



Cuadernos de Geografía - Revista  
Colombiana de Geografía

ISSN: 0121-215X

miduquef@unal.edu.co

Universidad Nacional de Colombia  
Colombia

Valdez Pérez, María Eugenia; González Guerrero, Gandhi; Morales Ibarra, Rafael;  
Bolaños Suárez, Rut Yadira

Reserva de carbono en biomasa forestal y suelos minerales en el Parque Nacional  
Malinche (México)

Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía, vol. 25, núm. 1, enero-junio,  
2016, pp. 207-215

Universidad Nacional de Colombia  
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281843790014>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Reserva de carbono en biomasa forestal y suelos minerales en el Parque Nacional Malinche (México)

María Eugenia Valdez Pérez\*

Gandhi González Guerrero\*\*

Rafael Morales Ibarra\*\*\*

Rut Yadira Bolaños Suárez\*\*\*\*

Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca – México

## Resumen

Las áreas naturales protegidas representan una de las estrategias para la mitigación del cambio climático. El objetivo de esta investigación consistió en estimar el contenido de carbono en biomasa forestal en suelos minerales y calcular las pérdidas de carbono por cambios de uso del suelo en el Parque Nacional Malinche (PNM). La superficie de bosque del PNM es de 17.496,34 ha y almacena 1.544.377,66 mg en bosque y 4.148.985,97 mg en suelos. Para estimar el contenido de biomasa forestal se aplicaron ecuaciones alométricas y se trabajó con la cartografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en el análisis espacio-temporal de los cambios de uso de suelo. Para el carbono en suelos se aplicaron los valores del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).

**Palabras clave:** área natural, biomasa forestal, carbono, Malinche, suelos minerales.



DOI: [dx.doi.org/10.15446/rcdg.v25n1.40382](https://dx.doi.org/10.15446/rcdg.v25n1.40382)

RECIBIDO: 20 DE ENERO DE 2014. ACEPTADO: 2 DE DICIEMBRE DE 2014.

Artículo de investigación donde se infiere el almacén de carbono en biomasa forestal y en suelos minerales, así como el cálculo de las pérdidas de carbono por cambios de uso del suelo en el Parque Nacional Malinche, aplicando ecuaciones alométricas y cartografía digital.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO: Valdez Pérez, María Eugenia, Gandhi González Guerrero, Rafael Morales Ibarra y Rut Yadira Bolaños Suárez. 2016. "Reserva de carbono en biomasa forestal y suelos minerales en el Parque Nacional Malinche, México". *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 25 (1): 207-215. DOI: 10.15446/rcdg.v25n1.40382

\* Dirección postal: Centro Universitario Tenancingo, Universidad Autónoma del Estado de México. Carr. Tenancingo - Villa Guerrero km 1.5, Tenancingo, Estado de México. CP 52400.

Correo electrónico: mevaldezp@uaemex.mx

\*\* Correo electrónico: ggonzalezgu@uaemex.mx

\*\*\* Correo electrónico: rmoralesi@uaemex.mx

\*\*\*\* Correo electrónico: yadira.bs@hotmail.com

## Estoque de carbono em biomassa florestal e solos minerais no Parque Nacional Malinche (México)

### Resumo

As áreas naturais protegidas representam uma das estratégias para a mitigação da mudança climática. O objetivo desta pesquisa consistiu em estimar o conteúdo de carbono em biomassa florestal em solos minerais e calcular as perdas de carbono por mudanças de uso do solo no Parque Nacional Malinche (PNM). A superfície da floresta do PNM é de 17.496,34 ha e armazena 1.544.377,66 mg em floresta e 4.148.985,97 mg em solos. Para estimar o conteúdo de biomassa florestal, aplicaram-se equações alométricas e trabalhou-se com a cartografia do Instituto Nacional de Estatística e Geografia (Inegi) na análise espaço-temporal das mudanças de uso do solo. Para o carbono em solos, aplicaram-se os valores do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, por sua sigla em inglês).

**Palavras-chave:** área natural, biomassa florestal, carbono, Malinche, solos minerais.

## Carbon reserve in forestry biomass and mineral soils in Parque Nacional Malinche (Mexico)

### Abstract

The protected natural areas represent one of the strategies for the mitigation of climate change. The aim of this research consists of estimating the carbon content in forestry biomass found in mineral soils and calculating the carbon losses due to changes in soil use in the Park (PNM). The surface area of the Park (PNM) is 17.496,34 ha and houses 1.544,377,66 mg in Wood and 4.148,958,97 mg in soil. To estimate the content of forestry biomass allometric equations were applied and work was done with the cartography of the INEGI (National Institute of Statistics and Geography) in the space-temporal analysis of the changes in soil use. For soil carbon the values of IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) were applied.

**Keywords:** natural area, forestry biomass, carbon, Malinche, mineral soils.

## Introducción

El CO<sub>2</sub> es el gas de efecto invernadero —en adelante, GEI— que más se produce en México, de acuerdo con la Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2010, 67,3% de las emisiones de GEI se derivan de la categoría de energía; 8,2% de procesos industriales; 5,9% de los desechos; 12,3% de la agricultura, y 6,3% del uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura, incluyendo la captura de carbono en el manejo forestal y en tierras abandonadas, en las emisiones directas de la tala forestal, en las emisiones retardadas de limpieza de los suelos y en las emisiones de los mismos (Semarnat-INECC 2012).

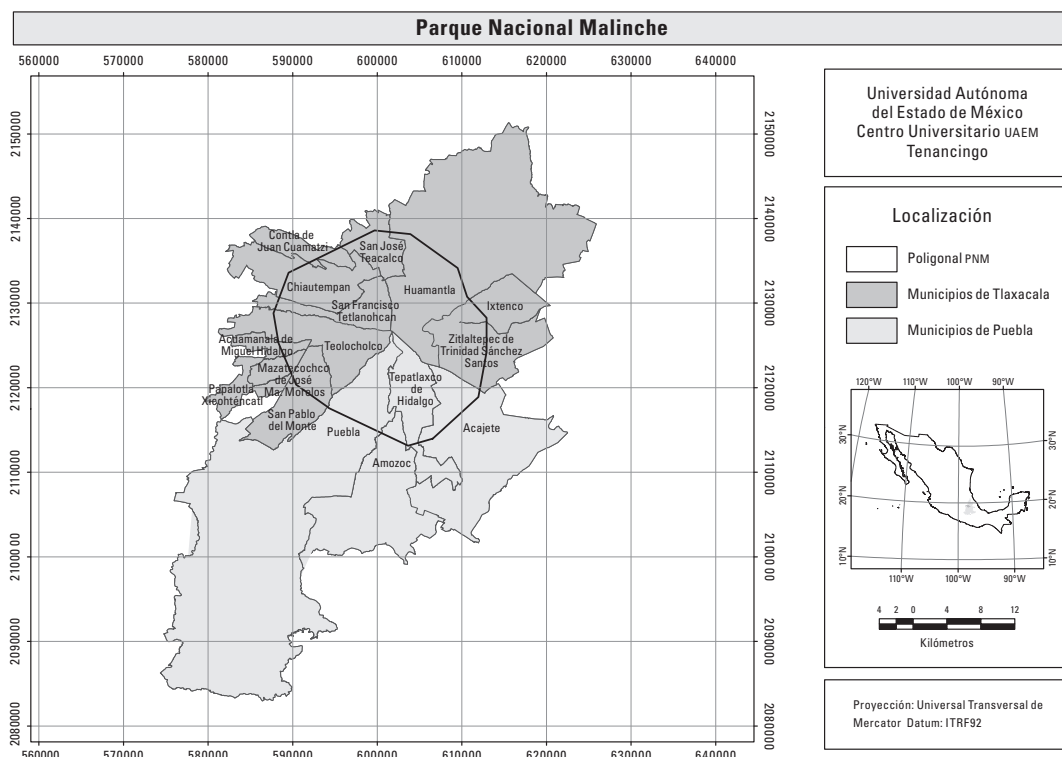
Las actividades humanas como la tala de bosques y los cambios de uso del suelo han alterado el carbono almacenado en estos reservorios y los intercambios entre ellos, por lo que es importante medir dichos cambios a lo largo del tiempo. Pese a que los cambios del uso de suelo es uno de los factores que más impacta en la emisión de GEI, aún faltan estudios a un nivel más detallado como las áreas protegidas, las cuales, además de ofrecer una serie de bienes y servicios ambientales, almacenan el 15% del carbono terrestre (Dudley et ál. 2009).

La falta de modelos que permitan conocer el comportamiento espacial de estos GEI a nivel de estas áreas limita la aplicación de políticas públicas adecuadas a cada espacio geográfico, dirigidas a la mitigación y al cumplimiento de los compromisos de reducción de estos gases. El objetivo de este artículo es contribuir en la ponderación del contenido de carbono en biomasa forestal y en suelos, así como calcular las pérdidas de carbono debido al cambio de uso del suelo en el Parque Nacional Malinche (México).

## Metodología

### Área de estudio

El Parque Nacional Malinche —en adelante, PNM—, fue decretado como Parque Nacional el 6 de octubre de 1938 (SEMARNAP, PNUD y RDS 2000), comprende una superficie total de 46.113 ha, de las cuales 14.515 ha pertenecen al estado de Puebla y 31.597 ha al estado de Tlaxcala. El parque forma parte del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas, localizado entre 19° 06' y 19° 20' de latitud norte y 97° 55' y 98° 10' de longitud oeste, y se eleva de 2.300 a los 4.461 msnm (Villers, Rojas y Tenorio 2006) (figura 1).



**Figura 1.** Localización del Parque Nacional Malinche.  
Fuente: Bolaños S. 2014.

### Uso del suelo

Para calcular la superficie del uso de suelo se utilizó la cartografía de esta temática a escala 1:250.000 serie 4, generada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía —en adelante, INEGI— en (2010), que es tomada como base para determinar el contenido de carbono en la biomasa forestal por especie arbórea, es decir, a partir de los valores de la tabla 1 y los polígonos de uso de suelo de la cartografía se calcularon las reservas de carbono por especie.

**Tabla 1.** Contenido de carbono (Mg/ha) asignado por especie forestal

Especie forestal	Grupo 1	Grupo 2
Abies	90,36	286,19
Encino	51,49	163,77
Pino	94,11	297,61
Bosque mixto (Pino-encino)	53,30	152,23

Datos: Valdez 2014.

### Cambios del uso de suelo

Para el análisis espacio-temporal de los cambios del uso de suelo se utilizó la cartografía a escala 1:250.000, serie II, III y IV generada por el INEGI (2003, 2007, 2010). Se analizó la información en ambiente de Sistemas de Información Geográfica, con el *software* Idrisi, a través de cadenas de Markov. Para determinar la tasa de cambio se aplicó la siguiente ecuación (Castelán et ál. 2007):

$$t = 1 - \left[ 1 - \frac{S_1 - S_2}{S_1} \right]^{1/n}$$

Donde:

$S_1$  = Superficie de uso del suelo en el tiempo inicial

$S_2$  = Superficie de uso del suelo en el tiempo final

$n$  = Amplitud del periodo evaluado

Con esta tasa se calculó la tendencia para 2020 y se identificaron las ganancias o pérdidas de carbono a largo plazo.

### Contenido de carbono en biomasa aérea

Para estimar el contenido de la biomasa forestal se aplicaron ecuaciones alométricas (Acosta Mireles, Carrillo Anzures y Díaz Lavariega 2009; Díaz et ál. 2007; Masera, de Jong y Ricalde 2000; Riofrío 2007) elegidas de acuerdo a las especies que se encuentran en el PNM y que presentaron mayor coeficiente de

determinación, considerando 217 puntos de muestreo del Inventario Nacional Forestal —en adelante, INF— (CONAFOR 2011; Valdez 2014). La base de datos del INF contiene, entre otras variables, el diámetro de cada árbol (diámetro a la altura del pecho), además del número de individuos por sitio; con estos datos se calculó la biomasa promedio por árbol, por sitio (400 m<sup>2</sup>) y su equivalencia a Mg/ha.

Una vez obtenida la biomasa, se calculó el contenido de carbono en Mg/ha y se agruparon los sitios por especie arbórea. Después de su agrupación, mediante un diagrama de dispersión fue posible distinguir los grupos en los que se dividían los puntos, por lo que se consideró aplicar un análisis de conglomerados jerárquicos según la variable ‘contenido de carbono’, a través de la agrupación de centroides y con la distancia euclidiana como medida de intervalo. Ello arrojó tres grupos en cada especie, que estaban relacionados directamente con las condiciones de la vegetación de cada sitio (primaria, secundaria o arbustiva). En este estudio se aplicaron los valores del grupo uno y dos, en el caso de bosque mixto se aplicó la media entre bosque pino-encino y bosque encino-pino, como se muestra en la tabla 1.

### Contenido de carbono en suelos minerales

Los datos para este cálculo se obtuvieron del conjunto de datos vectorial edafológico, escala 1:250.000 serie II del INEGI (2007), considerando el primer grupo de suelos establecidos de acuerdo con la clasificación de los suelos del sistema internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo, publicado en 1999 por la Sociedad Internacional de las Ciencias del Suelo, el Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos (ISRIC) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO/UNESCO) (INEGI 2007), y según los valores por defecto del Intergovernmental Panel Climate Change (IPCC) (Eggleston et ál. 2006).

En el PNM se encuentran suelos leptosoles, luvisoles y regosoles a los que se aplicó el valor por defecto de 95 Mg/ha; a los suelos arenosoles y durisoles se aplicaron valores de 71 y 85 Mg/ha. Es importante mencionar que estos valores corresponden a los primeros 20 cm de profundidad.

### Resultados

La superficie del uso de suelo del PNM se muestra en la tabla 2, donde se observa que la agricultura ocupa la mayor superficie, seguida por el bosque y el pastizal, a pesar de tratarse de un área natural protegida.

Tabla 2. Uso de suelo 2010

Categoría	Superficie (Ha)	%
Bosque	17.496,34	37,90
Pastizal	2.365,67	5,13
Agricultura	26.060,93	56,51
Zona urbana	30,14	0,06
Área sin vegetación	159,76	0,34

Datos: INEGI 2010.

Para obtener los cambios anuales del uso de suelo se utilizaron las tasas de cambio entre la serie III (2002) y serie IV (2010), con estos datos se calcularon las superficies anuales de cada uso de suelo y con ellas la tendencia para el 2020, la cual muestra que los incrementos de la superficie de bosque son bajos, lo que puede estar confirmando por procesos de recuperación mínima a partir de pequeñas superficies de pastizal y tierras agrícolas; por lo tanto, la vegetación en recuperación en los primeros años —y de acuerdo con las etapas de crecimiento— tendrá un potencial de captura de carbono mínimo.

En el lapso de ocho años el bosque ha ganado 444,44 ha y perdido 241,6 ha, lo que representa una ganancia neta de 202,8 ha, es decir, 25,35 ha por año, cifra que en términos de mitigación es mínima; mientras que la agricultura ganó 211 ha y perdió 373 ha, lo que aparentemente refleja el retroceso de la frontera agrícola y el avance de las zonas de pastizal y bosqtue.

La tendencia de los cambios de bosque en el Parque muestra que la superficie ocupada por este uso se incrementará de manera mínima a lo largo de los años, igualmente la agricultura, como puede observarse en la figura 2.

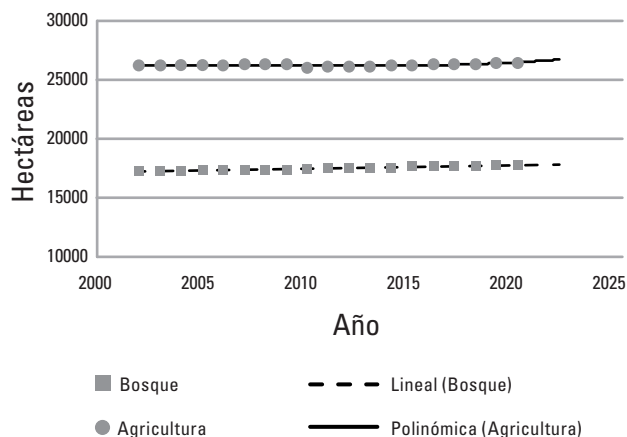


Figura 2. Tendencia de cambios de bosque y agricultura al 2020. Datos: INEGI 2003, 2010.

Con la superficie ocupada por cada especie forestal y aplicando los valores de la tabla 1 se obtuvo el carbono total, el cual se presenta en la tabla 3.

Tabla 3. Contenido de carbono en bosque por especie 2010

Especie	Superficie (Ha)	Carbono (Mg)	
		Grupo 1	Grupo 2
Bosque de pino	13.963,40	1.314.095,24	4.155.646,43
Bosque de encino	446,36	22.983,20	73.100,77
Bosque mixto	1.932,12	102.981,93	294.126,62
Bosque de Oyamel	1.154,46	104.317,29	330.395,79
<b>Total</b>	<b>17.496,34</b>	<b>1.544.377,66</b>	<b>4.853.269,61</b>

Datos: INEGI 2003, 2010.

Aplicando los valores del grupo 1, se obtuvo una reserva de carbono de 1.544.377,66 Mg, lo que puede considerarse muy superior comparado con los valores de Rojas García (2008), que calcula un contenido de carbono del PNM de 2.450.252,5 Mg. Este último valor fue calculado, a través de muestreos de campo en 15 parcelas permanentes y considerando una superficie forestal de 20.607 ha, es decir, 15% más que la superficie considerada en este estudio (17.496 ha). Por lo anterior, calculando un factor efectivo entre el contenido total de carbono y la superficie, se tiene en promedio en este parque una reserva de 118,9 Mg/ha con los resultados (Rojas García 2008); en este estudio el factor efectivo es de 88,26 Mg/ha, es decir, 25,7% menos.

Con los valores del grupo 2, el factor efectivo de este estudio es de 277,38 Mg/ha, lo que refleja un almacenamiento de 4.853.269,61 Mg/ha. Si bien es cierto que el primer contenido puede parecer un tanto modesto, da una idea general de lo que se almacena en el PNM. Es necesario considerar que las fechas del levantamiento de la información y de los mapas podrían ser un factor que explique estas diferencias, pero las ganancias en este tipo de procesos o métodos son el tiempo y los recursos invertidos.

Los estudios que existen en México sobre captura de carbono se reportan a nivel nacional o local, en este último caso se desarrollan con muestreo destructivo. Para el presente trabajo el cálculo del contenido de carbono se realizó sobre una región específica, un área natural protegida, con resultados en un tiempo relativamente corto y sin muestreo destructivo.

Tabla 4. Comparativo de contenido de carbono en diferente especie y reservorio

Vegetación	Biomasa	Suelo	Total	Fuente
	(Mg/ha)			
Picea abies	225	121	346	Nabuurs y Morthen 1993
Bosque de abies (primer escenario)	88	94	182	Estudio actual
Bosque de abies (segundo escenario)	277	94	371	Estudio actual
Bosque de pino	120	156	276	De Jong et ál. 1995
Bosque de pino	127	93,1	220	Ordoñez et ál. 2008
Pinus pseudostrobus	74	94	217	Ordoñez et ál. 2001
Bosque de pino (primer escenario)	94	94	188	Estudio actual
Bosque de pino (segundo escenario)	298	94	392	Estudio actual
Bosque de pino-encino	135	151	286	De Jong et ál. 1995
Bosque de pino-encino	116	101,3	217	Ordoñez et ál. 2008
Bosque mixto (primer escenario)	53	53	106	Estudio actual
Bosque mixto (segundo escenario)	152	53	205	Estudio actual
Bosque de encino	142	116	258	Ordoñez et ál. 2008
Bosque de encino (primer escenario)	51	51	102	Estudio actual
Bosque de encino (segundo escenario)	164	51	215	Estudio actual

Datos: Ordóñez, de Jong y Masera 2001; Ordóñez et ál. 2008; Pacheco Escalona et ál. 2007; Valdez 2014.

El panorama obtenido a través de la aplicación de las ecuaciones alométricas ratifica la preeminencia del bosque de pino como principal almacenador de carbono en el PNM, cuya capacidad decrece en la medida que avanza la edad de los árboles; esto es muy importante, teniendo en cuenta que la tasa de crecimiento dimensiona el sentido y la intensidad de los cambios experimentados durante un año en las cubiertas del bosque, es decir, se cuantifica la variación anual de su tamaño, pero no de la información sobre el retraso de la transición de la vegetación secundaria a la vegetación primaria de la que depende la acumulación de biomasa.

No obstante, cualquier actividad que implique un aumento en la cobertura forestal involucra, directamente, un aumento en la captura de carbono, considerándose esto como una medida potencialmente alta para mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub> atmosférico.

Comparando los resultados de este estudio con los datos publicados por diversos autores, se puede observar que se encuentran dentro de los rangos reportados para bosques con especies similares (tabla 4).

Otro de los principales sitios de almacenamiento de carbono es el suelo, en el caso del PNM se calculó en 4.148.985,97 Mg, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Contenido de carbono en Suelos minerales

Unidad de suelo	Superficie Ha	Carbono Mg
Arenosol	9.447,85	670.803,25
Durisol	221,96	18.867,15
Leptosol	419,10	39.814,94
Luvisol	11.448,83	1.087.644,60
Regosol	24.545,60	2.331.856,00
ZU	29,44	0
Total	46.112,79	4.148.985,97

Datos: Eggleston et ál. 2006; INEGI 2007.

Parte del poco desarrollo del bosque o el escaso crecimiento de la frontera agrícola, se explica por el contexto socioeconómico y la política pública que ha definido el curso de las actividades desarrolladas en las áreas

naturales protegidas —en adelante, ANP— en general, y del PNM en particular. Por ejemplo, esta es una de las áreas naturales protegidas que mayor población alberga dentro de sus límites, pues hasta el 2010 contaba con más de 42.000 habitantes; sumado a esto, los pobladores hacen uso de los recursos del parque ejerciendo su derecho, por ser los poseedores de las tierras ejidales y comunales, mientras el Estado no los indemnice. Si se analiza el modelo económico nacional de la década de 1970, se observa una intensificación en las actividades de desmonte debido al apoyo gubernamental en las actividades pecuarias y en las prácticas promovidas por el esquema de la Revolución Verde.

En la década de 1980 en México se establecieron legislaciones de carácter ambiental, como la Ley forestal y la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), las que, de alguna manera, promovieron la conservación de los recursos naturales. Pese a ello, las zonas forestales continuaron siendo afectadas por la tala clandestina y los incendios.

Una década después continuaba la tendencia en la pérdida de superficie forestal, correlacionada con el aumento de las superficies agrícolas y de pastizal.

En la década del 2000, ante un contexto económico y político neoliberal, se establecieron organismos e instituciones para el manejo de las ANP, como la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), que ha permitido dar atención y seguimiento a los programas de protección de estas áreas.

Finalmente, aunque en la última década se observa una lenta desaceleración de la expansión de la agricultura

y la recuperación de la superficie de bosque, no es tan evidente esta situación en la captura de carbono.

## Conclusiones

Este tipo de propuestas permite tener una visión global e inmediata del potencial de captura de carbono en los bosques y el suelo, sin la necesidad de realizar muestreos destructivos y sin una inversión alta de tiempo y costos. Por otro lado, desde el punto de vista espacial, se tiene la distribución del contenido de carbono, lo que permitiría, por ejemplo, tomar decisiones con respecto a las medidas de mitigación a nivel municipal.

La modelización a través de las metodologías utilizadas en este estudio proyecta las posibles variaciones de usos del suelo y establecen una línea base para realizar prospecciones sobre los esfuerzos que se requieren desplegar en diversos escenarios de cambio.

La interrelación de los cambios de uso del suelo, las reservas de carbono y el contexto socioeconómico y político deben ser la base para promover un manejo acorde a las características específicas del Parque Nacional Malinche, que permitan mejorar el potencial de captura de carbono.

## Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Autónoma del Estado de México por el financiamiento recibido para el desarrollo del proyecto de Investigación 3208/2012U “Estrategias de manejo integral del Parque Nacional Malinche”.



**María Eugenia Valdez Pérez**

Profesora de tiempo completo de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Tenancingo. Integrante del cuerpo académico Estudios Regionales Multidisciplinarios. Licenciada en Geografía de la misma universidad, magíster en Geografía con especialidad en conservación y manejo de recursos naturales de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y doctora en Ciencias de la misma universidad. Sus temas de investigación son las áreas naturales protegidas, los recursos naturales, la cartografía y los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

**Gandhi González Guerrero**

Profesora de tiempo completo de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Tenancingo. Integrante del cuerpo académico Estudios Regionales Multidisciplinarios. Doctora en Estudios del Desarrollo de la Universidad de Anglia del Este, Reino Unido. Sus temas de investigación son el desarrollo rural, el turismo, los recursos naturales y política pública, con énfasis en la participación comunitaria.

**Rafael Morales Ibarra**

Profesor de tiempo completo de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Tenancingo. Integrante del cuerpo académico Estudios Regionales Multidisciplinarios. Licenciado y magíster en Economía de la Universidad Autónoma del Estado de México. Magíster en Ciencias Estadísticas y candidato a doctor en Ciencias Económicas por el Colegio de Postgraduados. Integrante del padrón de evaluadores del Consejo de Acreditación en la Enseñanza de la Contaduría y Administración (CACECA). Pertenece a la cartera de árbitros de la *Revista Mexicana de Investigación Educativa (COMIE)*, de la *Revista Papeles de Población del CIEAP* y de la *Revista Estudios Políticos* de la CEP en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Sus líneas de investigación son la economía regional, el desarrollo económico, las micro, pequeñas y medianas empresas, las finanzas populares, y el análisis estadístico aplicado a la economía y las ciencias sociales.

**Rut Yadira Bolaños Suárez**

Licenciada en Relaciones Económicas Internacionales de la Universidad Autónoma del Estado de México. Su proyecto de tesis es un diagnóstico socioeconómico del Parque Nacional Malinche bajo el criterio de cuencas hidrológicas.

## Referencias

- Acosta Mireles, Miguel, Fernando Carrillo Anzures y Maricarmen Díaz Lavariega. 2009. "Determinación del carbono total en bosques mixtos de *Pinus patula* Schl. Et Cham". *Terra Latinoamericana* 27:105-114.
- Bolaños S., Rut Yadira. 2014. "Diagnóstico socioeconómico del Parque Nacional Malinche bajo el criterio de cuencas hidrológicas". Tesis de Licenciatura en Relaciones Económicas Internacionales, Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Castelán, Rosalía, Jesús Ruiz, Gladys Linares, Ricardo Pérez y Víctor Tamariz. 2007. "Dinámica de cambio de uso espacio temporal de uso del suelo de la subcuenca del río San Marcos, Puebla, México". *Investigaciones Geográficas: Boletín del Instituto de Geografía* 64:75-89.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2011. *Inventario Nacional forestal y de suelos 2007-2010*. Base de Datos. Guadalajara: Comisión Nacional Forestal.
- Díaz, Rosalino, Miguel Acosta, Fernando Carrillo, Enrique Buendía, Eulogio Flores y Jorge Etchevers. 2007. "Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus Patula* Schl. Et Cham". *Madera y Bosque* 13:25-34.
- Dudley, Nigel, Sue Stolton, Alexander Belokurov, Linda Krueger, Nik Lopoukhine, Kathy MacKinnon, Trevor Sandwith y Nik Sekhran, eds. 2009. *Soluciones naturales: las áreas protegidas ayudando a la gente a enfrentar el cambio climático*. Nueva York: International Union for Conservation of Nature (IUCN)–World Commission on Protected Areas (WCPA), The Nature Conservancy (TNC), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Wildlife Conservation Society (WCS), El Banco Mundial y World Wildlife Fund for Nature (WWF).
- Eggleston, Simon, Leandro Buendía, Kyoko Miwa, Todd Ngara y Kiyoto Tanabe. 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Hayama: Intitutefor Global Environmental Strategies (IGES)–Intergovernmental Panel Climate Change (IPCC).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2003. *Carta de uso del suelo escala 1:250,000, serie III*. Conjunto Vectorial. Aguascalientes: INEGI.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2007. *Conjunto de datos vectorial edafológico, escala 1:250,000, serie II*. Conjunto Vectorial. Aguascalientes: INEGI.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. *Carta de uso del suelo escala 1:250,000, serie IV*. Conjunto Vectorial. Aguascalientes: INEGI.
- Masera, Omar, Bern de Jong e Inés Ricalde. 2000. *Consolidación de la oficina Mexicana de gases de efecto invernadero, sector forestal*. Reporte final. México: Instituto de Ecología, ECOSUR.
- Ordoñez, José Antonio, Bernardus H. J. de Jong y Omar Masera. 2001. "Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus Pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán". *Madera y Bosque* 7 (2): 27-47.
- Ordóñez, José Antonio, Bernardus H. J. de Jong, Felipe García-Oliva, Francisco Aviña, José V. Pérez, Gabriel Guerrero, Rene Martínez y Omar 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* 255 (7): 2074-2084. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.12.024.
- Pacheco Escalona, Felicitas C., Arnulfo Aldrete, Armando Gómez Guerrero, Aurelio Fierros González, Aurelio M. Cetina Alcalá, Víctor Manuel y Humberto Vaquera Huerta. 2007. "Almacenamiento de Carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus Greggii Engelm*". *Revista Fitotecnia Mexicana* 30 (3): 251-254.
- Riofrío, Guillermo. 2007. "Cuantificación del carbono almacenado en sistemas agroforestales en la estación experimental Santa Catalina, INIAP, Ecuador". Tesis de licenciatura en Biología, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. <http://es.scribd.com/doc/35448943/Cuantificacion-de-Carbono-en-sistemas-agroforestales/>
- Rojas García, Fabiola. 2008. "Consideraciones para el balance de carbono: Evaluación del movimiento de biomasa en el Parque Nacional Malinche". Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales)–INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). 2012. *México: Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México: SEMARNAT-INECC.
- SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca), PNUD (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo) y RDS (Red de Desarrollo Sostenible). 2000. *Áreas naturales protegidas de México con decretos federales 1899-2000*. México: INECC-SEMARNAT.
- Valdez, María Eugenia. 2014. "Modelo sobre el comportamiento de los gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O), a partir de la evaluación del cambio de uso de suelo en ecosistemas terrestres del Estado de México en el periodo 1983-2010". Tesis de Doctorado en Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Villers, Lourdes, Fabiola Rojas y Pedro Tenorio. 2006. *Guía botánica del Parque Nacional Malinche, Tlaxcala-Puebla*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.