

Ciclo del carbono en un bosque con aprovechamiento forestal en Zacualtipán, Hidalgo

Rodrigo Rodríguez Laguna

rlaguna@uaeh.edu.mx

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo, Hidalgo, México

Abraham Palacios Romero

abraham.palacios@tec.mx

Tecnológico de Monterrey, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Pachuca, Hidalgo, México

Ramón Razo Zárate

rrazo29@yahoo.com.mx

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo, Hidalgo, México

Selene Jazmín Delgado Corral

selene_delgado457@gmail.com

Universidad Juárez del Estado de Durango, Durango, Durango, México

Rodolfo Goche Telles

rgoche@hotmail.com

Universidad Juárez del Estado de Durango, Durango, Durango, México

RESUMEN

Los bosques están bajo una gran presión debido a la deforestación. Es necesario obtener información sobre el carbono atrapado en plantaciones y el tiempo que permanecerá almacenado para impulsar estos aprovechamientos. Se estimó el carbono almacenado en dos rodales (I y IV) de un ejido y con la información sobre el destino que se le da a la madera, se estimó, de acuerdo con lo reportado en la literatura, el tiempo que este permanecerá capturado. En ambos rodales se aprovecharon anualmente 1.09 hectáreas que contenían 133.3 y 150.6 toneladas de biomasa. Se extrajeron 60 y 67.8 toneladas de carbono (rodal I y IV respectivamente) de las cuales el 55% fueron destinadas como madera en rollo de largas dimensiones y alrededor del 30% como madera en rollo de cortas dimensiones; que se utilizan para la elaboración de productos cuya vida útil puede alcanzar hasta 60 años. Un bosque de *Pinus patula* bajo manejo silvícola puede llegar a capturar hasta 687.7 toneladas de carbono durante un ciclo de corta de diez años. Ese carbono puede permanecer almacenado por largos periodos de tiempo después de que los árboles han sido cortados (dependiendo del uso que se le dé a la madera).

Palabras clave: árboles padres; captura de carbono; manejo forestal; plantación forestal.

Carbon cycle in a forest with forest harvesting in Zacualtipán, Hidalgo

ABSTRACT

Forests are under great pressure due to deforestation. It is necessary to obtain information on the carbon stored in plantations and the time it will remain there to promote these activities. The carbon stored in two stands (I and IV) of an ejido was estimated and with the information on the destination of the wood, it was estimated, according to what is reported in the literature, how long it will remain captured. In both stands, 1.09 hectares containing 133.3 and 150.6 tons of biomass were harvested annually. Sixty and 67.8 tons of carbon were extracted (stands I and IV respectively) of which 55% was destined as long roundwood and about 30% as short roundwood, which is used to produce products whose useful life can reach up to 60 years. A *Pinus patula* forest under silvicultural management can capture up to 687.7 tons of carbon during a ten-year cutting cycle. This carbon can remain stored for long periods of time after the trees have been cut (depending on the use of the wood).

Keywords: parent trees; carbon capture; forest management; forest plantation.

Artículo recibido: 10. Mayo. 2021

Aceptado para publicación: 28. junio. 2021

Correspondencia: abraham.palacios@tec.mx

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

INTRODUCCIÓN

El cambio climático, provocado por el incremento en la concentración de gases de efecto invernadero o GEI (siendo especialmente notable el CO₂) es uno de los mayores retos que enfrentamos como sociedad (González-Ávalos et al., 2006). Se espera que este fenómeno, ponga un gran estrés en los sistemas naturales durante las siguientes décadas, ya que modificará el patrón de las precipitaciones, volverá más severa las sequías, incrementará el nivel de los océanos, modificará la distribución geográfica de especies y afectará negativamente el rendimiento de los cultivos (Useros, 2013). Debido a la gran gama de posibles efectos negativos, existe un gran debate sobre qué hacer para disminuir las emisiones de estos GEI y de esta manera poder mitigar los daños que puede provocar su alta concentración en la atmósfera (Jiménez Pérez, Treviño Garza, & Yerena Yamallel, 2018).

En esta lucha por disminuir las emisiones de CO₂, las selvas y bosques juegan un papel fundamental, ya que a través de la fotosíntesis los árboles capturan el CO₂ para formar compuestos orgánicos necesarios para ellos (Barceló Coll, Nicolás Rodrigo, Sabater García, & Sánchez Tamés, 2019). Este proceso de captura del CO₂ por las plantas superiores es parte fundamental del ciclo de carbono, mecanismo mediante el cual el carbono se mueve entre la atmósfera y los sistemas naturales (Dávalos Sotelo, Rodríguez Morato, & Martínez Pinillo-Cueto, 2008). Es por ello que, a estos ecosistemas, se les considera como secuestradores o sumideros de carbono (Monárrez-González, Pérez-Verdín, López-González, Márquez-Linares, & González-Elizondo, 2018). El principal lugar donde se almacena en carbono en las plantas es la biomasa. Esta se puede definir como el importe global de materia orgánica en un área determinada. De igual manera, representa la cantidad potencial de carbono que puede liberarse a la atmósfera cuando ocurre un proceso de aprovechamiento, una deforestación o un incendio (Jiménez Pérez et al., 2018).

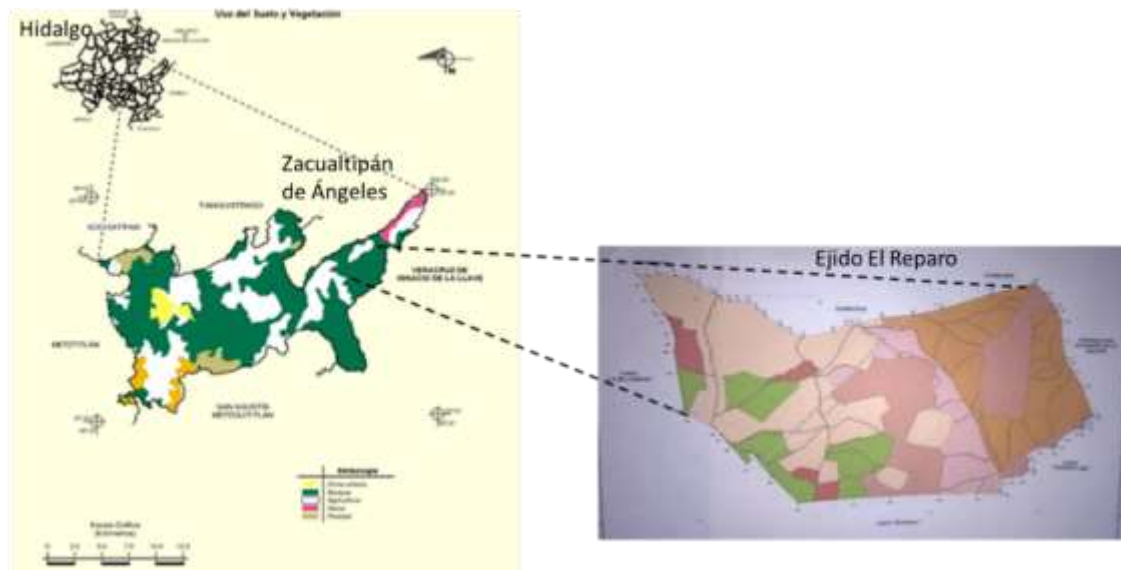
A pesar de que existen modelos y herramientas que permitirían estimar la biomasa a nivel de especies o biomas, todavía se requiere realizar estimaciones para casos específicos, ya que existen numerosos estudios que indican que la producción de biomasa puede variar dependiendo de la edad del arbolado, las condiciones de la región e incluso la altitud (Frouz et al., 2015; Jagodziński, Dyderski, Gęsikiewicz, & Horodecki, 2019; Jagodziński et al., 2018; Jagodziński, Dyderski, & Horodecki, 2020).

Considerando el importante papel que juegan los bosques en la lucha contra el cambio climático y la variabilidad que presentan los modelos para estimar la producción de biomasa (y con ella la captura de carbono) en casos específicos, se vuelve necesario determinar las cantidades de carbono que pueden capturar las plantaciones forestales bajo manejo. Es por ello que el presente trabajo, pretende estimar el carbono almacenado durante un ciclo de corta en dos rodales bajo manejo.

MATERIAL Y MÉTODO

El ejido “El Reparó” se encuentra en el municipio de Zacualtipán de Ángeles en el estado de Hidalgo de la República mexicana en las coordenadas 20° 37’33’’ latitud N 98° 58’ 38’’ longitud O a una elevación que va desde los 2000 a los 2100 metros sobre el nivel del mar (Figura 1). Posee un clima de tipo Cw (templado húmedo con lluvias en verano) con una temperatura media anual de 17 °C y una precipitación media anual entre 500 y 2600mm (INAFED, 2010)

Figura 1. Ubicación del ejido El Reparó, Zacualtipán, Hidalgo



El ejido tiene una superficie total de 87.8 hectáreas, de la cuales 55.615 hectáreas (63.34%) son áreas de producción. La vegetación de la zona posee tres estratos bien definidos el estrato superior con presencia exclusiva del género *Pinus*, (*Pinus patula*, *Cupresus benthamii*), el estrato medio ocupado por latifoliadas del género *Quercus* (*Quercus rugosa*, *Quercus laurina*, *Prunus capulí* y *Cronus dasciflora*) y el estrato inferior correspondiente al sotobosque está constituido por especies arbustivas y herbáceas (*Crataegus pubescens*, *Dryopteris spinulosa* y *Rubus palmeri*).

Para la elaboración del proyecto se sostuvo una reunión con el Prestador de Servicios Técnicos Forestales responsable del ejido “El Reparó”, quien facilitó el Programa de Manejo Forestal para el aprovechamiento forestal maderable, autorizado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en el año 2015 (Corporación Agroforestal y Ambiental, 2015). El área de producción está dividida en siete rodales y para el presente estudio se realizó un muestreo sistemático en los rodales I y IV para obtener los parámetros de las características cualitativas y cuantitativas del bosque. Se levantaron 41 sitios circulares de dimensiones fijas de 1000 y 100 metros cuadrados con una intensidad de muestreo de 10%. Las variables evaluadas en este ensayo fueron: el carbono extraído y el carbono residual contenido en los rodales.

Para estimar ambas variables, fue necesario calcular la biomasa aérea y para ello se multiplicó la densidad de la madera (kg/m^3) por el volumen de los árboles. La densidad de madera se obtuvo a partir del trabajo de Goche Télles et al. (2019), en donde se determinó la densidad media en *Pinus patula* en tres localidades del estado de Hidalgo siendo una de ellas el ejido de “El Reparó”. Para obtener el volumen de los árboles, se utilizó la fórmula general para la determinación de volumen para *P. patula* de (Carrillo et al. (2004):

$$\text{Ln (V)} = \text{ln}(-9.768843) + 0.945122(\text{DN}^2\text{H})$$

Una vez obtenido la cantidad de biomasa, se utilizó el factor de conversión de carbono único de 0.5 para estimar la cantidad de carbono almacenado en cada uno de los rodales. Posteriormente, con la información proporcionada por el plan de manejo de la plantación se estimó la cantidad de carbono extraído de la plantación durante el proceso de aprovechamiento y el carbono residual (Acosta-Mireles, Carrillo-Anzures, & Díaz Lavariega, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los cálculos realizados, el rodal I contiene 133.3 toneladas de biomasa, mientras que el rodal IV contiene 150.6 toneladas. Al utilizar el factor de conversión único de carbono, estos pasan a convertirse en 66.7 toneladas de carbono por hectárea almacenados en el rodal I, mientras que para el rodal IV encontramos que estaría almacenando 75.3 toneladas por hectárea de carbono. Es importante aclarar que este rodal arrojó un valor superior debido a que tiene mayor densidad de arbolado. Estos valores son menores a los reportados en otros trabajos. Se ha reportado que un bosque de pino

encino era capaz de capturar hasta 82.9 toneladas de carbono por hectárea (Rodríguez, Jiménez, Aguirre, Treviño, & Razo, 2009). Otros estudios indican que bosques de pino encino pueden llegar a capturar hasta 127.9 toneladas de carbono por hectárea (Rojo Alboreca, Montero González, Muñoz, & Donés, 2004). Esta menor cantidad de carbono almacenado se puede atribuir a que el arbolado del ejido “El Reparó” es un bosque bajo manejo en el que se aplican distintos tratamientos intermedios como son aclareos (el primer se realiza aproximadamente a los 5 años de realizada la plantación y el segundo cuando el arbolado ha alcanzado un diámetro entre 13 y 20 cm), podas y cortas de liberación. Por lo que se va extrayendo pequeñas cantidades de carbono.

De acuerdo con la información proporcionada en el plan de manejo, en el rodal I, durante el año 2015, se extrajeron 60 toneladas de carbono al abrir el dosel, dejando un residual de 6.7 toneladas de carbono en forma de árboles padre. Para el caso del rodal IV se extrajeron 67.8 toneladas de carbono y solo quedaron 7.5 toneladas de carbono residuales en forma de árboles padre. Para el final del ciclo de corta del ejido El Reparó (2015-2024) en el año 2024 se habrán extraído 619 toneladas de carbono de 687.7 toneladas acumuladas en ambos rodales.

Distribución de productos del bosque

De las 60 toneladas de carbono extraída en el rodal I, 33 toneladas fueron destinadas como madera en rollo de largas dimensiones (MRLD), 10 toneladas como madera en rollo de cortas dimensiones, 1.8 toneladas como puntales, 3.0 toneladas como leña y solo 4.2 toneladas fueron consideradas como desperdicio. Con respecto al rodal IV, de las 67.8 toneladas de carbono extraídas, 37.3 toneladas fueron destinadas como madera en rollo de largas dimensiones (MRLD), 20.3 toneladas como madera en rollo de cortas dimensiones (MRCD), 2.0 toneladas como puntales, 3.4 toneladas como leña y solo 4.7 toneladas fueron consideradas desperdicio (Figura 2).

Para el final del ciclo de corta en el ejido El Reparó y si la tendencia de crecimiento continua como se planeó, se extraerán 619 toneladas de carbono de las cuales 340.4 toneladas de carbono serán utilizadas como MRLD, 185.7 toneladas de carbono destinadas a MRCD, 18.6 toneladas de carbono como puntales, 30.9 toneladas de carbono serán destinadas a leña y en el desperdicio 43.3 toneladas de carbono (Figura 3).

La madera en rollo de largas dimensiones extraída del ejido es utilizada para la fabricación de postes, polines, vigas, tablas, etc. Este tipo de materiales, de acuerdo con algunos informes, puede llegar a tener una vida útil de más de 60 años. Sin embargo, es necesario aclarar que, para alcanzar este tiempo de vida útil, se requiere que la madera reciba un tratamiento químico y que sin él, su vida útil se estima que sea entre 5 y 10 veces menor (Cruz de León, 2010). Considerando esto, se puede decir que 340.4 toneladas de carbono capturado durante el ciclo de corta permanecerán estáticas en los distintos productos fabricados con la madera en rollo de largas dimensiones entre 6 y 60 años (dependiendo del tratamiento que reciban). Con respecto a la madera en rollo de cortas dimensiones, y de acuerdo con el plan de manejo de la plantación, se destina principalmente a la fabricación de tabletas, tarimas y cajas, las que, de acuerdo con algunos informes, tienen una vida útil de 5 a 10 años. Además, al terminar su vida útil, estos productos suelen ser usados como combustible. Sin embargo, si no son usados como combustible, su degradación puede llegar a tardar hasta 15 años (REFORESTAMOS MÉXICO A.C., 2009). Considerando esto, se puede estimar que los 185.7 toneladas de carbono capturado en la madera en rollo de cortas dimensiones estará estático entre 5 y 25 años (dependiendo del uso y la manera en que sea tratado al terminar su vida útil). Los puntales son utilizados por los pobladores de la localidad para elaborar cercas, en la construcción de viviendas y para la fabricación de muebles, por lo que tienen una vida útil similar a la de la madera en rollo de largas dimensiones, por lo que las 18.6 toneladas de carbono capturado en los puntales pueden permanecer estáticas entre 6 y 60 años. Con respecto a la madera destinada como leña, tiene una vida útil menor a los dos años, por lo que las 30.9 toneladas de carbono almacenado en estos productos, estaría estático entre 1 y 2 años.

Figura 2. Porcentajes y carbono almacenado en la distribución de productos en los rodales I y IV

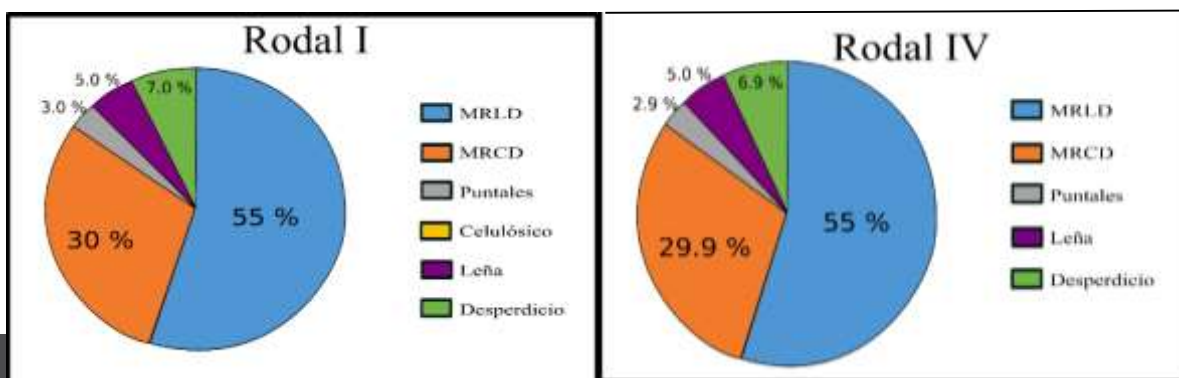


Figura 3. Carbono que se estima capturar y extraer en el ejido El Reparó durante el ciclo de corta



CONCLUSIONES

En un bosque de *Pinus patula* bajo manejo silvícola, se puede llegar a capturar hasta 687.7 toneladas de carbono durante un ciclo de corta de diez años. Ese carbono puede permanecer almacenado por largos periodos de tiempo después de que los árboles han sido cortados (dependiendo del uso que se le dé a la madera), por lo que impulsar el establecimiento de plantaciones con fines de aprovechamiento ayudan en la lucha contra el cambio climático.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Mireles, M., Carrillo-Anzures, F., & Díaz Lavariega, M. (2008). Determinación del carbono total en bosques mixtos. *Terra Latinoamericana*, 27, 105–114.
- Barceló Coll, J., Nicolás Rodrigo, G., Sabater García, B., & Sánchez Tamés, R. (2019). *Fisiología vegetal* (1st ed.). Madrid: Comercial Grupo ANAYA, SA.
- Carrillo, A. F., Acosta, M. M., Tenorio, G. G., & Becerra, F. L. (2004). Tabla de volumen para *Pinus patula* Schl. et Cham. en el estado de Hidalgo. In *Folleto Técnico No. 2*. Zapopan, Jalisco.
- Corporación Agroforestal y Ambiental. (2015). *Programa de manejo forestal nivel intermedio para el aprovechamiento forestal maderable de el ejido denominado "El Reparó"; municipio de Zacualtipán de Ángeles*. Tulancingo de Bravo.

- Cruz de León, J. (2010). *Manual para la protección contra el deterioro de la madera*. Zapopan, Jalisco. Retrieved from <https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Proteccion-Madera.pdf>
- Dávalos Sotelo, R., Rodríguez Morato, M. I., & Martínez Pinillo-Cueto, E. (2008). Almacenamiento de carbono. In R. H. Manson, Hernández-OrtizVicente, S. Gallina, & K. Mehltreter (Eds.), *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación* (1st ed., pp. 223–234). México: Instituto Nacional de Ecología.
- Frouz, J., Dvorščík, P., Vávrová, A., Doušová, O., Kadochová, Š., & Matějček, L. (2015). Development of canopy cover and woody vegetation biomass on reclaimed and unreclaimed post-mining sites. *Ecological Engineering*, 84, 233–239. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.027>
- Goche Télles, J. R., Velázquez Martínez, A., Borja de la Rosa, A., Capulín Grande, J., & Palacios Mendoza, C. (2019). VARIACIÓN RADIAL DE LA DENSIDAD BÁSICA EN *Pinus patula* Schltdl. et Cham. DE TRES LOCALIDADES EN HIDALGO. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(7), 71–78. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v2i7.568>
- González-Ávalos, J., García-Moya, E., Vargas-Hernández, J. J., Trinidad-Santos, A., Romero- Manzanares, A., & Cetina-Alcalá, V. M. (2006). Evaluación de la Producción y Análisis de Conos y Semillas de *Pinus cembroides* Zucc. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 12(2), 133–138. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62912206>
- INAFED. (2010). Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México. Retrieved January 1, 2015, from <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM13hidalgo/municipios/13024a.html>
- Jagodziński, A. M., Dyderski, M. K., Gęsikiewicz, K., & Horodecki, P. (2019). Tree and stand level estimations of *Abies alba* Mill. aboveground biomass. *Annals of Forest Science*, Vol. 76. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0842-y>
- Jagodziński, A. M., Dyderski, M. K., Gęsikiewicz, K., Horodecki, P., Cysewska, A., Wierczyńska, S., & Maciejczyk, K. (2018). How do tree stand parameters affect young Scots pine biomass? – Allometric equations and biomass conversion and

- expansion factors. *Forest Ecology and Management*, 409, 74–83. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.11.001>
- Jagodziński, A. M., Dyderski, M. K., & Horodecki, P. (2020). Differences in biomass production and carbon sequestration between highland and lowland stands of *Picea abies* (L.) H. Karst. and *Fagus sylvatica* L. *Forest Ecology and Management*, 474(February). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118329>
- Jiménez Pérez, J., Treviño Garza, E. J., & Yerena Yamallel, J. I. (2018). Concentración De Carbono En Especies Del Bosque De Pino-Encino En La Sierra Madre Oriental. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(17), 50–61. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i17.420>
- Monárrez-González, J. C., Pérez-Verdín, G., López-González, C., Márquez-Linares, M. A., & González-Elizondo, M. D. S. (2018). Effects of forest management on some ecosystem services in temperate forest ecosystems of Mexico. *Madera y Bosques*, 24(2), 1–16. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421569>
- REFORESTAMOS MÉXICO A.C. (2009). *Productos Maderables Certificados. Catálogo 2009 México*. México D.F.
- Rodríguez, L. R., Jiménez, P. J., Aguirre, C. O. A., Treviño, G. E. J., & Razo, Z. R. (2009). Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, México. *Ra Ximhai*, 5(3), 317–327.
- Rojo Alboreca, A., Montero González, G., Muñoz, M., & Donés, J. (2004). Fijación de CO₂ por *Pinus sylvestris* L. y *Quercus pyrenaica* Willd. en los montes “Pinar de Valsain” y “Matas de Valsain.” *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, 13(2), 399–416. <https://doi.org/10.5424/842>
- Usuarios, J. (2013). El Cambio Climático: sus causas y efectos medioambientales. *Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, 50, 71–98.