



Artículo / Article

## Contenido y captura potencial de carbono en la biomasa forestal de San Pedro Jacuaro, Michoacán

## Carbon content and its potential sequestration in the forest biomass of *San Pedro Jacuaro, Michoacán State*

José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz<sup>1</sup>, Ricardo Rivera Vázquez<sup>2</sup>,  
María Erika Tapia Medina<sup>3</sup> y Luis Raúl Ahedo Hernández<sup>4</sup>

### Resumen

Como consecuencia del aumento de las concentraciones de carbono en la atmósfera y su repercusión en el cambio climático global ha surgido la necesidad de determinar la cantidad de carbono almacenado en los ecosistemas, de los cuales los bosques templados representan un gran potencial de captura del mismo en sus diferentes depósitos (biomasa aérea o forestal, suelo y mantillo); la biomasa aérea comprende el fuste, las hojas y las ramas. Este estudio se llevó a cabo en el ejido de San Pedro Jacuaro, en el estado de Michoacán, porque sus bosques tienen un buen estado de conservación y están bajo manejo. Se realizaron dos estimaciones, conservadora y real, del contenido de carbono en dicha biomasa. La primera varió entre 67 y 177 Mg C ha<sup>-1</sup>, con promedio ponderado de 103.1 Mg C ha<sup>-1</sup>. La segunda registró valores de 71 a 198 Mg C ha<sup>-1</sup>, con un promedio ponderado de 129.1 Mg C ha<sup>-1</sup>; respecto a la captura potencial de carbono se estimó que el bosque fija 1.54 Mg C ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, que corresponde a 5.65 Mg CO<sub>2</sub>e ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> en las 1 842 ha, lo que hace posible estimar que, potencialmente, puede hacerlo con un total de 2 837 Mg C año<sup>-1</sup>, que equivalen a 10 401.16 Mg CO<sub>2</sub>e año<sup>-1</sup>. Estos resultados sugieren que el área de estudio sea atractiva para proyectos de captura de carbono como REDD+.

**Palabras clave:** Almacenes de carbono, biomasa aérea, bosques templados, contenido de carbono, ecuación alométrica, Michoacán.

### Abstract

As a result of increased carbon concentrations in the atmosphere and their impact on global climate change it has become necessary to determine the amount of carbon stored in ecosystems, from which temperate forests represent a great potential for capturing it in different deposits (aerial or forest biomass, soil and litter); aerial biomass comprises the stem, leaves and branches. This study took place in the *ejido* of *San Pedro Jacuaro*, in the state of *Michoacán*, because their forests are well preserved and are under management. Two estimates, conservative and real, of carbon content in the aerial or aboveground biomass were carried out. The first varied between 67 and 177 Mg C ha<sup>-1</sup>, Mg C weighted average of 103.1 ha<sup>-1</sup>. The second recorded values Mg C 71-198 ha<sup>-1</sup>, with a weighted average of 129.1 Mg C ha<sup>-1</sup>; regarding the potential of carbon capture is estimated that the forest fixed 1.54 Mg C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, corresponding to 5.65 Mg CO<sub>2</sub>e ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> and in 1 842 has, making it possible to estimate that can potentially do a total of Mg C 2 837 yr<sup>-1</sup>, equivalent to 10 401.16 Mg CO<sub>2</sub>e yr<sup>-1</sup>. These results suggest that the study area is attractive for carbon sequestration projects like REDD+.

**Key words:** Carbon deposits, aboveground biomass, temperate forests, carbon content, allometric equation, *Michoacán*.

Fecha de recepción/date of receipt: 12 de febrero de 2014; Fecha de aceptación/date of acceptance: 10 de julio de 2015.

<sup>1</sup> Servicios Ambientales y Cambio Climático, A. C.

<sup>2</sup> Campo Experimental Bajío, CIR Centro, INIFAP.

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Correo-e: erikatapia@inecc.gob.mx

<sup>4</sup> Centro de investigación en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México.

## Introducción

El cambio climático global (CCG) es el resultado del incremento en la temperatura superficial del planeta y representa uno de los problemas ambientales más serios que enfrenta la humanidad desde hace más de una década (IPCC, 2001).

Los bosques constituyen un valioso almacén de carbono porque son fuentes de mitigación o reducción de gases de efecto invernadero (GEI), en particular de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Sin embargo, cuando son perturbados o destruidos, las reservas de este elemento en la biomasa aérea son removidas de forma parcial o total del lugar de origen y, posteriormente, transformadas en productos maderables o liberadas a la atmósfera por combustión o en un periodo más largo mediante descomposición microbiana (Ordóñez *et al.*, 2008).

Dentro de la vegetación forestal, los estratos arbóreo y herbáceo reúnen la mayor biomasa, y por lo tanto, de carbono; su capacidad de almacenamiento y captura dependen de la comunidad vegetal, el clima, la humedad, la especie, la calidad del sitio y la densidad, por ejemplo (Ordóñez, 1999). Los principales componentes de la biomasa aérea del estrato arbóreo son el fuste, las ramas y el follaje.

Los bosques templados del centro y sur de México experimentan, en la actualidad, un acelerado proceso de deforestación y degradación, con tasas de cambio comparables al de las selvas del país. Bocco *et al.* (2001) señalan que la deforestación en Michoacán varía de 1.0 a 1.8 % anual en bosques templados y selvas, respectivamente, que se ubican entre los porcentajes más altos del país.

En México no se cuenta con información pormenorizada de los almacenes de carbono por tipo de ecosistema y uso del suelo, ni tampoco de sus flujos netos, derivados de los patrones de cambio de uso del suelo a escala regional (Ordóñez, 1999).

El presente estudio pretende contribuir al conocimiento de los contenidos de carbono en bosques templados mediante un análisis detallado, que consistió en una estimación del contenido y captura potencial de carbono en biomasa aérea del ejido de San Pedro Jacuaro, Michoacán, además de rodalizar y estimar las superficies arboladas del lugar, de hacer un inventario forestal con el propósito de cuantificar el volumen en metros cúbicos de madera y calcular el contenido de carbono por superficie total y por hectárea en biomasa aérea.

Se seleccionó este ejido para llevar a cabo el proyecto porque incluye un bosque natural en buen estado de conservación que está sujeto a un manejo forestal que así lo mantiene.

## Introduction

Global Climate Change (GCC) is the result of the increment in the temperature of the planet's surface and it is one of the most serious environmental problems faced by humanity since over a decade ago (IPCC, 2001).

Forests act as a valuable deposit of carbon since they are greenhouse effect gases (GEG) mitigation or reduction sources, particularly carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ). However, when they are disturbed or destroyed, the reserves in the aboveground biomass are partially or totally removed from their original source, and later, transformed into wooden products or released into the atmosphere by combustion or in a longer time, by microbial decomposition (Ordóñez *et al.*, 2008).

Within the forest vegetation, tree and herbaceous strata put together the highest biomass, and, therefore, carbon; storage capacity and capture depend on plant community, weather, moisture, species, site quality and density, for example (Ordóñez, 1999). The main components of the aboveground biomass of the tree layer are the stem, the branches and the foliage.

The temperate forests of central and southern Mexico currently experience an accelerated process of deforestation and degradation, with rates comparable to that of the country's forests change rates. Bocco *et al.* (2001) mention that deforestation in Michoacán ranges from 1.0 to 1.8 % per year in temperate and tropical forests, respectively, which are among the highest in Mexico.

In Mexico there is no thorough information on carbon stocks by ecosystem type and land use, nor of its net flows, derived from the patterns of land use change on a regional scale (Ordóñez, 1999).

This study aims to make a contribution to the knowledge of the content of carbon in temperate forests through a detailed analysis that comprises the estimation of the potential carbon content and capture in the aboveground biomass of the *ejido* of San Pedro Jacuaro, Michoacán, plus making stands and to estimate the tree areas of the place, making a forest inventory in order to quantify the cubic meters of wood volume and calculate the carbon content by total area and biomass per hectare.

The *ejido* was selected to carry out the project that includes a natural forest in good condition that is subject to forest management that keeps it that way.

## Materials and Methods

The study area is located between the 2°19'10" north latitude and west longitude and 2°18'00" north latitude with west

## Materiales y Métodos

El área de estudio se localiza entre las coordenadas latitud norte 2'191 000 longitud oeste y latitud norte con 2'180 000 longitud oeste, en la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico y la subprovincia Mil Cumbres a una altitud de 1 500 a 3 000 m (Figura 1). El área comprende una superficie aproximada de 1 842 ha.

longitude in the *Eje Neovolcánico* physiographic province and the *Mil Cumbres* subprovince at 1 500 to 3 000 m (Figure 1) over 1 842 has.

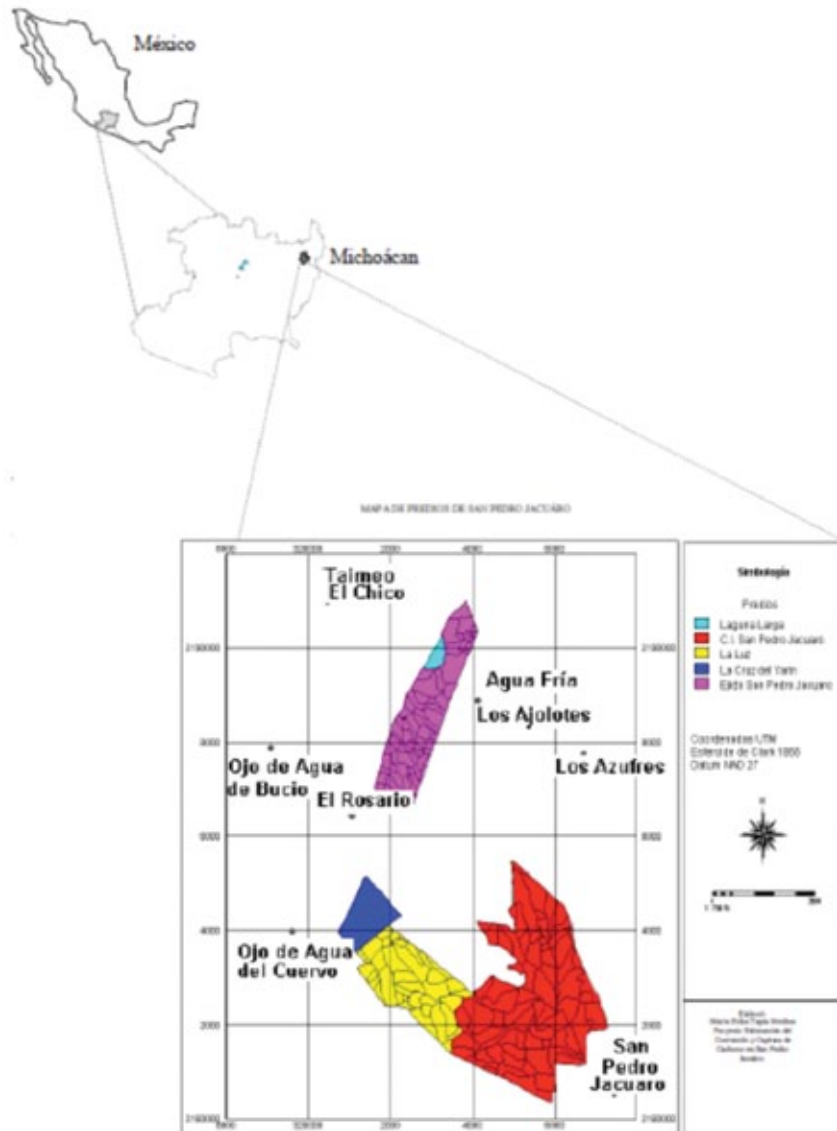


Figura 1. Ubicación del área de estudio, San Pedro Jacuaro, municipio Ciudad de Hidalgo, Michoacán.

Figure 1. Location of the study area, *San Pedro Jacuaro*, *Ciudad de Hidalgo* municipality, *Michoacán*.

Se identificaron 11 tipos de sitios o rodales existentes en los predios seleccionados, en los cuales se establecieron siete parcelas de muestreo por rodal, lo que dio un total de 77 que constituye un número representativo de la superficie total de acuerdo a la fórmula de tamaño de muestra siguiente:

$$N = \frac{t^2(S\%)^2}{(E\%)^2}$$

Donde:

- N = Número de la muestra
- t<sup>2</sup> = Valor de tablas de t de Student
- (S%)<sup>2</sup> = Coeficiente de varianza
- (E%)<sup>2</sup> = Error 5 %

Para diferenciar los tipos de sitio se aplicó el método de Bocco *et al.* (1991), que utiliza un sistema de información geográfica (SIG) para dar atributos al área y establecer unidades de paisaje. Cada parcela de muestreo consistió de tres círculos de 1 000 m<sup>2</sup> (Velasco *et al.*, 2002). Dentro de cada uno se estableció otro interior de 500 m<sup>2</sup> (Figura 2).

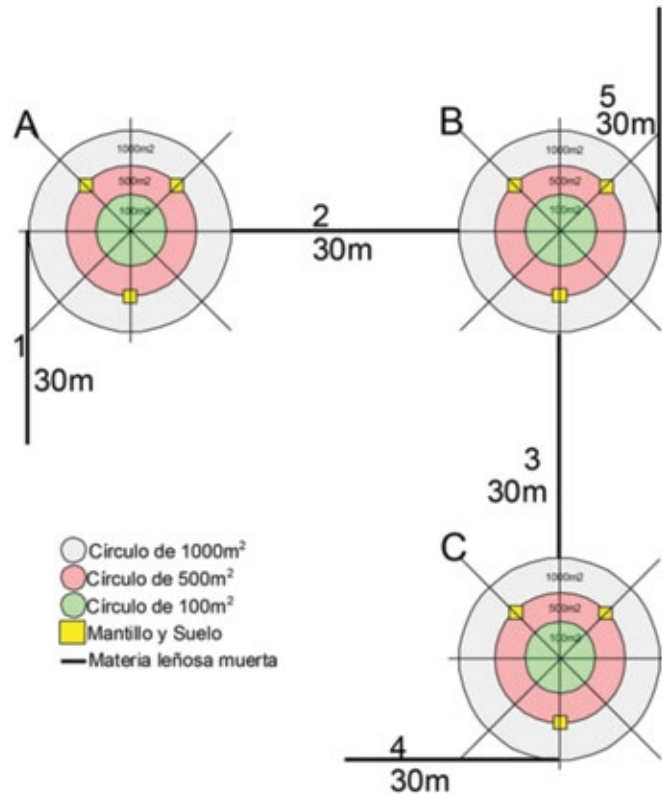
Eleven types of sites or stands present at the selected lands were determined, in which seven sampling plots were established by each stand, which summed up 77, which, based upon the sampling intensity, is representative of the total area, according to the following formula of sample size:

$$N = \frac{t^2(S\%)^2}{(E\%)^2}$$

Where:

- N = Number of the sample
- t<sup>2</sup> = Value of Student t tables
- (S%)<sup>2</sup> = Variance coefficient
- (E%)<sup>2</sup> = 5 % Error

In order to distinguish the type of sites, Bocco's method (Bocco *et al.*, 1991) was applied, as it uses a geographic information system (GIS) to characterize the place and define landscape units. Each sampling plot was made up by three 1 000 m<sup>2</sup> circles (Velasco *et al.*, 2002), inside of which was included a smaller one of 500 m<sup>2</sup> (Figure 2).



Fuente: Ordóñez *et al.*, 2008; Ordóñez, 2012.

Source: Ordóñez *et al.*, 2008; Ordóñez, 2012.

Figura 2. Diseño de las parcelas de muestreo.

Figure 2. Sampling plots design.

Para estimar el contenido de carbono de la biomasa aérea del bosque se siguió el procedimiento basado en Brown y Roussopoulos (1974), SARH (1995) y Brown y Delaney (2000). Este método consiste en medir el DN (diámetro normalizado o diámetro a la altura del pecho) a 1.30 m en todos los árboles con tallas superiores a esa dimensión.

Posteriormente, a partir del rodal por los tipos de vegetación existente (pino o encino), se seleccionaron cuatro ecuaciones genéricas (Ayala, 2001) para estimar el volumen total con base en el DN y la altura.

$$\text{Pinos} = 0.084 * D^{2.47} \quad (1)$$

$$\text{Pinos} = 0.084 * (D^2 A)^{0.919} \quad (2)$$

$$\text{Encinos} = 1.91 * D^{1.782} \quad (3)$$

$$\text{Encinos} = 0.283 * (D^2 A)^{0.807} \quad (4)$$

Donde:

DN = Diámetro normalizado

A = Altura

Estas ecuaciones permiten hacer una estimación más precisa cuando se toma la altura, en comparación con las que solo incorporan al DN, que conducen a otras conservadoras o bajas, y, por lo tanto, no incurrir en sobreestimaciones.

Para determinar la biomasa, se multiplicó el volumen por la densidad de la madera (0.45 g cm<sup>-3</sup> para pino y 0.60 g cm<sup>-3</sup> para encino) (INECC, 2013), paso seguido, por el número de individuos en el sitio y este cálculo se extrapoló a hectárea y superficie total del estudio. Finalmente, para determinar el contenido de carbono se multiplicó el valor de la biomasa por la concentración de carbono 0.5 (IPCC, 1996 y 2003; Ordóñez, 2008).

Además, para conocer la evolución de los contenidos de carbono en el bosque se decidió usar el ICA (Incremento Corriente Anual) mediante el método de Loetsch (Ordóñez y Masera, 2001). El ICA es el aumento volumétrico de un árbol, que está influenciado por la especie, la edad, el tipo de suelo, la humedad y la competencia, entre otros factores, que en suma constituyen la calidad del sitio, y al realizar el análisis dimensional se pasa de m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> a Mg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Ordóñez, 2008).

## Resultados

El contenido de carbono en la vegetación del área de estudio se calculó con una estimación alta y una baja; la primera indicó un total de 129.1 Mg C ha<sup>-1</sup>, con valores entre 71 y 198 Mg C ha<sup>-1</sup>, mientras que la segunda dio un total de 103.1 Mg C ha<sup>-1</sup>, con valores entre 67 y 177 Mg C ha<sup>-1</sup>. En la Figura 3 se aprecian diferencias significativas entre la

For the estimation of carbon content of the forest aboveground biomass, the procedure recommended by Brown and Roussopoulos (1974), SARH (1995) and Brown and Delaney (2000) was followed. This method measures ND (normal diameter or at breast height) at 1.30 m in all the trees with sizes above this number.

Afterwards, from a stand according to the existing types of vegetation (pine and oak), four generic equations (Ayala, 2001) were selected to estimate the total volume based upon ND and height.

$$\text{Pines} = 0.084 * D^{2.47} \quad (1)$$

$$\text{Pines} = 0.084 * (D^2 A)^{0.919} \quad (2)$$

$$\text{Oaks} = 1.91 * D^{1.782} \quad (3)$$

$$\text{Oaks} = 0.283 * (D^2 A)^{0.807} \quad (4)$$

Where:

ND = Normal diameter

A = Height

This equations favor a more precise estimation when height is considered, compared to those that only include ND, which lead to others, lower or more conservative, and, therefore, do not fall into overestimations.

To determine biomass, volume was multiplied by wood density (0.45 g cm<sup>-3</sup> for pine and 0.60 g cm<sup>-3</sup> for oak) (INECC, 2013); next, by the number of individuals at the site and the calculation was transferred to the hectare and the total area of the study. Finally, to determine carbon content, the value of biomass was multiplied by the 0.5 carbon concentration (IPCC, 1996 and 2003; Ordóñez, 2008).

In addition, in order to know the evolution of carbon contents in the forests, it was decided to use the Current Annual Increment (ICA, for its abbreviation in Spanish) through the Loetsch method (Ordóñez and Masera, 2001). ICA is the volume increase of a tree, which is influenced by the species, age, soil type, moisture and competence, among other factors, that as a whole conform the quality of station and when dimensional analysis is made, values are transformed from m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> into Mg C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> (Ordóñez, 2008).

## Results

The carbon content in the vegetation of the study area was estimated with a high and a low estimate; the first found a total of 129.1 Mg C ha<sup>-1</sup>, with values between 71 and 198 Mg C ha<sup>-1</sup>, while the second gave a total of 103.1 Mg C ha<sup>-1</sup>, with values between 67 and 177 Mg C ha<sup>-1</sup>. Figure 3 shows significant differences between using only the diameter (high) and replaces the value in the allometric equation (one for pines

que usa únicamente el diámetro (alta) y sustituye el valor en la ecuación alométrica (uno para pinos y tres para encinos) y la otra (baja), que considera el diámetro y la altura, y ajusta los valores de la ecuación alométrica (dos para pinos y cuatro para encinos).

and three for oaks) and the other (lower), which considers the diameter and height and adjusts the values of the allometric equation (two for pines and four for oaks).

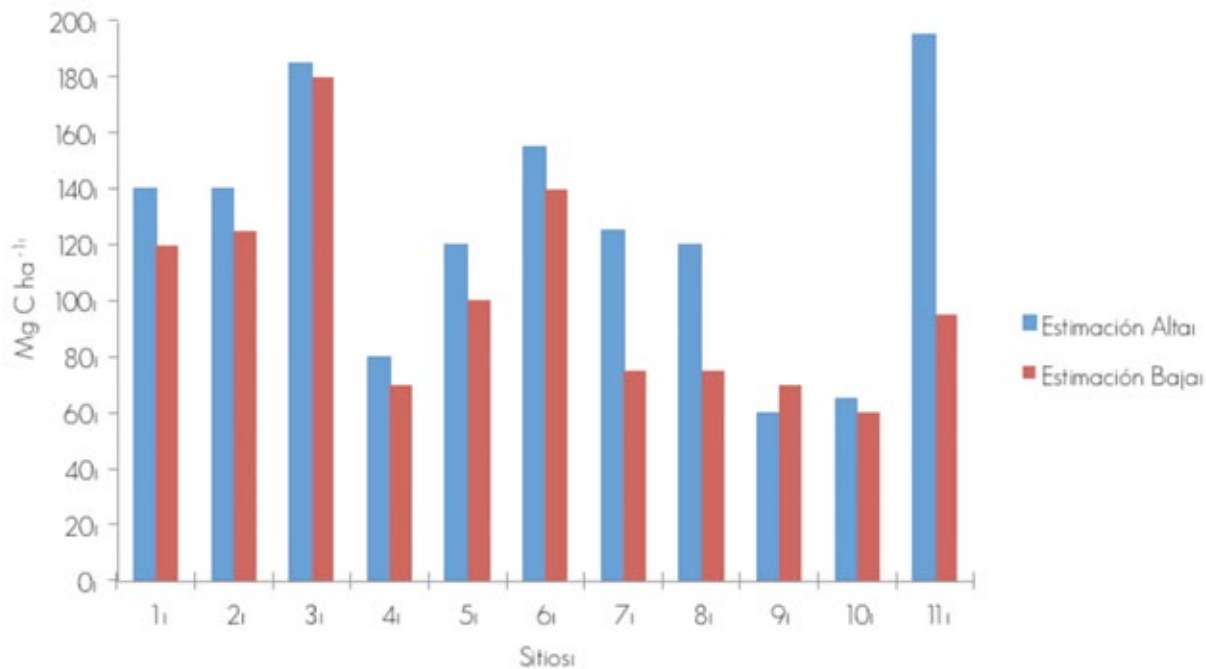


Figura 3. Contenidos de carbono (t C ha<sup>-1</sup> ó Mg C ha<sup>-1</sup>) en biomasa aérea de la vegetación de los sitios de San Pedro Jacuaro, Michoacán.

Figure 3. Carbon content (t C ha<sup>-1</sup> or Mg C ha<sup>-1</sup>) in aboveground biomass of the sites of *San Pedro Jacuaro, Michoacán*.

En la estimación alta la mayor concentración de carbono almacenado se registró en el sitio 11 con 195 Mg C ha<sup>-1</sup>, si bien se contabilizaron más de 2 000 árboles por ha, cabe precisar que los diámetros dominantes eran de 12 y 13 cm (al sustituir los valores en la ecuación uno y tres); en la estimación baja al remplazar los valores (en las ecuaciones dos y cuatro que incorporan el diámetro y la altura), se obtuvo un valor de 95 Mg C ha<sup>-1</sup>; es decir, que se verifica una diferencia de 51 % del valor estimado.

In the high estimate, the greatest concentration of carbon stored was recorded in the 11<sup>th</sup> site with 195 Mg C ha<sup>-1</sup>, even where more than 2 000 trees per hectare were counted, it should be noted that the major diameters were 12 and 13 cm (when replacing values in equation one and three); in the low estimate to replace the values (in equations two and four which include diameter and height), a value of 95 Mg C ha<sup>-1</sup> was obtained, that is, a difference of 51 % from the estimated value is confirmed.

Los sitios 3 y 10 mostraron divergencias porcentuales en el carbono almacenado de 3 y 8 % respectivamente, lo que obedece a que el sitio 3 tiene en promedio 529 árboles ha<sup>-1</sup> con diámetros dominantes de 70 a 75 cm; el sitio 8 tiene 839 árboles ha<sup>-1</sup> con diámetros dominantes de 39 y 40 cm, lo que sugiere que las ecuaciones alométricas seleccionadas no están diseñadas para árboles con diámetros inferiores a 35 cm.

Sites 3 and 10 showed percentage differences in carbon stocks of 3 and 8 % respectively, as site 3 has 529 trees ha<sup>-1</sup> on average with dominant diameters of 70 to 75 cm; site 8 has 839 trees ha<sup>-1</sup> with dominant diameters of 39 and 40 cm, suggesting that the selected allometric equations are not designed for trees with a diameter below 35 cm.

A partir de los parámetros de ICA, se elaboraron escenarios de captura potencial de carbono a 5, 10, 15, 20, 25, 40 y 50 años. Se tomó como premisa que no existiera manejo y que los bosques evaluados se desarrollan de forma natural.

From ICA parameters, potential scenarios were developed to capture carbon after 5, 10, 15, 20, 25, 40 and 50 years. It was taken as a premise that management did not exist and that the evaluated forests develop naturally. Results indicate that there is good potential for carbon sequestration with an

Los resultados indican que existe un buen potencial de captura de carbono con un promedio de  $1.54 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (la media nacional de crecimiento de un bosque natural es de  $1.0 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (INECC, 2013).

Expresado en toneladas de dióxido de carbono equivalente es posible predecir una captura anual de  $565 \text{ Mg CO}_2 \text{ e ha}^{-1}$ , y para las 1 842 ha del predio una captura potencial de carbono de  $10\,401.16 \text{ Mg CO}_2 \text{ e}$ .

## Discusión

Los bosques de coníferas y latifoliadas en México se distribuyen en todo el Eje Transmexicano y prácticamente en todas las cadenas montañosas (Rzedowski, 1994), lo cual demuestra su valor como sumideros de carbono.

Para la estimación del contenido de carbono en un bosque se requiere conocer, en esencia, las existencias de biomasa, lo que facilita determinar los almacenes de carbono y otros elementos químicos en cada uno de sus componentes en una superficie particular (Brown *et al.*, 1996; Ordóñez y Masera, 2001; Ordóñez *et al.*, 2008); para ponderar la cantidad potencial de carbono que puede ser secuestrado se debe medir el crecimiento a partir del volumen fustal (Ordóñez, 2008).

En este estudio se calculó la biomasa de los árboles en pie mediante ecuaciones alométricas y volumétricas a partir de la densidad de la madera de los géneros de interés, aunado al uso de un factor en expansión de biomasa para fustes, sugerida por el IPCC (1996; 2003) y el INECC (2013) para obtener la correspondiente a la totalidad del árbol. En comparación con otras localidades de bosques templados en los que se ha llevado a cabo el proceso, los valores mínimos y máximos de esta investigación superan a los intervalos registrados en experiencias previas (Ordóñez *et al.*, 2008; Ordóñez, 2012; Orozco y Mireles, 2014), que resultaron del uso de ecuaciones genéricas.

Llevar a cabo proyectos de evaluación de carbono en ecosistemas forestales, requiere de métodos de medición confiables, que cumplan con las exigencias establecidas por el IPCC (1996 y 2003), que sean eficientes para medir el contenido y captura potencial de carbono (Ordóñez y Masera, 2001; Ordóñez *et al.*, 2008). Por ello, al hacer una estimación baja del carbono almacenado se cumple la premisa de no sobreestimar los contenidos del elemento en cuestión, lo cual recomienda el IPCC para proyectos de cuantificación del mismo, a fin de reducir incertidumbres. Lo más importante es cubicar *in situ* y estimar con los datos locales las siguientes variables: existencias reales, densidad del arbolado por ha, géneros presentes, volumen por árbol, biomasa por árbol e incremento corriente anual, así como complementar con densidad de la madera por género o

average of  $1.54 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  (the national average growth of natural forest is  $1.0 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  (INECC, 2013).

Expressed in tons of equivalent carbon dioxide it is possible to predict an annual capture of  $565 \text{ Mg CO}_2 \text{ e ha}^{-1}$  and for the 1 842 has of the property, there is a potential carbon capture of  $10\,401.16 \text{ Mg CO}_2 \text{ e}$ .

## Discussion

The forests of conifers and hardwoods in Mexico are distributed around the Transmexican Axis and they exist virtually in all mountain ranges (Rzedowski, 1994), demonstrating their value as carbon sinks.

To estimate the carbon content in a forest it is required to know, essentially, its biomass which allows determining the storage of carbon and other chemical elements in each of its components in a given area (Brown *et al.*, 1996; Ordóñez and Masera, 2001; Ordóñez *et al.*, 2008); to weigh the potential amount of carbon that can be sequestered, growth should be measured from the stem volume (Ordóñez, 2008).

In this study the biomass of standing trees was calculated by allometric and volumetric equations from the wood density of the genres of interest, coupled with the use of a biomass expansion factor for shafts, suggested by the IPCC (1996; 2003) and INECC (2013) for the corresponding to the entire tree. Compared with other locations of temperate forests in which the process have been carried out, the minimum and maximum values of this research surpass the intervals recorded in previous experiences (Ordóñez *et al.*, 2008; Ordóñez, 2012; Orozco and Mireles, 2014), resulting from the use of generic equations.

To carry out carbon assessment projects on forest ecosystems demands reliable measurement methods that meet the requirements established by the IPCC (1996 and 2003), that are efficient to measure the carbon content and potential capture (Ordóñez and Masera, 2001; Ordóñez *et al.*, 2008). Therefore, when making a low estimate of carbon stocks, the premise not to overestimate the content of the element in question is fulfilled, which is recommended by the IPCC for quantification projects thereof, in order to reduce uncertainties. The most important thing is to make *in situ* cubication and to estimate, with local data, the following variables: actual stocks, density of trees per hectare, genders present, volume per tree, tree biomass and current annual increment, complemented by wood density by genus or species, and, finally, to try to justify the use of expansion factors if they should be employed.



especie y, finalmente, tratar de justificar el uso de factores de expansión en caso de ser empleados.

## Conclusiones

Se realizó una estimación del contenido de carbono en biomasa aérea de los bosques del ejido de San Pedro Jacuaro en el estado de Michoacán por medio de ecuaciones alométricas, pues el uso de las ecuaciones genéricas conduce a diferencias significativas de más de 51 % del carbono estimado en la sustitución de valores porque no toman en cuenta diámetros menores de 35 cm. La estimación precisa es de 237 618 Mg C, mientras que la estimación conservadora sugiere un total de 220 642 Mg C en las 1 842 ha que comprenden el área de estudio.

La captura potencial de carbono es de 1.54 Mg C ha<sup>-1</sup>, lo que en toneladas de dióxido de carbono equivalente es de 5.65 Mg CO<sub>2</sub>e ha<sup>-1</sup> y para el predio estudiado, 10 401.16 Mg CO<sub>2</sub>e anual. Para colocar bonos por captura de carbono es necesario realizar un balance entre lo que se corta y lo que crece a fin de tener claro cómo ocurre la fijación de carbono como un servicio ambiental.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## Contribución por autor

José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz: selección de unidades de estudio y sitios de muestreo en campo, estructuración del manuscrito y base de datos, revisión y análisis de datos y negociación del financiamiento; Ricardo Rivera Vázquez: análisis y procesamiento de datos y revisión del manuscrito; María Erika Tapia Medina: definición del tema de investigación, selección de unidades de estudio y sitios de muestreo en campo, base de datos, estructuración y revisión del manuscrito; Luis Raúl Ahedo Hernández: selección de unidades de estudio y sitios de muestreo en campo, estructuración y análisis de base de datos.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la comunidad de San Pedro Jacuaro, y en particular a Hugo Medrano, Leonel López, Virginia Araujo, Teresa González, Vicente y Miguel Salinas, Carlos Ramos, Araceli Samaniego, Dulce Tovar, Omar Chassin por su apoyo en el trabajo de campo. Este proyecto fue financiado parcialmente por la Fundación Produce Michoacán, la Comisión Forestal del estado de Michoacán y el Instituto Nacional de Ecología.

## Referencias

- Ayala L., R., B. H. De Jong y H. Ramírez M. 2001. Ecuaciones para estimar biomasa en la meseta central de Chiapas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 7 (2): 153-157.
- Bocco, G., J. Palacio y C. Valenzuela. 1991. Integración de la percepción remota y los sistemas de información geográfica. *Ciencia y desarrollo* 17 (97):79-88.

## Conclusions

It was possible to make an estimation the carbon content in the aboveground biomass of the forests of the *ejido* of *San Pedro Jacuaro* in the state of *Michoacán* by means of the allometric equations, as the use of generic equations leads to significant differences of more than 51 % of the estimated carbon replacement values, as they do not take into account diameters under 35 cm. The accurate estimation is 237 618 Mg C, while the conservative estimate would suggest a total of 220 642 Mg C in the 1 842 ha comprising the study area.

The carbon sequestration potential is 1.54 Mg C ha<sup>-1</sup>, which in tons of equivalent carbon dioxide is 5.65 Mg CO<sub>2</sub>e ha<sup>-1</sup> and for the studied land, 10 401.16 Mg CO<sub>2</sub>e per year. To place bonds for carbon sequestration it is necessary to make a balance between what is cut and what grows, in order to have a clear appreciation of how carbon sequestration occurs as an environmental service.

## Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

## Contribution by author

José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz: selection of study units and sampling sites in the field, structuring of the document, data base, review and data analysis and funding negotiations; Ricardo Rivera Vázquez: data analysis and processing and review of the document; María Erika Tapia Medina: definition of the research topic, selection of study units and sampling sites in the field, data base, structuring and review of the document; Luis Raúl Ahedo Hernández: selection of study units and sampling sites in the field, structuring and analyzing data base.

## Acknowledgements

The authors would like to express their gratitude to the community of *San Pedro Jacuaro*, and particularly to Hugo Medrano, Leonel López, Virginia Araujo, Teresa González, Vicente y Miguel Salinas, Carlos Ramos, Araceli Samaniego, Dulce Tovar and Omar Chassin for their support during field work. This project was partially sponsored by the *Fundación Produce Michoacán*, the *Comisión Forestal del estado de Michoacán* and the *Instituto Nacional de Ecología*.

*End of the English version*





- Bocco, G., O. Maser y M. Mendoza. 2001. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas* 44: 18-38.
- Brown, J. K. and P. J. Rousopoulos. 1974. Estimating biases in the planar intersect method for estimating volumes of small fuels. *Forest Science* 20 (4): 350-356.
- Brown, S., J. Sathaye, M. Cannell and P. E. Kauppi. 1996. Mitigation of carbon emissions to the atmosphere by forest management. *Commonwealth Forestry Review* 75 (1):80-91.
- Brown, S. and M. Delaney. 2000. Standard operating procedures for measuring carbon in forests and agriculture projects. Version: 1.00. Winrock International. Arlington, VA, USA. 51 p.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2013. Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2010. Capítulo VI. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F., México. 412 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1996. Directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático para los inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero, versión revisada 1996. Volumen 1, 2 y 3. UNEP, WMO. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gh/invs.html> (4 de octubre de 2013).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. Cambio Climático 2001. Informe de síntesis. Resumen para responsables de políticas. Una evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza. 94 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2003. Revised 2003 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Reporting Instructions. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland. 294 p.
- Ordóñez, A. 1999. Estimación de la captura de carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo. Instituto Nacional de Ecología. Semarnap. México, D.F., México. 72 p.
- Ordóñez, A. y O. Maser. 2001. La captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7 (1): 3-12.
- Ordóñez, J. A. B., B. H. J. de Jong, F. García O., F. L. Aviña, J. V. Pérez, G. Guerrero, R. Martínez and O. Maser. 2008. Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico. *Forest Ecology and Management* 255 (7): 2074-2084.
- Ordóñez, J. A. B. 2008. Cómo entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago por servicios ambientales. *Ciencias* 90: 37-42.
- Ordóñez, J. A. B. 2012. Carbono almacenado en los bosques de la Región Purépecha en Michoacán, México. Editorial Académica Española. México, D.F., México. 135 p.
- Orozco, M. E. y P. Mireles (coords.). 2014. Carbono en ambientes biofísicos y productivos, línea base sobre cambio climático. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Edo. de Méx., México. 368 p.
- Rzedowski, J. 1994. Vegetación de México. Limusa Noriega Editores. México, D.F., México. 432 p.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1995. Inventario Nacional Forestal Periódico. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. SARH. México, D.F., México. 81 p.
- Velasco B., E., F. Moreno S. y R. Rodríguez P. 2002. Comparación de Siete Diseños de Unidades de Muestreo Secundarias en Inventarios Forestales. *Revista Ciencia Forestal en México* 27 (92):29-51.



