

---

## Escenarios de carbono para el bosque de oyamel del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México.

R. Razo-Zárate<sup>1\*</sup>, A. J. Gordillo-Martínez<sup>1</sup>, R. Rodríguez-Laguna<sup>2</sup>, C. C. Maycotte-Morales<sup>2</sup> y O. A. Acevedo-Sandoval<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Ciudad del Conocimiento, Pachuca, Hidalgo, México.

<sup>2</sup> Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Av. Universidad km 1 Tulancingo, Hidalgo, México.

---

*Scenarios of carbon for the fir forest National Park El Chico, Hidalgo, Mexico.*

### Abstract

Forests in protected areas are seen as a major store of carbon whose presence in the ecosystem depends largely not manifest adverse natural and anthropogenic phenomena, the objective of this study was to determine the best scenario for the capture and storage carbon in forests of *Abies religiosa* in the Parque Nacional El Chico, Hidalgo. For the process of calculating carbon content there was a forest inventory in 2011 in an area of 212.95 ha that includes scenarios 1) forest preserved, 2) moderately disturbed forest and 3) altered forest. We obtained the actual stock per hectare were multiplied by the density of fir wood and carbon coefficient for the species. The results showed that the preserved forest had the lowest value (62.6 ton C/ ha), while the disturbed forest had the highest value of 166.6 ton C ha<sup>-1</sup>. The latter is the closest to the perfect setting for the storage and carbon sequestration by forests of fir, because the trees are of different ages and heights diameter categories allowing the forests storing carbon dynamics remain for periods of time. In contrast in the forest retained most of the trees are overmature and show no significant increases in carbon storage.

*Key words:* real stocks, carbon, *Abies religiosa*, carbon scenarios, fir forest.

### Resumen

Los bosques de las áreas naturales protegidas se consideran como un importante depósito de carbono cuya permanencia en el ecosistema depende en gran medida de que no se manifiesten fenómenos naturales y antropogénicos nocivos, el objetivo de este trabajo fue determinar el mejor escenario para el almacenamiento y captura de carbono en bosques de *Abies religiosa* dentro del Parque Nacional El Chico, Hidalgo. Para el proceso de cálculo del contenido de carbono se hizo un inventario forestal en el 2011 en una superficie de 212.95 ha que comprende los escenarios 1) bosque conservado, 2) bosque medianamente alterado y 3) bosque alterado. Se obtuvieron las existencias reales por hectárea que fueron multiplicadas por la densidad de la madera de oyamel y el coeficiente de carbono para la especie. Los resultados mostraron que el bosque conservado tuvo el menor valor (62.6 ton C ha<sup>-1</sup>), mientras que el bosque alterado obtuvo el mayor valor de 166.6 ton C/ha. Este último es el que más se acerca al escenario perfecto para el almacenamiento y secuestro de carbono por los bosques de oyamel, debido a que se encuentran arboles de diferentes edades, categorías diamétricas y alturas lo que permite que las masas forestales se mantengan dinámicas almacenando carbono por periodos de tiempo prolongados. En contraste en el bosque conservado la mayoría de los árboles son sobremaduros y no muestran incrementos considerables en el almacenamiento de carbono.

*Palabras clave:* existencias reales, carbono, *Abies religiosa*, escenarios de carbono, bosque de oyamel.

---

\*Autores de correspondencia  
Email: rrazo29@yahoo.com.mx

## Introducción

Los bosques capturan, almacenan y liberan carbono como resultado de los procesos fotosintéticos, de respiración y de degradación de materia seca (Tipper, 1998). El carbono queda retenido en la biomasa viva, en la materia orgánica en descomposición y en el suelo. De esta manera, estos ecosistemas se destacan por su gran capacidad de fijar carbono principalmente en sus estructuras leñosas (Nakama *et al.*, 2003), siendo en el fuste de un árbol completo donde se acumula la mayor cantidad de carbono (Avendaño *et al.*, 2009); así se ha estimado que los árboles en particular asimilan y almacenan grandes cantidades de carbono durante toda su vida (Ordóñez *et al.*, 2001).

La capacidad que tienen los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato por comunidad vegetal (Schulze *et al.*, 2000). La determinación adecuada de biomasa en un bosque, permite indicar los montos de carbono por unidad de superficie y tipo de bosque (Snowdon *et al.*, 2001).

Para conocer la capacidad de almacenamiento de carbono en bosques de oyamel con diferentes grados de alteración (escenarios), hace falta evaluar el volumen de biomasa y carbono contenido en la madera afectada por el fuego u otros agentes nocivos y en los árboles que logren sobrevivir. Dado que el reglamento de las Áreas Naturales Protegidas no permite el uso de métodos destructivos en la vegetación, por lo que es necesario estimar el carbono existente en base a un inventario, mediante el uso de ecuaciones matemáticas que permitan determinar la biomasa y carbono a partir de variables de fácil medición como el diámetro normal y altura total, los resultados pueden servir de base para la reorientación del manejo forestal, mitigación del cambio climático y mejora de los servicios ambientales que proporciona el bosque de oyamel. Considerando lo anterior se estableció como objetivo determinar el mejor escenario para el almacenamiento y captura de carbono en bosques de *Abies religiosa* dentro del Parque Nacional El

Chico, Hidalgo.

## Materiales y método

El estudio se realizó dentro del Parque Nacional El Chico que se ubica en el extremo occidental de la Sierra de Pachuca entre las coordenadas extremas de los 20° 10' 10'' a 20° 13' 25'' de latitud Norte y los 98° 41' 50'' a 98° 46' 02'' de longitud Oeste (Figura 1), comprende una superficie total de 2739 ha (CONANP, 2005).

Con base al sistema de Köppen modificado por García (1981), en el Parque Nacional se presenta un clima C(m) (w) b (i) gw" que corresponde a un templado subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura media anual oscila entre 12 y 18 °C, existiendo influencia de monzón y presentándose un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 % de la total anual. El verano es fresco y largo, con inviernos fríos con poca oscilación térmica y presencia de canícula.

El tipo de roca predominante es ígnea extrusiva del tipo brecha volcánica y andesita. Los suelos predominantes son del tipo *Cambisol humico*, *Regosol districo* y *Andosol humico* de textura media. La vegetación en la mayor parte del parque está formada por bosques de oyamel, con distintas condiciones de productividad. Las principales especies arbóreas son *Abies religiosa*, *Quercus spp.* y *Pseudotsuga macrolepis* (Amezcuca y Valderrama, 1999).

El estudio se realizó en tres escenarios (bosque conservado, medianamente alterado y alterado) dentro del Parque Nacional El Chico. Los escenarios con disturbios fueron afectados por un incendio forestal ocurrido en 1998. Con la intención de hacer el menor daño a la vegetación dentro del Área Natural Protegida, se efectuó un inventario forestal en 212.95 ha que comprenden los tres escenarios, donde se recabó información dasométrica en 94 sitios de 1000 m<sup>2</sup> distribuidos de manera sistemática a cada 200 m. Con los datos obtenidos se realizó primeramente, el cálculo de las existencias reales de oyamel por hectárea. Así mismo, se consideró el valor de 0.36 ton m<sup>-3</sup> de densidad de la madera de *Abies religiosa* (Goche *et al.*, 2000).

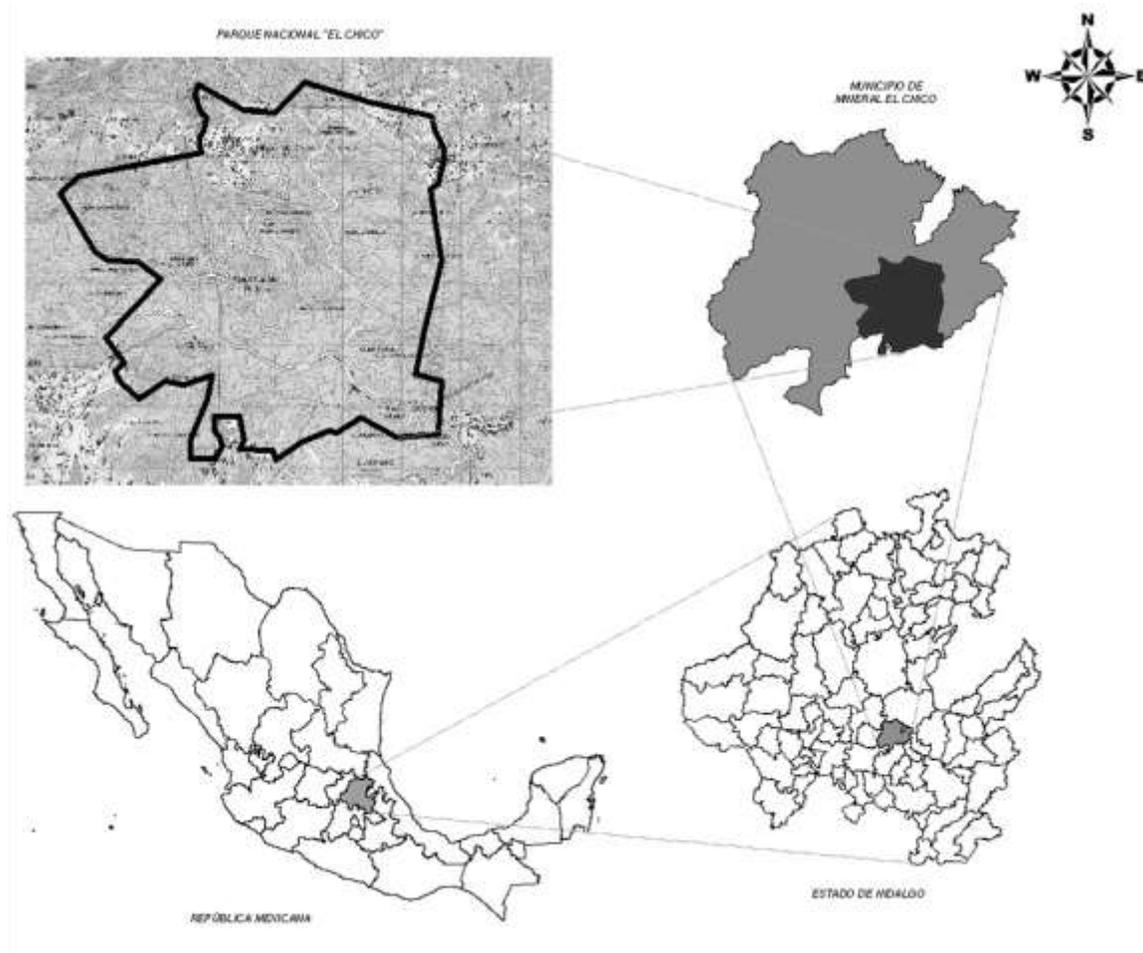


Figura 1. Ubicación geográfica del Parque Nacional El Chico, Hidalgo.

Con los valores de existencias reales por hectárea, de densidad de la madera y coeficiente de carbono obtenido para *Abies religiosa* (0.45), se procedió a estimar el contenido de carbono en árboles vivos y muertos de oyamel partiendo del inventario de las existencias reales por especie y por rodal, utilizando la ecuación propuesta por Ordoñez (2008).

$$CAER = E.R. * D * CC$$

Donde: CAER= Contenido de carbono por especie y por rodal en  $tc/ha$ , E.R. = Existencias reales en  $m^3ha^{-1}$ , D = Densidad de la madera de *Abies religiosa* expresada en  $t m^{-3}$ , CC= Coeficiente de carbono para *Abies religiosa*.

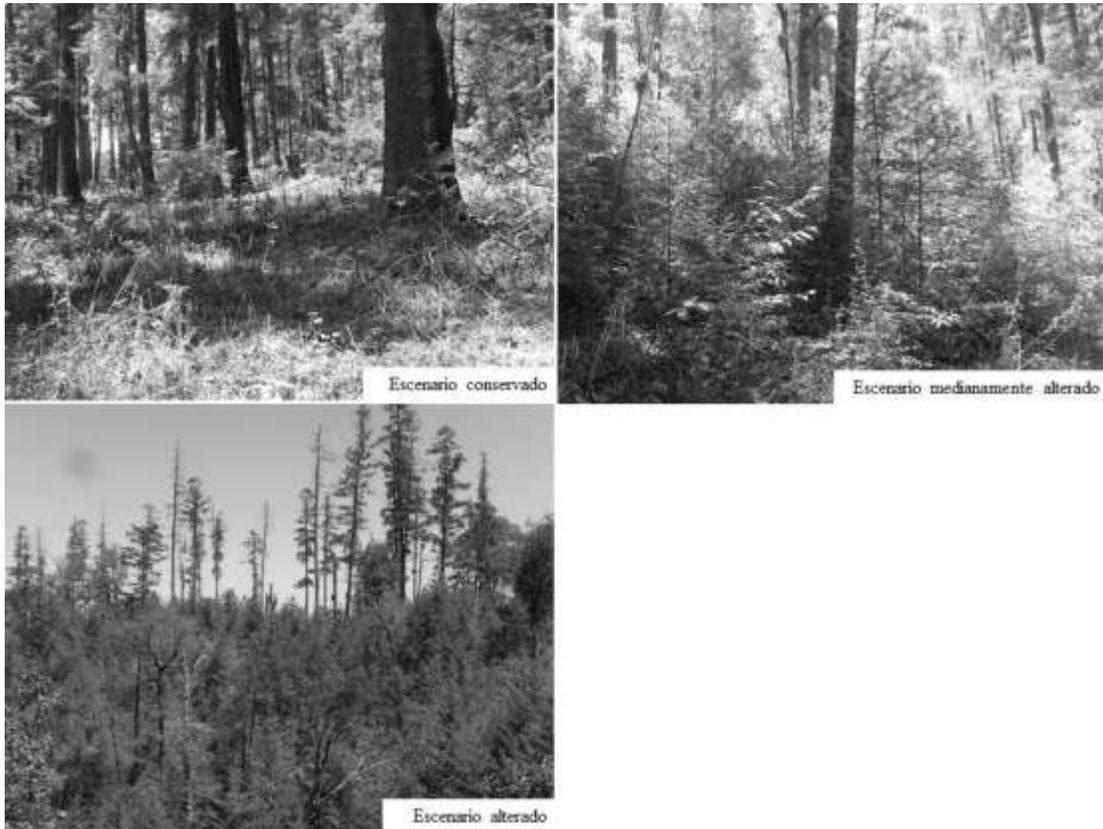
## Resultados y discusión

En las áreas estudiadas se tienen los árboles vivos y muertos que se muestran en la tabla 1, donde se observa un mayor número de árboles muertos de oyamel en los escenarios medianamente alterado y alterado por los incendios forestales (Figura 2). En este último la intensidad del fuego fue mayor, situación que resulta proporcional al número de árboles muertos.

En el área conservada los árboles de oyamel han muerto por sobremadurez o a causa de las plagas permanentemente presentes en este bosque. Dado que no se presentan suficientes claros en el bosque, la regeneración natural de oyamel es prácticamente nula. En el área medianamente alterada mueren un

**Tabla 1. Número de árboles vivos y muertos de oyamel en tres escenarios.**

| Escenario                    | Número de árboles ha <sup>-1</sup> |         |
|------------------------------|------------------------------------|---------|
|                              | Vivos                              | Muertos |
| Bosque conservado            | 159                                | 25      |
| Bosque medianamente alterado | 307                                | 253     |
| Bosque alterado              | 190                                | 514     |



**Figura 2. Aspecto general del escenario conservado, escenario medianamente alterado y escenario alterado, en el bosque de oyamel del Parque Nacional El Chico.**

porcentaje mayor de árboles adultos de oyamel, lo que permite la entrada de luz hacia el sotobosque favoreciendo el establecimiento de regeneración natural de oyamel en manchones cuya altura promedio fue de 4.3 m. En la condición alterada o afectada por los incendios forestales, más del 50% de los árboles adultos de oyamel han muerto y se están incorporando al suelo como necromasa, favoreciendo la entrada de luz al suelo y el establecimiento de especies arbustivas y de encinos que están funcionando como nodrizas que han facilitado el establecimiento bajo su media sombra, de la regeneración natural de oyamel.

El carbono almacenado en el componente aéreo por hectárea en los tres escenarios estudiados se muestra en la tabla 2, donde se aprecia un mayor contenido de carbono en los árboles vivos de oyamel en la condición medianamente alterada, que es proporcional al número de árboles y existencias reales por hectárea.

De acuerdo con los datos anteriores, la condición del bosque de oyamel conservada que contiene un gran número de árboles sobremaduros, corresponde a un área de almacenamiento de carbono con un total de 62.68 ton C ha<sup>-1</sup>. La condición medianamente alterada corresponde a un área de

**Tabla 2. Contenido de carbono en el componente aéreo por hectárea en los árboles vivos y muertos de oyamel en los tres escenarios.**

| Escenario                    | Contenido de carbono (ton ha <sup>-1</sup> ) |         |
|------------------------------|--|---------|
|                              | Vivos  | Muertos |
| Bosque conservado            | 59.441                                       | 3.243   |
| Bosque medianamente alterado | 112.612                                      | 26.077  |
| Bosque alterado              | 78.016                                       | 88.661  |

almacenamiento de carbono en la biomasa del arbolado vivo y la necromasa que se incorpora al suelo, se manifiesta la captura de carbono por la vegetación y árboles jóvenes establecidos en los pocos claros del bosque sumando un total de 138.69 ton C ha<sup>-1</sup>. Finalmente, la condición alterada se tiene un porcentaje considerable de almacenamiento de carbono en el arbolado vivo y muerto con un total de 166.68 ton C ha<sup>-1</sup> en el arbolado adulto. A diferencia de las otras dos condiciones del bosque de oyamel, muestra una alta actividad de captura de CO<sub>2</sub> a través de la fotosíntesis que están realizando los árboles jóvenes establecidos en forma natural. Esta condición es la que más se acerca al escenario perfecto para el almacenamiento y secuestro de carbono por los bosques donde se pretende que las masas forestales se mantengan dinámicas almacenando carbono por periodos de tiempo prolongados en los árboles adultos vivos, incorporando constantemente biomasa al suelo producto de los árboles o sus partes que lleguen a morir, mientras se va estableciendo la regeneración natural de las distintas especies y otros individuos jóvenes están en plena actividad fotosintética. Situación que concuerda con Cadena y Ángeles (2005) cuando señalan que en general, es aceptado que la tasa de fijación de carbono por medio de procesos de fotosíntesis es más alta en rodales jóvenes que en rodales maduros. Sin embargo, el secuestro total de carbono en el sistema es mayor en estos últimos.

### Conclusiones

Las existencias reales determinaron que en los bosques de oyamel, el escenario alterado por un incendio forestal constituye el mayor almacén y captura de carbono. En contraste el escenario del bosque conservado presentó menor almacén y captura de carbono.

Se recomienda generar escenarios con árboles de todas las edades y categorías diamétricas y alturas mediante el manejo del bosque que además de cumplir con los objetivos del Parque Nacional El

Chico contribuyan a la mejora de los servicios ambientales que este bosque proporciona a la región.

### Bibliografía

- Amezcuca C. P. y H. L. Valderrama L. 1999. Productividad de suelos con *Abies religiosa* Schl. et Cham. En el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo. Tesis Profesional. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. 121p.
- 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*. Fitotecnia Mexicana 32(3): 233-238.
- Cadena M. O. I. y G. Ángeles P. 2005. Almacenes de carbono en hojarasca en bosques manejados de *Pinus patula* en Zacualtipán, Hidalgo. Resumen del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Chihuahua, México. 422-423 p.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2005. Programa de conservación y manejo del Parque Nacional El Chico. México. 236 p.
- García E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía UNAM. México. 166p.
- Goche T. J. R., M. Fuentes S., A. Borja D. y H. Ramírez M. 2000. Variación de las propiedades físicas de la madera en un árbol de *Abies religiosa* y de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*. Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 6(1):83-92
- Nakama V., A. Alfieri., R. Casa., A. Lupi., G. López y P. Pathauer. 2003. Secuestro de carbono en plantaciones forestales de la Región Centro Oeste de la Provincia de Buenos Aires. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. 11 p.
- Ordóñez B., H. J. De Jong y O. Masera. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus*, Michoacán. Madera y Bosques 7(2):27-47.
- Ordóñez Díaz J. A. B. 2008. Como entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago de servicios ambientales. Ciencias 90 (Abril-junio).
- Schulze, E.D., Wirth, Ch. y Heimann, M. 2000. Managing forest after Kyoto. Science. 289(5487): 2058-2059.
- Snowdon, P., Raison, J., Keith, H., Montagu, K., Bi, K., Ritson, P., Grierson, P., Adams, M., Burrows, W. y Eamus, D. 2001. Protocol for sampling tree and stand biomass. National carbon accounting system technical report No. 31 Draft-March 2001. Australian Greenhouse Office. 114 p.
- Tipper R. 1998. Update on carbon offsets. Tropical Forest Update. 8(1):2-5..