solanum nigrescens</i> Mart. & Gal.	0.43	cd
<i>Sedum praealtum</i> ssp. <i>parvifolium</i> Clausen	0.42	cd
<i>Cirsium ehrenbergii</i> Schl. Bip.	0.42	d
<i>Trisetum altijugum</i> (Fourn.) Scribn.	0.42	d
<i>Sedum moranense</i> ssp. <i>moranense</i> HBK.	0.41	ed
<i>Deschampsia elongata</i> (Hook) Munro	0.41	ed
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	0.38	e
<i>Anagalis arvensis</i> L.	0.38	e

* Equal letters mean that the values are statistically similar ($\alpha = 0.05$).

En el flujograma, a menudo utilizado para la medición del carbono almacenado en sistemas forestales, se recomienda manejar 0.5 como coeficiente de conversión de biomasa a carbono para todos los arbustos y hierbas (MacDicken, 1997). En este trabajo, solo *Juniperus monticola* del estrato arbustivo y *Notholaena sinuata* de las herbáceas presentan valores cercanos al coeficiente de conversión sugerido, por lo que de incorporarse de manera generalizada dicho valor, se sobreestimaría el contenido de carbono en la biomasa de las especies del sotobosque. Por esta razón, para el bosque de oyamel del Parque Nacional El Chico y áreas aledañas, se sugiere manejar los coeficientes de conversión de biomasa a carbono obtenidos para cada especie o el factor promedio por estrato derivados del presente estudio (0.45 para arbustos y 0.43 para herbáceas).

Conclusiones

Las especies estudiadas del estrato arbustivo del bosque de oyamel del Parque Nacional El Chico registraron un intervalo

1997). In this paper, only *Juniperus monticola* of the shrub layer and *Notholaena sinuata* in the herbaceous stratum have conversion coefficient values close those suggested, so if that value is widely used, the carbon content will be overestimated in the biomass of the species of the understory. Therefore, for the fir forest of *El Chico* National Park and surrounding areas, it is recommended to handle the biomass carbon conversion coefficients for each species and the average factor layer obtained in this study (0.45 to shrubs and 0.43 for herbs).

Conclusions

The studied species from the shrub layer of the fir forest of *El Chico* National Park recorded a range of carbon coefficients from 0.41 to 0.50, and an average value of 0.45 which should be used as biomass conversion ratio to carbon for that stratum. For species of the herbaceous layer the range was from 0.38 to 0.50 with an average of 0.43.

de coeficiente de carbono de 0.41 a 0.50, y un valor promedio de 0.45, el cual se debe utilizar como coeficiente de conversión de biomasa a carbono para dicho estrato. Para las especies del herbáceo las cifras varían de 0.38 a 0.50, con un promedio de 0.43.

El uso de los valores de coeficientes de conversión de biomasa a carbono permite descartar incertidumbres asociadas al empleo indiscriminado de valores por defecto para la estimación de carbono almacenado en biomasa aérea de los estratos del bosque.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Ramón Razo Zárate: recolecta de material en campo y análisis de carbono de las muestras, redacción y corrección del manuscrito; Alberto José Gordillo Martínez: estructuración y revisión del manuscrito; Rodrigo Rodríguez Laguna: preparación de muestras para la determinación de la concentración de carbono por especie, análisis de resultados, redacción y corrección del manuscrito; Carlos César Maycotte Morales: selección del área de estudio y de las muestras, análisis de resultados y revisión del manuscrito; Otilio Arturo Acevedo Sandoval: análisis estadísticos, revisión y corrección del manuscrito.

Referencias

- Acosta M, M. 2003. Diseño y aplicación de un método para medir los almacenes de carbono en sistemas con vegetación forestal y agrícolas de ladera en México. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Edo. de Méx., México. 135 p.
- Avendaño H, D. M., M. Acosta M., F. Carrillo A. y J. D. Etchevers B. 2009. Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. Revista Fitotecnia Mexicana 32(3):233-238.
- Castañeda M, A., J. Vargas H., A. Gómez G., J. I. Valdez H. y H. Vaquera H. 2005. Acumulación de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Bambusa oldhamii*. Agrociencia 39(1): 107-116.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp). 2005. Programa de conservación y manejo del Parque Nacional El Chico. Semarnat. México, D. F., México. 236 p.
- Figueroa N., C., J. D. Etchevers B., A. Velázquez M. y M. Acosta M. 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. Terra Latinoamericana 23(1): 57-64.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México. 166 p.
- Gómez-Pompa, A. and C. Vázquez-Yanes. 1981. Successional studies of a rain forest in Mexico. In: West, D. C., H. H. Shugart and D. B. Botkin (eds). Forest succession: concepts and applications. Springer-Verlag. New York, NY, USA. pp. 246-266.
- Jiménez P., J., E. J. Treviño G. y J. I. Yreña Y. 2013. Concentración de carbono de especies del bosque de pino-encino en la Sierra Madre Oriental. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 4(17): 50-61.
- Lot, A. y F. Chiang. 1986. Manual de herbario. Consejo Nacional de la Flora de México, A. C. México, D.F., México. 142 p.

Using the values of conversion factors for biomass carbon can eliminate uncertainties associated with the indiscriminate use of default values for estimating biomass carbon stored in the forest strata.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Contribution by author

Ramón Razo Zárate: material collection in the field and carbon analysis of the samples, writing and correction of the manuscript; Alberto José Gordillo Martínez: organization and review of the manuscript; Rodrigo Rodríguez Laguna: sample preparation for determining carbon concentration by species, analysis of results, writing and correction of the manuscript; Carlos César Maycotte Morales: finding of the study area and simple selection, analysis of results and review of the manuscript; Otilio Arturo Acevedo Sandoval: statistical analysis, review and correction of the manuscript.

End of the English version



- MacDicken, K. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Winrock International. Arlington, TX, USA. 87 p.
- Montañez A, M. P., E. Valtierra P. y S. M. Medina T. 2011. Aprovechamiento tradicional de una especie protegida (*Litsea glaucescens*) en "Sierra del Laurel" Aguascalientes, México. Revista Ra Ximhai 7(2): 155-172.
- Musálem, M. A. y R. Gómez G. 2003. Monografía de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental del Valle de México. Texcoco, Edo. de Méx., México. 226 p.
- Musálem M, A. y H. Reyes F. 2003. Monografía de *Juniperus deppeana* Steud. Campo Experimental del Valle de México Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Texcoco, Edo. de Méx., México. 76 p.
- Nakama V., A. Alfieri, R. Casa, A. Lupi, G. López y P. Pathauer. 2003. Secuestro de carbono en plantaciones forestales de la Región Centro Oeste de la Provincia de Buenos Aires. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. 11 p.
- Návar Ch., J. J. y P. A. Domínguez C. 2013. Modelos de incremento y rendimiento: ejemplos y aplicaciones para bosques templados mexicanos. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 4 (18): 8-27.
- Razo Z., R., A. J. Gordillo M., R. Rodríguez L., C. C. Maycotte M. y O. A. Acevedo S. 2013. Estimación de biomasa y carbono almacenado en árboles de oyamel afectados por el fuego en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo, México. Madera y Bosques 19(2):73-86.
- Sánchez O., E. Vega, E. Peters y O. Monroy V. 2003. Conservación de ecosistemas templados de montaña en México. Instituto Nacional de Ecología. Semarnat. México, D. F., México. 315 p.
- Steel R., G. D. y J. H. Torrie. 1986. Bioestadística: principios y procedimientos. McGraw-Hill. México, D. F., México. 622 p.
- Tipper, R. 1998. Update on carbon offsets. Tropical Forest Update 8(1):2-5.

