

# Contenido y captura de carbono en plantación de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl.&Cham., en el ejido Rancho Nuevo Nanacamila, Zacatlán de las Manzanas, Puebla, México

Carbon content and sequestration in *Pinus patula* Schiede ex Schltdl.&Cham. plantation, in the ejido Rancho Nuevo Nanacamila, Zacatlan de las Manzanas, Puebla, Mexico

**María Fernanda Murillo Alfaro**

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

**José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz\***

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Servicios Ambientales y Cambio Climático, SACC A.C.

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey Campus Ciudad de México (ITESM-CCM). Grupo de

Energía y Cambio Climático

The Climate Reality Project

**Cecilia Nieto de Pascual-Pola**

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación

Disciplinaria para la Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (INIFAP, CENID-COMEF).

**Luis Enrique Ortega Treviño**

**Anabell Munguia Barcenas**

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Servicios Ambientales y Cambio Climático, SACC A.C.

**Adolfo Galicia Naranjo**

**Erik Eliezer Velarde Meza**

Servicios Ambientales y Cambio Climático, SACC A.C.

\*Autor para correspondencia: jabordonez@ciencias.unam.mx

## Resumen

Mediante los almacenes de carbono en la biomasa y el suelo, las plantaciones forestales representan una de las principales alternativas de mitigación ante el cambio climático. En este trabajo se realizó la estimación de biomasa y almacenes de carbono en una plantación de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham., en el ejido Rancho Nuevo Nanacamila en el municipio Zacatlán de las Manzanas, Puebla. Se establecieron cinco parcelas de monitoreo de 33x33 m y así como el estudio de verificación de distancias entre árboles en campo. Se utilizaron ecuaciones alométricas para conocer el volumen ganado durante su crecimiento los años 2017 y 2018, y se estimó la biomasa aérea para calcular el contenido de carbono presente. Como resultado se midieron en total 1,580 árboles cuyos diámetros estuvieron en el rango de 0.5 a 27.9 cm. El cálculo de biomasa promedio fue de 3.841  $\text{tha}^{-1}$ . Debido a que el crecimiento de los árboles es relativamente lento, la manera más eficaz de fijar  $\text{CO}_2$  es mediante el adecuado manejo forestal, cosechando en el mejor momento y convirtiendo la madera en productos duraderos que permiten almacenar carbono durante un periodo largo de tiempo.

**Palabras clave:** Ejido Rancho Nuevo Nanacamila, captura de carbono, Zacatlán de las Manzanas, Cambio climático, plantación forestal.

## Abstract

Forest plantations represent one of the main mitigation alternatives to climate change due to carbon stores in biomass and soil. In present work the estimation of biomass and carbon stores was carried out in a plantation of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. Location of the site was the Rancho Nuevo Nanacamila ejido in the Zacatlán de las Manzanas municipality, Puebla. Five plots of 33 x 33 m were established in order to verify distances between trees in the field. Allometric equations were used to know the volume gained during its growth in 2017 and 2018, and the aerial biomass was estimated to calculate the present carbon content. As a result, a total of 1,580 trees were measured whose diameters ranged from 0.5 to 27.9 cm. The average biomass calculation was 3,841  $\text{t ha}^{-1}$ . Because the growth of trees is relatively slow, the most effective way to fix  $\text{CO}_2$  is through proper forest management, harvesting at the best time and turning wood into durable products that allow to store carbon for a long period of time.

**Keywords:** Ejido Rancho Nuevo Nanacamila, carbon capture, Zacatlán de las Manzanas, Climate change, forest plantation.

## Introducción

El actual cambio climático se define por el incremento en la concentración de gases de efecto invernadero, que da lugar a un aumento en la temperatura, al cambio en la precipitación, el derretimiento de los glaciares y el aumento en el nivel del mar (Ruiz, 2007; IPCC, 2014). Estas modificaciones en la atmósfera, tiene su origen en la revolución industrial, en donde las actividades industriales emitieron grandes cantidades de bióxido de carbono, mismas que se han ido incrementando, alcanzando este 2021 los 415.02 partes por millón por volumen (ppmv) (NOAA, 2019).

México es especialmente vulnerable al cambio climático (INE, 2009; INECC, 2018). La mayor parte de los procesos productivos, el transporte y los sistemas domésticos generan grandes volúmenes de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Gay y Martínez, 1995; Ordóñez, 2008; INECC, 2012). Aunado a lo anterior, la deforestación anual se calcula en 17 millones de hectáreas a nivel mundial, lo que significa una liberación de 1.8 GtC/año, es decir, cerca del 20% del total de las emisiones antropogénicas (Montoya *et al.*, 1995). En México, el sector cambio de uso del suelo libera un 9.9% de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) totales emitidos del país (INE, 2009). Además, se ha calculado que México ha perdido al menos el 50% de sus bosques desde la Colonia hasta la actualidad (Conde, 2008).

La vegetación asimila bióxido de carbono atmosférico por medio del proceso fotosintético. Los bosques son reservorios de carbono, que absorben aproximadamente 30% de todas las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> en un año (Pan *et al.*, 2011) y son de importancia primaria cuando se considera su manejo (Zambrano *et al.*, 2004). Los bosques del mundo capturan y conservan más carbono que cualquier otro ecosistema terrestre y participan en el 90% del flujo anual de carbono entre la atmósfera y la superficie de la Tierra (Bolin *et al.*, 1986). Por ello, la silvicultura puede compensar las crecientes emisiones de dióxido de carbono en dos formas:

1. Crear nuevos reservorios de dióxido de carbono incrementando la masa de material maderable, tanto

por medio del crecimiento de árboles como por la extracción de madera. Para lograr mayor efectividad en el proceso de almacenamiento de carbono en el largo plazo, la madera extraída debe convertirse en productos durables (Ordóñez, 1998, 2008; Ordóñez *et al.*, 2008). Una vez que el bosque ha alcanzado su madurez, llega a un balance entre los procesos de respiración, oxidación y fotosintético, por lo que la captura neta de carbono se reduce. En el largo plazo, el carbono capturado tanto en los ecosistemas forestales como en los sistemas agroforestales puede alcanzar entre 80 y 350 tC/ha (Masera, 1995; Ordóñez, 1998).

2. Proteger los bosques y suelos naturales que almacenan carbono. Cuando se destruye el bosque, entre 50 y 400 tC/ha pueden ser liberadas a la atmósfera (Ordóñez *et al.*, 2008). Conservar los almacenes de carbono en suelos debe de ser una medida obligada para la conservación a largo plazo. Como la protección de un área forestal puede inducir la presión de explotación en otra, se requieren esquemas integrados de manejo de recursos, enriquecidos con esquemas de evaluación de proyectos para validar dicha protección (Montoya *et al.*, 1995).

En este contexto las plantaciones forestales representan una de las principales alternativas para mitigar el cambio climático, ya que pueden remover partículas de CO<sub>2</sub> del ambiente a través del proceso de fotosíntesis y de almacenar el carbono en la biomasa y el suelo (Montero y Kanninen, 2006), en función de la edad del rodal, calidad de sitio, composición de especies, densidad, condiciones climáticas, edáficas, topográficas y tratamiento silvícola (Acosta *et al.*, 2002; Návar *et al.*, 2005; Avedaño *et al.*, 2009; Pardos, 2010). Cada año en las áreas forestales se almacenan cantidades importantes de biomasa la que ayuda a reducir los niveles de carbono en la atmósfera. No obstante, aún se requiere investigación específica al respecto (Avedaño *et al.*, 2009).

Es así, que el objetivo de esta investigación es estimar el contenido y captura de carbono en plantación de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham., en el ejido de Rancho Nuevo Nanacamila municipio Zacatlán de las Manzanas, Puebla, México.

## Metodología

La zona de trabajo se ubica en el ejido Rancho Nuevo Nanacamila en el municipio Zacatlán de las Manzanillas, Puebla. Con la finalidad de determinar los sitios de trabajo, se seleccionaron cinco parcelas de monitoreo del crecimiento de *P. patula* en la plantación bajo el tratamiento silvícola “corta de liberación”. Para la estimación de labiomasa, se emplearon ecuaciones alométricas (Corral *et al.*, 2018) para conocer el volumen que van ganando durante su crecimiento. Estas parcelas se establecieron de forma “cuadrada”, con dimensiones fijas de 33X33 m (SARH, 1993).

### Obtención de datos de árboles

Para determinar el número de árboles a muestrear, se realizó un estudio previo de verificación de distancias entre árboles en campo, así mismo se realizó un conteo del total de árboles presentes dentro de la plantación. El tamaño de muestra para este trabajo es del 30% de la población total (Ordóñez *et al.*, 2008).

Dentro de cada parcela de 33X33 se realizó una selección aleatoria de los árboles a medir. La selección de estos se realizaron utilizando la siguiente función en Excel: =ALEATORIO.ENTRE (límite inferior, límite superior). Los árboles seleccionados fueron marcados y numerados con plumón indeleble y de cada uno se registraron las variables dendrométri-

tricas descritas en el Cuadro 1.

El muestreo simple aleatorio es sencillo y eficiente cuando se aplica en poblaciones con unidades de muestreo homogéneas en cuanto al parámetro poblacional que se desea estimar (volumen total, área basal, número de árboles por hectárea, etc.).

Una vez que se determina el número de individuos a muestrear, la selección de estos se realizaron utilizando la siguiente función en Excel: =ALEATORIO.ENTRE (límite inferior, límite superior). Los árboles seleccionados fueron marcados y numerados con plumón indeleble y de cada uno se registrarán las variables dendrométricas descritas en el Cuadro 1.

### Estimación de biomasa

La biomasa se define como la cantidad de materia orgánica acumulada en un individuo y para calcularla se multiplicó la densidad de la madera que es de 0.45 para *Pinus patula*, por el volumen (Grijpma, 1984; Ordóñez y Masera, 2001; Ordóñez, 2008).

### Carbono almacenado

La cantidad de C se obtuvo multiplicando la biomasa expresada en toneladas por la concentración de carbono de 0.5, lo cual significa que el 50% de la biomasa del árbol es C (Ordóñez *et al.*, 2009; Díaz *et al.*, 2007).

Cuadro 1. Descripción de método de muestreo de variables dendrométricas.

| Variable dendrométrica | Método   |
|------------------------|--|
| Altura                 | Se midió desde la base del árbol hasta el ápice de éste, para ello se utilizó un altímetro haga (modelo 43890). Para el caso de los árboles cuya altura fue igual o menor a 3 metros, la medición se realizó con ayuda de un flexómetro.   |
| Diámetro normal (DN)   | Se obtuvo midiendo el perímetro del fuste a una altura de 1.30 m, utilizando una cinta diamétrica (mod. 283D/5M.I).  |
| Edad                   | Se calculó a partir de la fecha de plantación hasta la fecha de medición.  |
| Volumen                | El volumen se calculó a partir del área basal, se multiplicó por la altura total y el coeficiente mórfico que corresponde a la especie (Ordóñez <i>et al.</i> , 1998; Ordóñez 1999, Fragoso, 2003, García, 2010).<br>$V = (AB)(h)(0.75)$ Donde:<br>V= Volumen (m <sup>3</sup> )<br>AB= área basal (m <sup>2</sup> )<br>h= altura<br>0.75 = coeficiente mórfico |

Fuente: elaboración propia.

$$Casp = B * C$$

Donde:

Casp = carbono almacenado por individuo

B = biomasa expresada en toneladas

C = concentración de carbono, cuyo valor es 0.5

### Captura potencial de carbono

La captura potencial de carbono se refiere al crecimiento que puede tener la vegetación en un año, para estimarla se promedia el crecimiento anual de la especie y se expresa en toneladas de carbono por hectárea al año (Ordóñez *et al.*, 2008).

$$cpC = ICA * Casp$$

Donde:

cpC = captura potencial de carbono

ICA = Incremento Corriente Anual

Casp = carbono almacenado por individuo

### Estimación de Captura Potencial de CO<sub>2</sub>

Se refiere a la relación del peso atómico del CO<sub>2</sub> entre el peso atómico del carbono, es decir, cuánto dióxido de carbono puede ser almacenado por la cobertura vegetal y se expresa en toneladas de dióxido de carbono por hectárea al año.

$$CO_{2e} = cpC * 3.66$$

Donde

CO<sub>2</sub> = Estimación de captura potencial de carbono

cpC = captura potencial de carbono

3.66 = la equivalencia de 1tC en 1tCO<sub>2e</sub>

### Resultados y discusión

En el presente estudio se analizaron en total 1580 árboles cuyos diámetros estuvieron en el rango de 0.5 a 27.9 cm, obteniendo la biomasa promedio de 3.841 t ha<sup>-1</sup>. De la revisión de literatura se encontró que Díaz-Franco *et al.* (2007) determinaron la biomasa de *P. patula* en la región de Tlaxco, Tlaxcala, tomando de muestra de 25 árboles, cuyos diámetros estuvieron en el rango de 6.7 a 64.1 cm, mientras que Castellanos (1993), determinó la biomasa de *P. patula*, para la región de Chignahuapan-Zacatlán, Puebla, con una muestra de 27 árboles en el rango de diámetros de 5 a 45 cm.

Al comparar los resultados del presente estudio con los obtenidos por Díaz-Franco *et al.* (2007) y Castellanos (1993), se encontró que las estimaciones de biomasa son parecidas a las calculadas por Díaz-Franco *et al.* (2007), para el rango de 5 a 10 cm de DN, mientras que se encuentran por debajo del valor calculado por Castellanos (1993). Sin embargo, para el rango de 20 a 25 cm de DN, el presente estudio arrojó valores superiores a los reportados en los dos estudios mencionados. En general, la variación en la estimación de biomasa no fue significativa, dado que los datos son semejantes entre sí (Cuadro 2).

Cuadro 2. Biomasa total por árbol.

| Categoría diamétrica | Biomasa total (t) presente estudio | Biomasa total (t) Díaz-Franco <i>et al.</i> (2007) | Biomasa total (t) Castellanos (1993) |
|----------------------|------------------------------------|--|--------------------------------------|
| 5                    | 0.003                              | 0.003  | 0.006                                |
| 10                   | 0.030                              | 0.017  | 0.029                                |
| 15                   | 0.080                              | 0.052  | 0.074                                |
| 20                   | 0.145                              | 0.113  | 0.142                                |
| 25                   | 0.278                              | 0.207  | 0.237                                |

En cuanto al contenido de carbono, se registró en promedio 1.920 tCha<sup>-1</sup>, con un mínimo de 0.0041 para el “sitio 5” y un máximo de 4.439 tCha<sup>-1</sup> para el “sitio 3”, siendo estos datos concordantes con el volumen (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) y la biomasa (t ha<sup>-1</sup>) calculados (Cuadro 3). La diferencia en estos contenidos de carbono muestran diferencias significativas en el carbono almacenado en la biomasa aérea, derivadas del estado de conservación, calidad de sitio, densidad de plantación, manejo silvícola (Pardos, 2010), así como de las actividades que los propietarios han desarrollado a lo largo del tiempo en la plantación.

Los ecosistemas forestales almacenan cantidades significativas de gases de efecto invernadero (GEI) y en particular de CO<sub>2</sub>. Por ello, en las últimas décadas ha surgido un interés considerable en incrementar el contenido de carbono en la vegetación terrestre a través de la conservación forestal, la reforestación y las plantaciones forestales (Pichardo *et al.*, 2008), y de esta forma mitigar los efectos del cambio climático. Así mismo, las características propias del manejo forestal, facilitan el monitoreo y captura de datos que sirven como referencia a futuros estudios en materia de estimación y captura potencial de carbono.

Cuadro 3. Biomasa, almacenamiento y captura de carbono por sitio de muestreo

| Sitio    | Núm. árboles | Árboles ha <sup>-1</sup> | Volumen m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> | Biomasa t ha <sup>-1</sup> | Carbono almacenado tC ha <sup>-1</sup> | Carbono potencial capturado tC ha <sup>-1</sup> | CO <sub>2</sub> capturado tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> |
|----------|--------------|--------------------------|---|----------------------------|--|---|---|
| 1        | 32           | 294                      | 0.325                                   | 0.146                      | 0.073                                  | 0.0015  | 0.0054  |
| 2        | 25           | 230                      | 11.99                                   | 5.395                      | 2.698                                  | 0.054   | 0.198   |
| 3        | 60           | 551                      | 19.729                                  | 8.878                      | 4.439                                  | 0.0888  | 0.326   |
| 4        | 24           | 220                      | 10.613                                  | 4.776                      | 2.388                                  | 0.0478  | 0.175   |
| 5        | 31           | 285                      | 0.018                                   | 0.008                      | 0.004                                  | 0.000082  | 0.0003  |
| Promedio | 34.4         | 315.9                    | 8.535                                   | 3.841                      | 1.92                                   | 0.038   | 0.1408  |
| Max      | 60           | 551                      | 19.729                                  | 8.878                      | 4.439                                  | 0.0888  | 0.326   |
| Min      | 24           | 220.4                    | 0.0182                                  | 0.0082                     | 0.0041                                 | 8.19E-05  | 0.0003  |

Fuente: Elaboración propia con datos de campo analizados

En el caso particular de las plantaciones forestales, se tiene registrado que éstas juegan un papel importante en la fijación y retención de carbono emitido antrópicamente a la atmósfera, ya que al destinar la madera a la creación de productos duraderos, ayuda a la retención de CO<sub>2</sub>, al almacenar el carbono en los tejidos de las plantas. Además, las plantaciones forestales se manejan bajo diferentes enfoques y producir varios servicios ecosistémicos como son paisaje, control de clima, infiltración de agua, uso de biomasa como biocombustibles, por mencionar algunos.

### Conclusión

En el presente estudio se concluye que la estimación de la captura potencial de carbono para las plantaciones de *Pinus patula* es de 0.192 tCha<sup>-1</sup> para una superficie de 5 hectáreas, mientras que la captura potencial de CO<sub>2</sub> es de 0.7602 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>. Debido a que los turnos son largos (alrededor de 50 años), y a que la absorción de CO<sub>2</sub> es directamente proporcional al crecimiento de las masas forestales, la manera eficaz de fijar CO<sub>2</sub> es mediante la ordenación y manejo forestal, cosechando en el mejor momento y convirtiendo la madera en productos duraderos que permiten almacenar carbono durante un periodo largo de tiempo. Los ecosistemas forestales almacenan cantidades significativas de Gases de Efecto Invernadero (GEI), y en particular CO<sub>2</sub>. Por ello, en las últimas décadas ha surgido un interés considerable en incrementar el contenido de carbono en la vegetación terrestre a través de la conservación

forestal, la reforestación y las plantaciones forestales. Así mismo, las características propias del manejo forestal, facilitan el monitoreo y la captura de datos que sirven como referencia a futuros estudios en materia de estimación y captura potencial de carbono.

**Literatura citada**

- Acosta M., M., J. Vargas H., A. Velázquez M., y J. Etchevers B. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36: 725–736.
- 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. *Rev. Fitotec. Mex.* 32: 233-238.
- Bolin, B., B.R. Döös, J. Jäger y R.A. Warrick, 1986. *The Green House Effect, Climate Change and Ecosystems*. Ed. John Wiley&Sons.
- Castellanos, B., J. F. 1993. Producción de biomasa y eficiencia de crecimiento en rodales de *P. patula*. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Montecillos, México. 66 p.
- Conde A., C. 2008. México y el cambio climático global. *Eclipse*. México D.F. 31 p.
- Corral-Rivas, J., F. Flores, D. Vega-Nieva, J. Álvarez-González, A. Ruiz-González, C. López-Sánchez, A. Carrillo. 2018. Desarrollo de ecuaciones alométricas de biomasa para la regeneración de cuatro especies en Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* Vol. 9 (46): 158-185.
- Díaz-Franco, R., M. Acosta-Mireles, F. Carillo-Anzures, E. Buendía-Rodríguez, E. Flores-Ayala, J. Etchevers-Barra. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. Cham. *Madera y Bosques* 13(1):25-34.
- Gay, C. y J. Martínez. 1995. Mitigation of Emissions of Greenhouse Gases in Mexico. *Interciencia*, 20(6): 336-342.
- Grijpma, I.P., 1984. *Producción Forestal*. Ed Secretaría de Educación Pública (SEP)/Trillas, 3ª Reimpresión. México, D.F. 134 pp.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2009. Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Comité intersecretarial sobre Cambio Climático.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2012. Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2018. México, Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Disponible en internet en: <http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/117> (Consultada el 01 de julio de 2021, 16:12 horas).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. Fifth Assessment Report. <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/> (Consultada el 01 de julio de 2021, 14:12 hrs).
- Montero, M. y Kanninen, M. 2006. Carbono fijado a diferentes edades en plantaciones de *Terminalia amazonia*, *Tectona grandis*, y *Bombacopsis quinata* en Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente* 78: 1-19.
- Montoya, G., L. Soto, Ben de Jong, K. Nelson, P. Farias, Pajal Yakac Tic, J. Taylor y R. Tipper. 1995. Desarrollo Forestal Sustentable: Captura de Carbono en las Zonas Tzeltal y Tojolabal del Estado de Chiapas. Instituto Nacional de Ecología, Cuadernos de Trabajo 4. México, D.F.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2019. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/weekly.html> (Consultada el 2 de agosto de 2019).
- Návar C., J. J., N. González, y J. Graciano. 2005. Carbon stocks and fluxes in reforested sites of Durango, Mexico. *Madera y Bosques* 11: 15-34.
- Ordóñez D., J. A. B. y O. Masera. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*. 7(1): 3-12
- Ordóñez, A. 1998. Estimación de la Captura de Carbono en un Estudio de Caso para Bosque Templado: San Juan Nuevo, Michoacán. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.

- Ordóñez, J.A.B. 2008. Como entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago por servicios ambientales. *Ciencias*. Número 90: 37-42.
- Ordóñez, J.A.B., B.H.J. de Jong, F. García-Oliva, F.L. Aviña, J.V. Pérez, G. Guerrero, R. Martínez and O. Masera. 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*. Volume 255: 2074-2084.
- Pan, Y., R. A. Birdsey, J. Fang, R. Houghton, P. E. Kauppi, W. A. Kurz, O. L. Phillips, A. Shvidenko, S. L. Lewis, J. G. Canadell, P. Ciais, R. B. Jackson, S. W. Pacala, A. D. McGuire, S. Piao, A. Rautiainen, S. Sitch, and D. Hayes. 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333: 988-993.
- Pardos, A. 2010. Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria Ministerio de Ciencia e Innovación (INIA). Madrid, España. 253 pp.
- Ruiz, J. 2007. Environmental services, water and economy. *Servicios ambientales, agua y economía*. Chicago: Banco Mundial.
- Toledo, V. M., Ordóñez, M. J. 1993. The biodiversity scenario of Mexico: a review of terrestrial habitats, pp. 757-778. In: T.P. Ramamoorthy, et al (eds). *Biological diversity of Mexico: origins and distribution*. Oxford University Press, New York.
- Zambrano, A., F. Franquis, y A. Infante. 2004. Emisión y captura de carbono en los suelos en ecosistemas forestales. *Rev. For. Lat.* 35: 11-20.