

# CONCENTRACIÓN DE CARBONO EN EL FUSTE DE 21 ESPECIES DE CONÍFERAS DEL NORESTE DE MÉXICO

## CARBON CONCENTRATION IN THE STEM OF 21 CONIFER SPECIES FROM NORTHEASTERN MEXICO

José Israel Yerena Yamallel<sup>1</sup>, Javier Jiménez Pérez<sup>1</sup>, Oscar Alberto Aguirre Calderón<sup>1</sup>,  
Eduardo Javier Treviño Garza<sup>1</sup> y Eduardo Alanís Rodríguez<sup>1</sup>

### RESUMEN

En el noreste del país no se cuenta con información sobre la concentración de carbono por especie forestal, por lo que es necesario iniciar trabajos específicos para establecer las bases metodológicas sobre su registro. Por medio del presente estudio se determinó la concentración de carbono en el fuste de 21 especies de coníferas que crecen en la región noreste de México, específicamente en los estados de Nuevo León y Coahuila; para ello se utilizó un equipo analítico denominado *Solids TOC Analyzer*, que funciona por combustión completa a 900 °C y con un detector infrarrojo no dispersivo. La colecta de las muestras se hizo con un método no destructivo que consiste en extraer una porción de la sección transversal del fuste. En total se analizaron 210 muestras procedentes de 70 individuos. A partir de un análisis de varianza se obtuvieron diferencias significativas en los fustes ( $P < 0.0001$ ), que variaron de  $45.67 \pm 1.08\%$  en *Pinus remota* a  $51.18 \pm 0.62\%$  en *Juniperus flaccida*, la cual alcanzó el porcentaje más alto, con una media general de  $48.39 \pm 2.03\%$ . Si se conoce la concentración de carbono por especie y la biomasa por individuo es factible estimar el contenido de carbono en los ecosistemas con mayor precisión, cuando se hacen los inventarios forestales.

**Palabras clave:** Concentración de carbono, coníferas, ecosistemas forestales, *Juniperus flaccida* Schltld., *Pinus remota* (Little) Bailey et Hawksw., *Solids TOC Analyzer*.

### ABSTRACT

There is no information on the carbon concentration accomplished by forest species that grow at the Northeast of the country, a fact that makes it necessary to initiate specific work to establish methodological bases to keep a record. Through this study was determined the carbon concentration in the stem of 21 species of conifers that grow in the northeast of Mexico, specifically in the states of Nuevo Leon and Coahuila, by using a *Solids TOC Analyzer* analytical equipment that works with complete combustion at 900 °C, through a non-dispersive infrared detector. For the collection of samples was used a non-destructive method, which consisted on the removal of a fraction of the cross section of the stem. A total of 210 samples were taken from 70 individuals. Through an analysis of variance were found significant differences in the stem ( $P < 0.0001$ ), which ranged from  $45.67 \pm 1.08\%$  in *Pinus remota* to  $51.18 \pm 0.62\%$  in *Juniperus flaccida* which recorded the highest per cent value, with a general average of  $48.39 \pm 2.03\%$ . If the carbon concentration for species and the biomass per individual is known, a more accurate estimation of carbon content in ecosystems can be accomplished, when forest inventories are carried out.

**Key words:** Carbon concentration, conifers, forest ecosystems, *Juniperus flaccida* Schltld., *Pinus remota* (Little) Bailey et Hawksw., *Solids TOC Analyzer*.

Fecha de recepción: 10 de agosto de 2011

Fecha de aceptación: 13 de agosto de 2012

---

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Correo-e: yamallel@hotmail.com

## INTRODUCCIÓN

El efecto invernadero ocurre porque la superficie de la Tierra, que es más fría que la del sol, emite energía radiante en forma de longitudes de onda larga y los gases de efecto invernadero (GEI) con fluctuaciones anuales como el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), bióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), clorofluorocarbonos (CFC), ozono ( $\text{O}_3$ ) y el vapor de agua (Houghton y Woodwell, 1989; Dixon *et al.*, 1994; Masera, 1995) absorben algo de esas ondas infrarrojas. Cuando esto sucede, se produce el calentamiento de la atmósfera. Los GEI también despiden radiación infrarroja y la energía vuelve a calentar el relieve terrestre. Al evitar la rápida salida de la radiación infrarroja, los gases actúan como una capa aislante alrededor del planeta, provocando que su superficie sea mucho más caliente que si estuvieran ausentes.

En el fenómeno del calentamiento global, por las acciones del ser humano, los almacenes de carbono se han alterado tanto en la biomasa como en el suelo, principalmente en el subsuelo, de donde se han desenterrado cantidades importantes de carbono mediante la extracción de los combustibles fósiles (petróleo), y con ello se han incorporado GEI al ambiente en grandes proporciones.

Para mitigar el cambio climático se considera viable cualquier acción que tenga como resultado una reducción en las emisiones de los GEI o la sustitución de los combustibles fósiles por biocombustibles. Por otra parte, se reconocen dos opciones básicas para amortiguar el cambio climático en el sector forestal: a) la conservación, que consiste en la preservación de áreas naturales protegidas, el fomento de aplicar manejo sostenible a los bosques naturales y la protección de las áreas arboladas para reducir los incendios, así como evitar las plagas y las enfermedades; y b) el aumento de la extensión de las áreas arboladas, ya sea mediante la reforestación dedicada a recuperar áreas degradadas con actividades como la protección de cuencas, la reforestación urbana, la restauración, el desarrollo de plantaciones comerciales para producir madera, pulpa para papel, hule, etc.; así como, la multiplicación de las plantaciones energéticas y de los sistemas agroforestales. Acciones como las anteriores tienen por objetivo mejorar la fijación de carbono y mantener estables sus depósitos (Masera, 1995).

La propuesta de estrategias dirigidas a la mitigación del cambio climático depende del conocimiento de la dinámica del carbono en los ecosistemas forestales y las modificaciones de sus flujos, derivadas de los patrones de cambio de uso del suelo; a su vez, es indispensable poseer información básica sobre los contenidos de carbono en los diferentes depósitos del ecosistema (Ordóñez, 1999; Pagiola *et al.*, 2002), pero, además, es necesario contar con la colaboración de los gobiernos para apoyar las labores requeridas y efectivas.

## INTRODUCTION

The greenhouse effect occurs as the surface of the Earth, which is colder than that of the sun, generates radiant energy as long wavelengths and greenhouse effect gasses (GEG), with annual fluctuations such as carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ), methane ( $\text{CH}_4$ ), nitrous oxide ( $\text{N}_2\text{O}$ ), sulphur dioxide ( $\text{SO}_2$ ), chlorofluorocarbons (CFC), ozone ( $\text{O}_3$ ) and water steam (Houghton and Woodwell, 1989; Dixon *et al.*, 1994; Masera, 1995), absorb some of these infrared waves. When this happens, atmospheric heating occurs. GEG also produce infrared radiation and energy reheats the earth's crust. As the fast exit of infrared radiation is avoided, these gasses act as an isolating layer around the planet, provoking that the surface becomes much more hot that if they did not exist.

In the global heating phenomenon, due to human actions, carbon storages have been altered in biomass and in soil as well, mainly in the subsoil, from which important amounts of carbon have been taken out through the extraction of fossil fuels (oil) and with it GEG have been added to the environment in great proportions.

In order to mitigate the climatic change, any action that results in the reduction of GEG emissions or the substitution of fossil fuels by bio-fuels is considered viable. On the other side, two basic options to buffer climatic change in the forest world are acknowledged: a) conservation, which consists in preserving natural protected areas, the encouragement to apply sustainable management to natural forests and protection to tree areas to reduce forest fires, as well as to avoid plagues and diseases; and b) the increment in the tree areas by reforestation appointed to recover degraded lands with activities like basin protection, urban reforestation, restoration, the development of commercial plantations to produce wood, paper pulp, rubber, etc.; as well as the increment of energy plantations and agro-forestry systems. These sort of actions have the aim to improve carbon fixation and to keep their storage stable (Masera, 1995).

The proposal of strategies bound for climate change mitigation depends on the knowledge of the dynamics of carbon in forest ecosystems and the modifications of their flows coming from the patterns of land use change; on the other hand, it is mandatory to have basic information about the contents of carbon in the different depots of the ecosystem (Ordóñez, 1999; Pagiola *et al.*, 2002), but, in addition, it is necessary to count with the aid of the governments to support the demanded and effective labors.

Based on the former, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006) developed the guidelines for the national inventories of greenhouse effect gasses, that provide the methods to measure the carbon deposits on biomass, dead organic matter and organic matter in the soil, which has led to the emission of certification processes of the  $\text{CO}_2$  amounts stored in the different kinds of vegetation.

Dado lo anterior, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2006) desarrolló las directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, que proporcionan los métodos para la medición de los depósitos de carbono en la biomasa, materia orgánica muerta y materia orgánica del suelo; lo que ha llevado a la emisión de procesos de certificación de las existencias de CO<sub>2</sub> almacenadas en distintos tipos de vegetación.

Se han planteado distintas opciones de mitigación tales como innovaciones tecnológicas en los procesos productivos, el uso de energías alternativas a los combustibles fósiles y la posibilidad de “enterrar” el bióxido de carbono en las profundidades del océano o en cavernas, por ejemplo (IPCC, 2005). En la actualidad se toman en cuenta los proyectos forestales para este fin, fundamentalmente, porque a través de la fotosíntesis, la vegetación captura el CO<sub>2</sub> de la atmósfera y lo fija en sus células como carbono, liberando oxígeno. Como resultado de los procesos fisiológicos, las plantas crecen; es así como aproximadamente 50% de su biomasa es carbono (IPCC, 1996; Brown, 1997; Houghton *et al.*, 1999; Brown, 1999). No obstante, diversos 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 hay mucho que hacer con respecto al cambio climático, los bosques constituyen un elemento trascendental en la solución del problema, no solo por su rol en la captura y secuestro de carbono, sino también porque su efecto de sustitución mediante la utilización de sus productos (madera) implica el empleo de menor energía. Lo anterior deriva en la importancia de efectuar investigaciones sobre la captura de carbono en los ecosistemas forestales.

A partir de las consideraciones previas, se estableció el objetivo de generar coeficientes de concentración de carbono en los fustes de las especies de coníferas presentes en el noreste de México, con la finalidad de evaluar su capacidad de captura de este elemento, al estimar su tasa de crecimiento; faltaría por conocer la cantidad de carbono que están almacenando en sus raíces o parte subterránea. De contar con toda la información se podría, entonces, tener la posibilidad de hacer propuestas de mercadeo de carbono sobre bases cuantitativas sólidas. Este tipo de trabajos puede constituir una opción para comprender las dinámicas de secuestro de carbono que tienen los ecosistemas, y de esa manera, tener como alternativa la obtención de ingresos extras por pago de servicios ambientales, en este caso particular por la venta de secuestro de carbono; aunque también podría ser por la captura del agua y el mantenimiento de la biodiversidad, y con ello constituir una opción viable de desarrollo sustentable para las comunidades rurales.

Different mitigation options, have been planned, as well as technological innovations in the productive process, the use of alternative energies against fossil fuels or the possibilities to “bury” carbon dioxide in the depths of the oceans or in caverns, for example (IPCC, 2005). At present are taken into account forest projects with this purpose mainly because through photosynthesis vegetation captures CO<sub>2</sub> from the atmosphere and fix it in their cells as carbon, releasing oxygen. As a result of the physiological process, plants grow, which conforms around 50% of their biomass as carbon (IPCC, 1996; Brown, 1997; Houghton *et al.*, 1999; Brown, 1999). In spite of it, several studies outstand the variability in carbon concentration according to species and tissue of the tree (Lin *et al.*, 2002; Peri *et al.*, 2004; Gayoso and Guerra, 2005; Figueroa *et al.*, 2005; Avendaño *et al.*, 2009). Even if there is plenty of things to do in regard to climatic change, forests are a crucial element for the solution of the problem, not just for their role in carbon capture and sequestration, but also because their substitution effect by the use of their products (wood) implies the use of less energy. This leads to the importance of making research about carbon capture in forest ecosystems.

Starting from the previous considerations, the aim of generating concentration coefficients in the stems of conifers in Northeast Mexico was established in order to assess their carbon capture capacity, by estimating their growth rate; it would still be pending the amount of carbon that their roots or the underground parts are storing. If all the information is available, there would be the possibility to make proposals of marketing carbon upon strong quantitative foundations. This kind of works could become an option to understand the dynamics involved in carbon sequestration of ecosystems, and thus, to count with an alternative to obtain extra income from service payments, in this particular case from, selling carbon sequestration, even though it could also include water sequestration and biodiversity conservation, and become a form to attain sustainable development for rural communities.

## MATERIALS AND METHODS

The regional distribution of conifers in the states of Nuevo Leon and Coahuila was found by making a bibliographic review (Martínez, 1948; Perry, 1991; Critchfield and Little, 1996; Farjon and Styles, 1997; Villarreal, 2001), from which 21 species were selected for their greatest abundance (Table 1); with these same data, the sampling sites were chosen as well.

The sampling sites had the following characteristics: a) to be well preserved, without or with very scarce vegetation that indicates disturbance; b) broad diversity of species; c) with trees of different diameters (5 to 60 cm); with species proper to the type of vegetation (Martínez, 1948), and e) the right conditions to make the measurements that must be done. It is important to highlight that the sampling of individuals was made in a directed



## MATERIALES Y MÉTODOS

La distribución regional de las coníferas en Nuevo León y Coahuila se obtuvo de una revisión bibliográfica (Martínez, 1948; Perry, 1991; Critchfield y Little, 1996; Farjon y Styles, 1997; Villarreal, 2001), a partir de la cual se seleccionaron 21 especies, por ser las de mayor abundancia (Cuadro 1); así mismo, con base en los datos reunidos se determinaron los sitios de muestreo.

Cuadro 1. Especies forestales estudiadas.

Table 1. Forest specie that were studied.

No. de Especie	Nombre Científico	Nombre Común
1	<i>Abies vejarii</i> Martínez	Oyamel
2	<i>Cupressus arizonica</i> Greene	Cedro blanco
3	<i>Juniperus saltilensis</i> M.T. Hall	Enebro
4	<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	Cedro
5	<i>Juniperus erythrocarpa</i> Cory	Táscate
6	<i>Juniperus flaccida</i> Schltld.	Cedrillo
7	<i>Juniperus monosperma</i> (Engelm.) Sarg.	Junípero
8	<i>Juniperus monticola</i> Martínez f. <i>compacta</i> Martínez	Sabino de castillo
9	<i>Picea mexicana</i> Martínez	Ciprés
10	<i>Pinus arizonica</i> Engelm.	Pino real
11	<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltld.	Pinabete
12	<i>Pinus cembroides</i> Zucc.	Piñonero
13	<i>Pinus culminicola</i> Andresen et Beaman	Pino enano
14	<i>Pinus greggii</i> Engelm. ex Parl.	Pino prieto
15	<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	Pino negro
16	<i>Pinus nelsonii</i> Shaw	Piñón colorado
17	<i>Pinus pinceana</i> Gordon	Piñón blanco
18	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	Pino blanco
19	<i>Pinus remota</i> (Little) Bailey et Hawksw.	Piñón
20	<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltld. et Cham.	Ocote
21	<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	Abeto

Los sitios de muestreo tuvieron las siguientes características: a) bien conservado, con poca o nula vegetación indicadora de disturbio; b) amplia diversidad de especies; c) con individuos de diferente diámetro (de 5 a 60 cm); d) presencia de las especies características del tipo de vegetación (Martínez, 1948); y e) condiciones adecuadas para efectuar las mediciones correspondientes. Es importante destacar que el muestreo de los individuos se realizó de forma dirigida y se consideró que tuviesen poca variación en la exposición y estuviesen libres de competencia por luz. Se seleccionaron 70 individuos para las 21 especies.

way and it was taken into account that hillside variation was rather small and that they did not compete for light. 70 examples were selected for the 21 species.

Sampling was made at 1.30 m high, following a non-destructive method that consisted in extracting one core sample of the stem of the tree with a Preesler Haglöf BS007 model borer of 0.50 cm diameter and 40 cm long, which were inserted up

to the core of the tree. In order to avoid as much as possible to generate reaction wood, core samples were taken in the upper part of the stem in regard to slope; immediately after they were extracted, they were kept into polyethylene tubes hermetically sealed so that they did not lose moisture.

The stem cores were processed in the Carbon Laboratory of the University of Nuevo Leon. Each of them was weighed and placed into a VWR 1305U model kiln at 105 °C until they reached a constant weight; after that, barkless sapwood and waterwood were fragmented with a Fritsch pulverisette 2

El muestreo se hizo a una altura de 1.30 m, se utilizó un método no destructivo que consistió en extraer una viruta del fuste del árbol, con un taladro de *Preesler Haglöf* modelo BS007 de 0.50 cm de diámetro y 40 cm de longitud; la barrena se ubicó hasta el centro del árbol. Para evitar, en lo posible, obtener madera de reacción, las virutas se tomaron en la parte superior del fuste a favor de la pendiente; inmediatamente después de la extracción, las muestras se protegieron al colocarlas dentro de tubos de polietileno herméticamente sellados, para que no perdieran humedad.

El procesamiento de las virutas se realizó en el Laboratorio de Carbono de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Cada una de ellas se pesó y se colocó en una estufa de secado VWR modelo 1305U a 105 °C, hasta alcanzar un peso constante; paso seguido, se fragmentaron (albura y duramen, sin corteza) en un molino pulverizador *Fritsch* modelo pulverisette 2, para dejarlas en fracciones menores de 10  $\mu$ , que fueron depositadas en bolsas de plástico previa identificación.

La concentración de carbono se determinó con un equipo analítico *Solids TOC Analyzer* de *O-I-Analytical*, que utiliza muestras sólidas que procesa a combustión completa, a 900 °C; los gases producto de la combustión pasan a través de un detector infrarrojo no dispersivo que contabiliza las moléculas de carbono contenidas en ellos. En total se analizaron 210 virutas de 70 individuos.

Los resultados se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y, en seguida, a una prueba de comparación de medias con la prueba de Tukey (Statsoft, 2005).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza determinó que existen diferencias significativas entre la concentración promedio de carbono de los fustes de las especies ( $P < 0.0001$ ). En *Pinus remota* (Little) Bailey et Hawksw. y *Pinus culminicola* Andersen et Beaman se registraron los menores porcentajes con 45.67% y 46.13%, respectivamente. En cambio, *Juniperus flaccida* Schltdl. resultó con el valor más alto (51.18%), la media general fue de 48.39% (Cuadro 2).

Al efectuar la prueba de comparación de medias de Tukey con una confiabilidad de  $\alpha = 0.05$ , *Pinus remota*, *Pinus culminicola*, *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, *Pinus hartwegii* Lindl., *Picea mexicana* Martínez, *Pinus greggii* Engelm. ex Parl., *Abies vejarii* Martínez y *Pinus nelsonii* Shaw presentaron concentraciones de carbono estadísticamente diferentes e inferiores a *Cupressus arizonica* Green, *Juniperus monticola* Martínez f. *compacta* Martínez, *Pinus arizonica* Engelm., *Juniperus ashei* J. Buchholz, *Pinus pinceana* Gordon, *Pinus cembroides* Zucc., *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Juniperus deppeana* Steud., *Juniperus erythrocarpa* Cory y *Juniperus flaccida* (Cuadro 2).

model duster mill, to get smaller fragments of 10  $\mu$  which were put into plastic bags previously identified.

Carbon concentration was determined with a *Solids TOC Analyzer* of *O-I-Analytical* equipment which uses solid samples which processes a complete combustion at 900°C. Gases pass through a non-dispersive infrared detector that counts the carbon molecules contained in them. A total number of 210 core stems were analyzed from 70 individuals.

Results were analyzed by an ANOVA and afterwards by Tukey's mean comparison test (Statsoft, 2005).

## RESULTS AND DISCUSSION

The analysis of variance determined that there were significant differences among the average carbon concentration of the stems of the species ( $P < 0.0001$ ). *Pinus remota* (Little) Bailey et Hawksw. and *Pinus culminicola* Andersen et Beaman recorded the lowest per cent numbers, 45.67% and 46.13%, respectively. In contrast, *Juniperus flaccida* Schltdl. reported the highest value (51.18%); the general mean was of 48.39% (Table 2).

When doing the Tukey's mean comparison test ( $\alpha = 0.05$ ) *Pinus remota*, *Pinus culminicola*, *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, *Pinus hartwegii* Lindl., *Picea mexicana* Martínez, *Pinus greggii* Engelm. ex Parl., *Abies vejarii* Martínez and *Pinus nelsonii* Shaw revealed carbon concentrations that are statistically different and lower than *Cupressus arizonica* Green, *Juniperus monticola* Martínez f. *compacta* Martínez, *Pinus arizonica* Engelm., *Juniperus ashei* J. Buchholz, *Pinus pinceana* Gordon, *Pinus cembroides* Zucc., *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Juniperus deppeana* Steud., *Juniperus erythrocarpa* Cory and *Juniperus flaccida* (Table 2).

The results of carbon concentration by species point out that 16 of them had values lower than 50%, that are coincidental with that declared by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006), which records for the biomass of vegetal organisms, 50% of carbon in average; other authors have records similar to these here referred: Francis (2000) estimated a range between 48.9% and 54.9% for 20 species in secondary forests, in the pole state in Puerto Rico: Peri et al. (2004) documented an average of 48.9% for a *Nothofagus pumilio* (Poepp et Endl.) Krasser in Argentina; Figueroa et al. (2005) registered a range from 47.3 to 51.3% for six species in the tropical forest of the rainy zone of Sierra Norte of Oaxaca; Lin et al. (2002) describe results with a difference from 45.69% to 51.84% for 47 woody species (24 and 23 exotic) of the Silin province at NE of China; Gayoso and Guerra (2005) found differences from 34.86% to 48.31% for 16 species of native forests of Chile, only of organic carbon; Avendaño et al. (2009) obtained an average of 46.48 % of carbon in the biomass of *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham forests in Tlaxcala state. In Australia, Gifford (2000) determined that carbon concentration in woody

Cuadro 2. Concentración de carbono de los fustes por especie (%).

Table 2. Carbon concentration in stems per species (%).

Especie	Media $\pm$ SD	Agrupación
		Tukey
<i>Pinus remota</i> (Little) Bailey et Hawksw.	45.67 $\pm$ 1.08	a
<i>Pinus culminicola</i> Andersen et Beaman	46.13 $\pm$ 1.68	ab
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	46.76 $\pm$ 0.95	ab
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	46.87 $\pm$ 0.68	abc
<i>Picea mexicana</i> Martínez	46.98 $\pm$ 1.43	abcd
<i>Pinus greggii</i> Engelm. ex Parl.	47.13 $\pm$ 1.17	abcd
<i>Abies vejarii</i> Martínez	47.35 $\pm$ 1.04	abcde
<i>Pinus nelsonii</i> Shaw	47.41 $\pm$ 1.91	abcde
<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.	47.48 $\pm$ 0.91	bcde
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltdl.	48.86 $\pm$ 1.43	cdef
<i>Juniperus monosperma</i> (Engelm.) Sarg.	49.11 $\pm$ 1.18	defg
<i>Cupressus arizonica</i> Greene	49.23 $\pm$ 1.63	efgh
<i>Juniperus monticola</i> Martínez f. <i>compacta</i> Martínez	49.34 $\pm$ 1.23	efgh
<i>Pinus arizonica</i> Engelm.	49.36 $\pm$ 2.01	fgh
<i>Juniperus ashei</i> J. Buchholz	49.63 $\pm$ 1.01	fgh
<i>Pinus pinceana</i> Gordon	49.91 $\pm$ 0.79	fgh
<i>Pinus cembroides</i> Zucc.	50.25 $\pm$ 1.81	gh
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	50.35 $\pm$ 1.00	gh
<i>Juniperus deppeana</i> Steud.	50.65 $\pm$ 1.46	gh
<i>Juniperus erythrocarpa</i> Cory	50.66 $\pm$ 0.80	gh
<i>Juniperus flaccida</i> Schltdl.	51.18 $\pm$ 0.62	h

SD = desviación estándar; Medias con la misma letra son estadísticamente similares, Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

SD = standard deviation; Means with the same letter are statistically similar, Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

Los resultados de la concentración de carbono por especie indican que 16 de ellas tuvieron valores menores a 50%, que coinciden con lo citado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2006), que consigna para la biomasa de los organismos vegetales en promedio 50% de carbono; otros autores registran cifras similares a las aquí reunidas: Francis (2000) estimó un intervalo de 48.9% a 54.9% para 20 especies en bosques secundarios, en estado de litizal, en Puerto Rico; Peri *et al.* (2004) documentan un promedio de 48.9%, para un bosque de ñire (*Nothofagus pumilio* (Poepp et Endl.) Krasser) en Argentina; Figueroa *et al.* (2005) consignan de 47.3 a 51.3% para seis especies en el bosque tropical de zona lluviosa de la Sierra Norte de Oaxaca; Lin *et al.* (2002) refieren resultados con una diferencia de 45.69% a 51.84% para 47 especies maderables (24 y 23 exóticas) de la provincia Silin en el NE de China; Gayoso y Guerra (2005), para 16 especies de bosques nativos de Chile, hallaron diferencias de 34.86% a 48.31%, pero solo de carbono orgánico; Avendaño *et al.* (2009) para bosques de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham en el estado de Tlaxcala obtuvieron un promedio de 46.48 % de carbono en su biomasa. En Australia, Gifford (2000) señala

elements depends of the balance of compounds such as lignine and minerals.

In a previous study, Díaz (2008) by using the same Solids TOC Analyzer equipment, concluded the total carbon content in the stems and branches of conifer species is similar, as well as in the crosscutting section of the stem (at 0.3, 1.3, 3.3, 5.3, 7.3, 9.3, 11.3, 13.3, 15.3 m); therefore, in the actual research only the stem at a specific height was considered. To determine the average amount of carbon pondered by tree it is necessary to know the distribution of biomass in its different components, and it is the stem, in most cases, which provides the greatest biomass and the part that carries the pondered average over the average content.

## CONCLUSIONS

Carbon concentration of the stems of species from Nuevo Leon and Coahuila varied from 45.67 (*Pinus remota*) of 51.18% (*Juniperus flaccida*), with 48.39% as a mean with significant differences among species.

que la concentración de carbono en componentes leñosos dependerá de la proporción de compuestos como la lignina y minerales.

En un estudio previo, Díaz (2008) con el mismo equipo analítico *Solids TOC Analyzer* concluyó que el contenido de carbono total en los componentes fuste y ramas de especies de coníferas es similar, de igual forma en la sección longitudinal de fuste (a 0.3, 1.3, 3.3, 5.3, 7.3, 9.3, 11.3, 13.3, 15.3 metros); por tal motivo, en la presente investigación solo se consideró el fuste a una altura específica. Para calcular el contenido de carbono promedio ponderado por árbol es necesario conocer la distribución de la biomasa en los diferentes componentes del mismo y es el fuste, en la mayoría de los casos, el que aporta la mayor cantidad de biomasa y el que lleva al promedio ponderado por encima del promedio.

## CONCLUSIONES

La concentración de carbono en los fustes de especies de Nuevo León y Coahuila varió de 45.67 (*Pinus remota*) a 51.18% (*Juniperus flaccida*), con una media de 48.39%, con diferencias significativas entre las especies.

De acuerdo a la prueba de Tukey, se formaron ocho grupos ( $\alpha=0.05$ ). El primer grupo estuvo constituido por *Pinus remota*, *Pinus culminicola*, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus hartwegii*, *Picea mexicana*, *Pinus greggii*, *Abies vejarii*, *Pinus nelsonii*, con un porcentaje promedio de carbono de 46.79%; mientras que el octavo grupo reúne a *Cupressus arizonica*, *Juniperus monticola*, *Pinus arizonica*, *Juniperus ashei*, *Pinus pinceana*, *Pinus cembroides*, *Pinus pseudostrabus*, *Juniperus deppeana*, *Juniperus erythrocarpa* y *Juniperus flaccida* con un porcentaje promedio de carbono de 50.06%.

Las concentraciones de carbono en los fustes de *Pinus remota*, *Pinus culminicola*, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus hartwegii*, *Picea mexicana*, *Pinus greggii*, *Abies vejarii*, *Pinus nelsonii*, *Pinus teocote*, *Pinus ayacahuite*, *Juniperus monosperma*, *Cupressus arizonica*, *Juniperus monticola*, *Pinus arizonica*, *Juniperus ashei* y *Pinus pinceana* revelaron valores inferiores a los que el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático reconocen como válidos. 🌿

## AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Nacional Forestal, por el apoyo financiero otorgado al proyecto "Determinación del contenido de carbono en especies forestales de tipo arbóreo en el noreste de México (Nuevo León y Coahuila)" Clave: PEO7.13.

According to Tukey, eight groups were formed ( $\alpha=0.05$ ). The first group was made up by *Pinus remota*, *Pinus culminicola*, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus hartwegii*, *Picea mexicana*, *Pinus greggii*, *Abies vejarii* and *Pinus nelsonii*, with 46.79% as an average carbon per cent; while the eighth group gathers *Cupressus arizonica*, *Juniperus monticola*, *Pinus arizonica*, *Juniperus ashei*, *Pinus pinceana*, *Pinus cembroides*, *Pinus pseudostrabus*, *Juniperus deppeana*, *Juniperus erythrocarpa* and *Juniperus flaccida* with an average carbon per cent of 50.06%.

Carbon concentration in the stems of *Pinus remota*, *Pinus culminicola*, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus hartwegii*, *Picea mexicana*, *Pinus greggii*, *Abies vejarii*, *Pinus nelsonii*, *Pinus teocote*, *Pinus ayacahuite*, *Juniperus monosperma*, *Cupressus arizonica*, *Juniperus monticola*, *Pinus arizonica*, *Juniperus ashei* and *Pinus pinceana* recorded lower values than those acknowledged by the Intergovernmental Panel on Climate Change. 🌿

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the National Forest Commission for their financial support provided to the project entitled as "Determinación del contenido de carbono en especies forestales de tipo arbóreo en el noreste de México (Nuevo León y Coahuila)" Key number PEO7.13.

End of the English version



## REFERENCIAS

- Avendaño, D., M. Acosta, F. Carrillo y J. Etchevers. 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. Rome, Italy, 55 p.
- Brown, S. 1999. Guidelines for inventorying and monitoring carbon offsets in forest-based projects. Winrock International for the World Bank. Arlington, VA, USA. 11 p.
- Critchfield, W. B. and E. L. Little. 1996. Geographic distribution of the pines of the world. USDA Forest Service Miscellaneous Publication 991. <http://esp.cr.usgs.gov/data/atlas/little> (13 de enero de 2009).
- Díaz, J. 2008. Contenido de carbono total en los componentes de la biomasa aérea de las especies representativas del bosque de pino - encino en la Sierra Madre Oriental. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L., México. 60 p.
- Dixon, R. K., S. Brown, R. A. Houghton, A. M. Solomon, M. C. Trexler and J. Wisniewski. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263(5144): 185-190.
- Farjon, A. and B. T. Styles. 1997. *Pinus* (Pinaceae). *Flora Neotropica Monographs* 75. New York Botanical Garden. New York, NY USA. 291 p.
- Figueroa, C., J. D. Etchevers, A. Velázquez y M. Acosta. 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.
- Gayoso, J. y J. Guerra. 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. Australian Greenhouse Office, National Carbon Accounting System, Technical Report N° 22. Canberra, Australia. 17 p.
- Houghton, R. A., J. L. Hackler and K. T. Lawrence. 1999. The US carbon budget: Contributions from land-use change. *Science* 285: 574-577.
- Houghton, R. A. and C. M. Woodwell. 1989. Global climate change. *Scientific American* 260(4): 36-40.
- 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).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2005. La captación y almacenamiento de dióxido de carbono. [http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccspm\\_tss\\_sp.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccspm_tss_sp.pdf). (12 de septiembre de 2011).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. Directrices para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/Spanish/index.html>. (12 de septiembre de 2011).
- Lin, Y. J., C. P. Liu and J. C. Lin. 2002. Measurement of specific gravity and carbon content of important timber species in Taiwan. *Journal of Forest Science* 17(3): 291-299.
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. Ed. Botas, 2ª. ed. México, D. F. México. 361 p.
- Masera, O. 1995. Carbon mitigation scenarios for Mexican forest: Methodological considerations and results. *Interciencia* 20(6): 388-395.
- Ordóñez, A. 1999. Captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. México, D. F. México. 72 p.
- Pagiola, S., J. Bishop and N. Landell-Mills. 2002. Selling forest environmental services: market-based mechanisms for conservation and development. Earthscan, London. UK. 299 p.
- Peri, P., M. Viola and G. Martínez. 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. Santa Cruz, Argentina. 9 p.
- Perry, J. P. Jr. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, OR, USA. 231 p.
- Statsoft. 2005. Statistica (Data Analysis Software System). (7.1). CD-ROM. Tulsa, OK, USA. s/p.
- Velásquez, A., J. Mas F., R. Mayorga S., J. Palacio L., G. Bocco, G. Gómez R., L. Luna G., I. Trejo, J. López G., M. Palma, A. Peralta, y J. Prado M. 2001. Inventario Forestal Nacional 2000: Potencial de Uso y Alcances. *Ciencias* 64: 13-19.
- Villarreal J., A. 2001. Listado florístico de México. XXIII Flora de Coahuila. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. 1ª. ed. México, D. F., México. 137 p.