

CUBIERTAS FORESTALES Y ESCENARIOS DE CARBONO EN EL ESTADO DE MÉXICO, 2002-2010

FOREST COVER AND CARBON SCENARIOS IN THE STATE OF MEXICO, 2002-2010

María Estela Orozco-Hernández¹

Patricia Míreles-Lezama²

María Eugenia Valdez-Pérez³

Alejandro C. Valdés-Carrera⁴

Universidad Autónoma del Estado de México

RESUMEN

El estudio analiza escenarios de captura y emisión de carbono en las cubiertas forestales del Estado de México. La información se obtuvo de la cartografía estatal, escala 1:250 000 y las tasas de cambio de uso del suelo en el período 2002-2010, se utilizan el método general de almacenes de carbono y factores de biomasa predeterminados. La vulnerabilidad de las cubiertas forestales se expresa en la degradación de los principales reservorios de carbono, la escasa atención concedida a las cubiertas arbustiva y herbácea, el incipiente abandono de tierras agropecuarias y el lento proceso de

1 Doctora en Geografía. Profesora de tiempo completo, Facultad de Planeación Urbana y Regional y Centro de Investigación en Estudios Avanzados en Planeación Territorial, Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico: eorozco61@hotmail.com (01722) 2781555.

2 Maestra en Ciencias. Profesora de tiempo completo, Facultad de Planeación Urbana y Regional y Centro de Investigación en Estudios Avanzados en Planeación Territorial, Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico: mireleslezamap@gmail.com

3 Maestra en Geografía y Doctorado en la Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico: evaldezp59@hotmail.com

4 Licenciado en Ciencias Ambientales por la Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico: escolapio_321@hotmail.com

Fecha de recepción: 15 de enero de 2013

Fecha de aceptación: 10 de junio de 2013

regeneración natural y reconstitución de sumideros de carbono. Las estrategias de adaptación social en contextos de degradación y cambio climático deberán dimensionar la relación intrínseca de las inapropiadas prácticas de uso de la tierra, la eliminación de sumideros de carbono y el incremento progresivo de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Palabras claves: cubierta forestal, cambio de uso del suelo, fuentes y sumideros de carbono

ABSTRACT

This study analyzes scenarios for carbon capture and release in the forest cover of the State of Mexico. The information was obtained from the State cartography, scale 1:250 000 and the rates of change of land use in the period 2002-2010; using the general method for carbon storage and biomass factors default. The vulnerability of the forest cover is expressed in the degradation of the main carbon reservoirs, the scant attention given to shrubby and herbaceous covers, the abandonment of agricultural land and the slow process of natural regeneration and reconstitution of carbon sinks. Strategies of social adaptation in contexts of degradation and climate change must measure the intrinsic relationship of inappropriate land use practices, elimination of carbon sinks and the progressive increase in emissions of greenhouse gases.

Keywords: Forest cover, land use changes, carbon sources and sinks, State of Mexico

Introducción

El deterioro de las cubiertas forestales y la función que desempeñan en la provisión de bienes y servicios ambientales, orienta la cuantificación de la superficie forestal, la deforestación, los cambios de uso del suelo y almacenamiento de carbono. Los resultados se utilizan desde un contexto general para proponer políticas, programas y proyectos de intervención, sin embargo, los factores que explican la transformación de las cubiertas forestales no han sido considerados en el diseño de las propuestas. En México, la Ley General de Cambio Climático elevó a rango constitucional la responsabilidad de los gobiernos en materia de mitigación y adaptación, y reconoció la importancia de los aspectos sociales de la vulnerabilidad ante la amenaza de los cambios extremos del clima (DOF, 2012, p.1), en esta línea precisa el reforzamiento de las investigaciones sociales y económicas, mejoramiento de los factores de emisión propios, las metodologías para determinar las emisiones y la elaboración de programas estatales y municipales de acción climática (SEMARNAT-INE, 2012, pp.2 y 5).

En la quinta comunicación nacional se informó que se produjo un incremento general de 33.4% de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) con respecto a 1990, a una tasa de crecimiento media anual (TCMA) de 1.5%, las tres últimas comunicaciones muestran incremento en las emisiones de la agricultura y decremento en la categoría de uso del

suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (USCUSS). El decremento de 52.1% y la tasa de -3.8% que presentó la categoría de USCUSS en el período 1990 a 2010 se atribuyó a un proceso combinado de emisión por fuentes y absorción por sumideros (SEMARNAT-INECC, 2012, pp.30-31); sin embargo, el balance solo considera la absorción en las tierras agrícolas abandonadas (cuadro 1) y ratifica que la fuentes de emisión más importantes sigue siendo, la conversión de bosques y pastizales, y los suelos.

Cuadro 1. México. Balance neto de las emisiones y absorciones en USCUSS, 2010

Subcategorías de emisión	Giga gramos (Gg)	%
Conversión de bosques y pastizales	46,547.9	71.6
Suelos	12,593.0	19.4
Cambios en biomasa y otros reservorios de biomasa leñosa	5,860.6	9.0
Total	65001.5	100
Subcategorías de absorción	Giga gramos (Gg)	
Abandono de tierras agrícolas	18,109.2	
Balance neto de las emisiones y absorciones	46,892.4	

Fuente: elaboración propia con base en SEMARNAT- INECC, 2012, 30. Un gigagramo (1 x 10⁹ gramos) equivale a un millón de kilogramos, o bien, a mil toneladas.

Para el país se reportó un almacén de 32 t CO por hectárea en la biomasa forestal viva en el período 1990-2010 y un cambio anual en millones de toneladas/año de -7 de 2005-2010 (FAO, 2010). La capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar o emitir carbono está condicionada por la intervención humana que a través de los sistemas de aprovechamiento de la tierra incide en los ciclos de renovación natural en escalas regionales y locales. Los reservorios de carbono de los ecosistemas forestales se conforman por el follaje, las ramas, las raíces, el tronco, los desechos, los productos y el humus estable en el suelo (Ordóñez, 1999, p.14) y la conversión de los reservorios a fuentes de emisión está determinada por las actividades de uso de la tierra (González et al, 2005).

La incidencia de los factores de presión varía de acuerdo con la vegetación que se trate, en los bosques, los incendios, las plagas, los cambios de uso de suelo y la tala clandestina; y en la selva, las plagas y enfermedades,

el cambio de uso de suelo, los incendios y en general los conflictos agrarios y la pobreza extrema (CONAFOR-PEFM, 2003). Las existencias de carbono en un depósito cambian, cuando las pérdidas superan las ganancias y el depósito funciona como fuente; cuando las ganancias superan las pérdidas, se acumula carbono en los depósitos y éstos funcionan como sumideros (IPCC, 2006, 4.82), este proceso se relaciona directamente con la permanencia o merma de la cobertura forestal. En el Estado de México la merma del bosque es un fenómeno histórico, al inicio del siglo XIX se disponía de 1,180,000 hectáreas de bosque, un siglo después la superficie decreció un 50% (Ceballos et al, 2008, p.319), la situación motivo dos vedas sucesivas (1947-1970 y 1990-1995), aprovechamientos regulados y la instauración de áreas naturales protegidas nacionales y estatales. A la fecha, el desmonte, la conversión de tierras de vocación forestal al uso agrícola y la explotación de los bosques maderables son los principales factores de presión y causa de la fragmentación y deforestación de bosque y selva (Orozco et, 2009, GEM, 2006, p.28). Algunos estudios precisan que en el Estado de México, la conversión de bosque primario a bosque secundario, pastizal y cultivos, está condicionada por los factores demográficos, la proximidad a las zonas agrícolas y la fragilidad ecológica (Pineda *et al*, 2009, p.49), y la merma en la densidad de la masa forestal superior a su incremento en un bosque primario (Franco *et al*, 2006, p.38) advierte la presencia de procesos de degradación-recuperación incentivados por la tala clandestina, particularmente en las áreas naturales protegidas (ANP): Sierra de las Cruces, Reserva Forestal las Goletas, Nevado de Toluca y la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. El ciclo de degradación-fragmentación-deforestación y cambio de uso del suelo está vinculado al uso extensivo de la tierra en la propiedad social, en este régimen de propiedad las prácticas de uso tradicional de la tierra: quemas periódicas, agricultura de subsistencia, pastoreo extensivo y aprovechamiento legal e ilegal del bosque maderable, configurando una problemática que afecta la productividad primaria de los ecosistemas terrestres y su capacidad para almacenar carbono.

Aunado a lo anterior, no se cuenta con información estatal sobre las pérdidas de carbono motivadas por la conversión de las cubiertas forestales a otros usos, este vacío de información llevó al diseño de una investigación exploratoria con el objetivo de estimar los escenarios de captura y emisión de carbono (CO₂) en grandes áreas, el alcance del estudio está

delimitado por las cualidades comparativas y proyectivas de los estudios sistemáticos y un planteamiento hipotético-deductivo, que anticipa que la tasa de conversión que experimenta la superficie ocupada por cada cobertura forestal en el período 2002-2010, probablemente incentivará la emisión de carbono, luego entonces, la superficie en cambio se desempeñara como fuente, en concordancia con lo anterior se utilizan métodos indirectos de cálculo, cuyos resultados deben interpretarse como indicativos.

Métodos y materiales

En este estudio se utilizó una metodología de nivel 1 en congruencia con la escala estatal y valores de biomasa aérea predeterminados y los recuperados de la literatura. Así como la cartografía vectorial escala 1:250,000 de las series III (2002), IV (2010) y se cuantificó la superficie por medio del software ArcGIS. El Panel Intergubernamental de Cambio climático, señala que... “no es realista proyectar el cambio de uso de la tierra más allá de diez años, debido a que las tasas y los patrones de deforestación están sujetos a factores biofísicos, socioeconómicos y políticos” (IPCC, 2005, p.153), y los cambios de uso del suelo y el aprovechamiento forestal son fuentes netas de bióxido de carbono, las emisiones de la degradación son más difíciles de combatir, entonces la comprensión de las causas específicas que desencadenan la degradación es un punto de partida fundamental para estimar las pérdidas de carbono (UNFCCC, 2008). Partiendo de ambas recomendaciones se calcularon las tasas de cambio de uso del suelo en el período 2002-2010 (Palacio-Prieto et al, 2004, p.41).

$$C = ((T2/T1)^{1/n} - 1) * 100$$

Donde:

C = tasa de cambio

$T1$ = año de inicio (con el que se quiere comparar)

$T2$ = año actual o más reciente

n = número de años entre $T1$ y $T2$

A través de las tasas de cambio se identificaron las pérdidas y ganancias de superficie por tipo de cobertura forestal (anual y total) y se aplicaron factores de biomasa aérea predeterminados en selva baja caducifolia,

pastizal, bosque y matorral, (IPCC, 2006) y el factor para la cubierta agrícola se tomó de Elizondo (2002, p.15) (cuadro 2).

Cuadro 2. Valores predeterminados de biomasa aérea

Cobertura	Biomasa t/ha	Alta	Media	Baja
Bosque	Bosque continental templado	200	130	50
Selva baja caducifolia	Bosque seco subtropical	410	210	200
Agrícola	Maíz en temporal (Elizondo, 2002)			7.5
Pastizal	Estepa subtropical Pastizal (De Jong, 2010)	90	80	40 y 15
Matorral	Arbustos tropicales	90	80	40

Elaboración propia con base en IPCC, 2006

La biomasa es la suma total de la materia orgánica viva de las plantas fotosintéticamente activas en una unidad de área, tanto arriba como abajo del nivel del suelo; está compuesta por los árboles, la vegetación arbustiva y la vegetación herbácea y se expresa en términos de peso seco, masa o volumen (Pardé 1980 en Riofrío, 2007, p.9). La biomasa varía de una especie forestal a otra y el almacenamiento de carbono depende de la productividad primaria neta de cada sistema, 1 gramo de biomasa es equivalente a 0.5 gramos de carbono o bien un CC de 50%, esta equivalencia ha sido aplicada en diversos trabajos para determinar los almacenes de carbono a distintas escalas (Maser, De Jong, Ricalde, 2000, p.28, Pacheco *et al*, 2007, p.251). La estimación de los escenarios focaliza la capacidad de las coberturas forestales para capturar carbono atmosférico y la conversión de estas áreas en fuentes de emisión de dióxido de carbono (CO₂), los cálculos se realizaron a través del método general de almacenes de carbono (Brown, Lugo y Chapman, 1986, p.390).

$$CO_2 = B * F$$

$$F = CC * 44 / 12 = CO_2$$

En este procedimiento los datos de biomasa por hectárea (B) son multiplicados por un factor (F), que involucra el contenido de C (CC en proporción) en la biomasa seca y la relación entre el peso de la molécula de CO₂ (44) y el peso del átomo del C (12), con la finalidad de precisar el desarrollo de la fórmula se retomó una estimación de referencia y posteriormente se replicó.

a) Estimación de referencia

Ben De Jong y colaboradores (2010, p.3) estimaron la emisión de CO₂ producido por la conversión de 150 hectáreas de selva a pastizal en el estado de Chiapas, utilizaron un valor de biomasa seca de 250 toneladas en selva y 15 toneladas en pastizal:

$$150 * (250 - 15) * 0.5 * 44/12 = 64,625 \text{ T CO}_2$$

b) Réplica con el método propuesto

Emisión de CO₂:

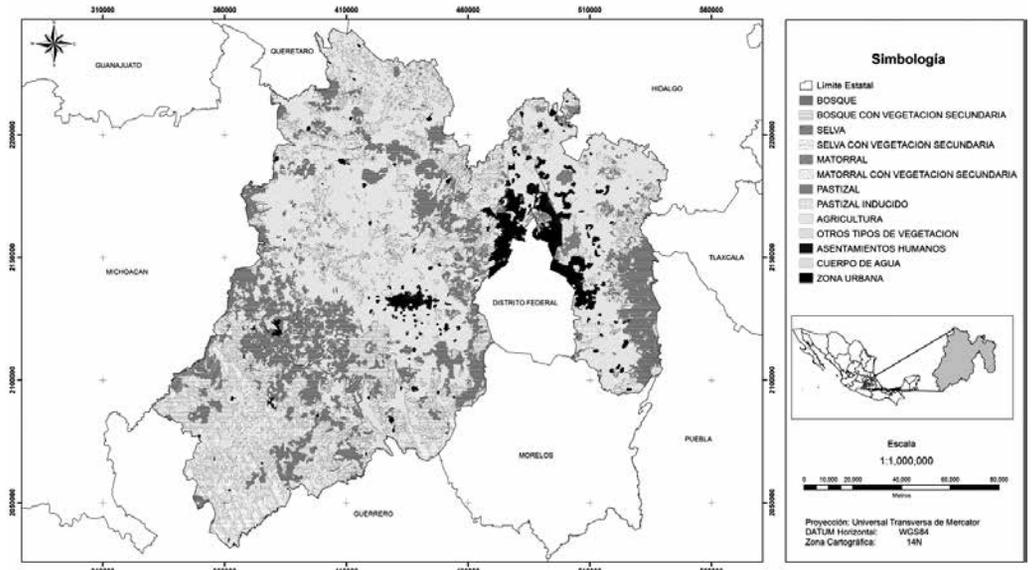
$$150 * (250 - 15) * 0.5 * 44/12 = 35,250 * 0.5 * 3.66666667 = 35,250 * 1.8 = 64,625 \text{ T CO}_2$$

Resultados

Reservorios de carbono

El Estado de México forma parte del altiplano mexicano, cubre 1.1% de la superficie del país, se localiza a los 20° 16' y 18° 21' de latitud norte, 98° 35' y 100° 36' de longitud este y oeste, en la porción norte prevalecen formaciones y suelos volcánicos, clima templado y bosque, al sur las formaciones calcáreas, clima cálido y selva baja caducifolia (figura 1).

Figura 1. Uso de suelo y vegetación Estado de México, 2010



Elaborado por Alejandro Valdés Carrera con base en CONAFOR, 2010

El estado de las cubiertas forestales indica que 42%, 88% y 9% de la superficie de bosque, selva baja caducifolia y matorral xerófilo presenta vegetación secundaria, y la estimación de los reservorios muestra que el bosque templado degradado y primario almacenan 61% del carbono total, la selva baja caducifolia degradada y el pastizal inducido tienen participación significativa. Aunque no son discutibles los beneficios ambientales de la protección de las cubiertas forestales (reservas de carbono, formación y fijación de suelo, protección y conservación de la biodiversidad, regulación del ciclo del agua y el clima local (cuadro 3), la política forestal estatal se centraliza en la regulación del aprovechamiento del bosque maderable, aquél que tiene poca superficie bajo manejo técnico, limitada inversión, reducida producción, con una moderada creación de empleos, baja generación de ingresos y poca participación en el producto interno bruto (GEM, 2006, p.11), y se han descuidado las selvas, los matorrales y otros tipos de vegetación.

Cuadro 3. Reservorios de carbono en el Estado de México, 2010

Categoría	Superficie total Has, 2010	Biomasa t/ha	Almacenes t CO	%	Almacenes Gt CO
Bosque primario	362022.45	130	84713253.3	47.77	0.0847132533
Bosque con vegetación secundaria	261482.55	50	23533429.5	13.27	0.0235334295
Subtotal	623505	-	108246682.8	61.04	0.1082466828
Selva baja caducifolia	14609.487	210	5522386.086	3.11	0.005522386086
Selva baja caducifolia con vegetación secundaria	102833.675	200	37020123	20.87	0.037020123
Subtotal	117443	-	42542509.086	23.98	0.042542509086
Pastizal	15110.983	80	2175981.552	1.22	0.002175981552
Pastizal inducido	302528.613	40	21782060.136	12.28	0.021782060136
Subtotal	317639	-	23958041.688	13.5	0.023958041688
Matorral xerófilo	17093.731	80	2461497.264	1.38	0.002461497264
Matorral xerófilo con vegetación secundaria	1651.61324	40	118916.15328	0.06	0.00011891615328
Subtotal	18745.3	-	2580413.41728	1.44	0.00258041341728
Total	1077332.3	-	177327646.99128	99.96	0.17732764699128

Elaboración propia

Tendencia de cambio

La tendencia de cambio en el período 2002-2010 se determinó a través del cálculo de la tasa de cambio anual de la superficie ocupada por cada uso del suelo. Las tasas positivas refieren la ganancia de superficie en bosque, asentamientos humanos, cuerpos de agua, selva y otros tipos de

vegetación, y las tasas negativas se traducen en las pérdidas de superficie en agricultura, pastizal y matorral (cuadro 4). La tasa de cambio anual inferior a 0.3% en el bosque templado y la selva baja caducifolia, contrasta con la de otros tipos de vegetación (2%), la tendencia expresa la presencia de procesos transicionales de degradación inducidos por los aprovechamientos ilegales y el control público, frente a la débil revegetación natural de tierras abandonadas.

Cuadro 4. Tasas de cambio de uso de suelo, 2002-2010

Uso del suelo	Superficie 2002 (km ²) A	Superficie 2002 (ha)	Superficie 2010 (km ²)	Superficie 2010 (ha)	% de cambio anual B	Superficie de cambio anual (km ²) C	Superficie de cambio anual (ha) D
Agrícola	10385.00	1038500	10302.07	1030207	-0.100	-10.385	-1038.5
Bosque	6121.48	612148	6235.05	623505	0.23	14.079	1407.9404
Pastizal	3275.43	327543	3176.39	317639	-0.383	-12.544	-1254.489
Selva baja caducifolia	1173.92	117392	1174.43	117443	0.0054	0.06339	6.339168
Asentamiento Humano	875.79	87579	937.00	93700	0.848	7.4266992	742.66992
Cuerpo de Agua	176.87	17687	181.06	18106	0.293	0.5182291	51.82291
Matorral xerófilo	206.17	20617	187.45	18745	-1.182	2.4369294	243.69294
Otros tipos Vegetación	117.75	11775	138.96	13896	2.091	2.4621525	246.21525
Total	22332.41	2233241	22332.41	2233241			
					Ganancias	25.3188553	2531.926098
					Pérdidas	26.248337	2624.9227
					Saldo	0.9294817	92.996602

Elaboración propia

Nota: El cálculo de los datos se basa en $A * B / 100 = C$ (Superficie al año en km²) y la estimación de las pérdidas y ganancias de superficie en hectáreas en $C * 1000,000/10,000 = D$.

La tasa de cambio negativa experimentada por la superficie agrícola y pastizal, advierte el lento proceso de abandono de las tierras y la reorientación productiva fomentada por las políticas nacionales y estatales, que potencia selectivamente las áreas agrícolas de temporal alto y áreas de pastizal inducido a través de la incorporación de riego para producir pastos, praderas y maíz comercial, en contrasentido no se ha valorado la función de los matorrales en los procesos de formación y protección de los suelos y en los ciclos biológicos, geográficos y químicos de los ecosistemas.

El balance de pérdidas y ganancias de superficie anual asciende a menos 92.9 hectáreas, o bien 760 hectáreas en el período 2002-2010, equiparable al 0.03% de la superficie total de la entidad.

Escenarios de absorción y emisión de carbono

En las estimaciones se utilizaron valores predeterminados medios y bajos, y el incremento o decremento neto de superficie por tipo de cobertura en el período 2002-2010. La ganancia de superficie de bosque y factor de biomasa de 130 tonelada por hectárea (t/ha), reporta la captura de 234 toneladas de carbono por hectárea (cuadro 5).

Cuadro 5. Captura de carbono en la superficie de bosque y selva baja caducifolia, 2002-2010

	Ganancia de superficie anual Has	Ganancia de superficie neta Has	Biomasa t/ha	Captura anual t CO	Captura neta, t CO	Captura t CO * Ha
Bosque	1407.9404	11263.523	130 y 50	329,458.053	2,635,664.428	234/90
Selva	6.339168	50.713	200 y 90	2,282.100	18,256.803	360/ 162

Elaboración propia.

El escenario se aproxima al dato global para comunidades de bosque templado (cuadro 6); sin embargo, es perceptible la contribución del suelo en proporción igual o mayor a 50%, lo cual ha sido confirmado por estudios detallados (Etchevers, Acosta, Monreal, Quednow y Jiménez, 2001, p.1).

Cuadro 6. Compartimientos de carbono en comunidades de bosque

Vegetación	Biomasa (tC/ha)	Suelo (tC/ha)	Productos (tC/ha)	Total (tC/ha)
Bosque de pino	120	156	-	276
Bosque de Pino-encino	135	151	-	286
Bosque templado primario	123	134	-	257
Bosque templado secundario	90	120	-	210
<i>Pinus pseudostrobus</i>	74	94	49	217

Fuente: Ordoñez *et al.*, 2001, De Jong *et al.*, 1995, Nilsson y Schopfhauser, 1995

En un escenario de bosque secundario y un factor de biomasa de 50 t/ha, la captura de carbono se redujo a 90 toneladas por hectárea, este dato

es superior al reportado para una de las especies dominantes de la entidad, el *Pinus pseudostrobus*. Es decir que la capacidad de almacenamiento de carbono de los sistemas forestales y los sistemas agroforestales, depende del estado de conservación de los bosques, la edad y la productividad primaria, lo que posibilita que en el largo plazo se alcancen de 80 a 350 toneladas de carbono por hectárea (Angulo y Valdez, 2000, p.11).

En el escenario de la selva baja caducifolia estimado con un factor de biomasa de 200 t/ha, la captura ascendió a 360 toneladas de carbono por hectárea; sin embargo, atendiendo a la degradación motivada por el desmonte se realizó una estimación alterna con un factor de biomasa de 90 t/ha, que determinó la captura de 162 toneladas de carbono por hectárea. La problemática de la selva es similar a la que presenta el bosque de encino y el bosque de encino-pino, el principal factor de presión son las prácticas de aprovechamiento de la ganadería extensiva al sur de la entidad. En cuanto a la pérdida de superficie agrícola, la estimación supone la captura de carbono en tierras abandonadas y en virtud de que no se identificó un factor de biomasa predeterminado y el cultivo de maíz ocupa más del 50% de la superficie sembrada en el Estado de México, se retoma un factor de masa seca de 7.5 t/ha para el cultivo de maíz en temporal (Elizondo y Boschini, 2002, p.15).)(cuadro 7).

Cuadro 7. Captura de carbono en tierras agrícolas abandonadas, 2002-2010

	Pérdida de superficie anual Has (a)	Pérdida de superficie neta Has (a)	Biomasa t	Captura anual t CO	Captura neta, t CO	Captura t CO * Ha
Agrícola	-1,038.5	-8,308	7.5	14,019.75	112,158	13.5

Elaboración propia

El escenario delinea que en la fase de restitución, las tierras abandonadas se recuperarán lentamente y la captura de carbono será muy baja; o bien, la recuperación podría ser más rápida a través de la siembra de cultivos perennes (plantaciones forestales, frutales o praderas). Lo anterior sugirió la estimación de un escenario alterno basado en datos de actividad, en el ciclo agrícola 2009, se sembraron 81,003 hectáreas con pastos y praderas verdes (SIAP, 2009) y un factor de biomasa de 40 y 80 t/ha, la captura de carbono asciende a 72 y 144 toneladas por hectárea, respectivamente. En estas condiciones el cultivo de perennes es una alternativa para

restituir los reservorios de carbono en tierras abandonadas; sin embargo, su viabilidad depende de la favorable combinación de los factores técnico, económico y social, y la implementación de prácticas que eviten incrementar las emisiones agrícolas.

La estimación a partir de la pérdida de superficie en pastizal y matorral y un factor de biomasa de 40 toneladas por hectárea, ambas cubiertas emitirían 72 toneladas de carbono por hectárea, y en pastizal con un factor de 15 t/ha, la emisión se reduce a 27 toneladas por hectárea (cuadro 8).

Cuadro 8. Emisión de carbono de las cubiertas de matorral y pastizal, 2002-2010

	Pérdida de superficie anual Has (a)	Pérdida de superficie neta Has (a)	Biomasa t/ha	Emisión anual t CO	Emisión neta, t CO	Emisión t CO * ha
Matorral	243.69294	1949.54352	40	17545.89168	140367.133	72
Pastizal	1254.489	10035.912	40/15	90323.208	722585.664	72 o 27

Elaboración propia

El matorral y pastizal son el objeto de quemas periódicas y fuente primaria de alimentación del ganado, lo que aunado al desconocimiento botánico y la ausencia de medidas que moderen las prácticas de uso de la tierra incrementa su vulnerabilidad a la degradación y deforestación. Los datos gruesos de la categoría USCUS en el país, prescriben que para obtener el balance se sustrae a las emisiones totales, la captura de carbono en tierras abandonadas (SEMARNAT/INE, 2006 p.33). En este estudio el balance global exhibe un saldo positivo de 1,903, 126.43564 toneladas de carbono; sin embargo, el balance de las emisiones 750794.797 toneladas de carbono (cuadro 9).

Cuadro 9. Balance estatal de la captura y emisión de carbono, 2002-2010

Categorías de actividad	Toneladas de carbono (t)	Giga toneladas de carbono (Gt)
a) Captura neta en bosque + selva	2,653,921.23264	0.00265392123264
b) Emisión neta en pastizal y matorral	862,952.797	0.000862952797
c) Captura en tierras agrícolas abandonadas	112,158	0.000112158
Balance de las emisiones b-c = d	750794.797	0.000750794797
Balance global de la captura y emisiones de carbono a-d	1,903,126.43564	0.00190312643564

Elaboración propia

Debe dimensionarse en el marco de los efectos sobre el cambio climático, los efectos directos expresan que de no controlarse las inapropiadas prácticas de uso de las tierras se incrementarán progresivamente las emisiones de gases de efecto invernadero, y los efectos indirectos derivados del avance de los procesos de fragmentación y degradación de las coberturas forestales, determinará en el corto y mediano plazo la eliminación de sumideros de carbono atmosférico y el empobrecimiento social y ambiental de las comunidades rurales.

Discusión de resultados

El incremento de la superficie de bosque templado y selva baja caducifolia no compensa el incremento de la cubierta de otros tipos de vegetación, específicamente la vegetación secundaria (INEGI, 2009), cuya presencia es indicativa de la degradación y fragmentación ocasionada por el aprovechamiento selectivo de los productos maderables (pino, oyamel, cedro, encino, aile y madroño) y no maderables (resinas, musgo, leña, tierra de monte y tierra de hoja) y pastoreo de ganado. El decremento de la superficie agrícola y pastizal a un ritmo anual de -0.1% y -0.38 se asocia al lento proceso de abandono de las tierras y revegetación natural.

La tasa de cambio de la superficie de matorral (-1.182) expone la presión que ejerce el ramoneo del ganado y las quemas periódicas para el rebrote de pasto tierno, al noroeste de la entidad. Este tipo de vegetación no está considerado en la política de protección, conservación y aprovechamiento forestal sustentable y en la valoración de las existencias de carbono. Los escenarios de captura y emisión de carbono destacan la regeneración natural en la reconstitución puntual y dispersa de sumideros de carbono, cuya productividad deberá analizarse para evaluar su incidencia en la compensación de los impactos eco-sistémicos de la degradación y la fragmentación de las cubiertas forestales.

El análisis debe incorporar el estudio de las fuerzas subyacentes que explican el deterioro de las cubiertas del suelo, los incentivos agrícolas, las políticas de reconversión y diversificación productiva, los sistemas y las prácticas de aprovechamiento condicionados por la propiedad de la tierra, la pobreza, los conflictos agrarios, las necesidades sociales y los intereses económicos de sectores y grupos. La conjunción de estos factores genera cambios persistentes de largo plazo que envuelven a las comunidades

rurales en un círculo de pobreza, merman el potencial productivo aprovechable y producen cambios irreversibles en las reservas de carbono.

Conclusión

El estudio se realizó con una metodología articulada por los procedimientos generales para realizar las mediciones en la cartografía, los cálculos de las tasas de cambio de las coberturas forestales y la estimación de los escenarios de carbono a través de métodos y valores de biomasa reportados en la literatura.

El alcance indicativo de los resultados muestra que la recuperación de las coberturas de bosque y selva baja caducifolia, y el decremento de la superficie agrícola y pastizal inducido, correlaciona el lento abandono de las tierras sujetas a un uso agropecuario previo, la débil regeneración natural de la vegetación nativa y la reconstitución dispersa de sumideros de carbono. La distribución de la vegetación secundaria acota la progresiva degradación de las cubiertas de bosque, selva baja caducifolia y matorral xerófilo a consecuencia de las prácticas extractivas de aprovechamiento, y la pérdida de superficie en las cubiertas de matorral exhibe su vulnerabilidad ante la carencia de medidas que regulen las prácticas de rosa, tumba y quema en el sistema de aprovechamiento pastoril y la atención que requieren como reservorios y fuentes de emisión directa de carbono y otros gases.

El balance de los escenarios confirma la importancia del bosque y la selva como principales reservorios de carbono, la contribución del matorral y pastizal en la emisión directa de gases de efecto invernadero y la limitada contribución de las tierras abandonadas en la mitigación de las emisiones. Las líneas de investigación identificadas en este estudio destacan la utilidad de las escalas generales y detalladas para abordar el estudio de la descomposición y quema de la biomasa aérea asociada a la conversión de bosques a otros usos, la cuantificación de carbono orgánico en diversas coberturas vegetales y sistemas productivos, evaluación de la productividad y potencial de captura en la reconstitución de los sumideros de carbono, el ciclo de transformación de las coberturas forestales en áreas y sitios específicos sujetos a las prácticas tradicionales de aprovechamiento y el análisis de las causas sociales y económicas que motivan la conversión de tierras en el ámbito local y micro local, y con especial atención

en las cubiertas arbustiva, herbácea y latifoliadas, estos aspectos son pieza clave para diseñar políticas coherentes y estrategias viables de adaptación socio productiva.

Agradecimientos

Proyecto cambios de uso del suelo, inducidos por actividades agropecuarias en ecosistemas terrestres templados y cálidos del Estado de México: Impactos locales y emisiones globales de gases de efecto invernadero. CONACYT-SEMARNAT 107956.

Referencias

- Angulo, C. y Valdez, M. (2000). *Valoración Económica de la captura de CO₂ en el Parque Nacional Desierto de los Leones. Protección de las funciones ambientales de los bosques. Uso de Instrumentos económicos para la Inversión Ambiental*. Distrito Federal, México, Procuraduría Federal de Protección al Ambiente: PROFEPA.
- Brown, S., Lugo A. y Chapman, J. (1986). Biomass of tropical tree plantations and its implications for the global carbon budget. *Canadian Journal of Forestry Research*, 16(2), pp.390-394.
- Ceballos, G., Rurik, L., Garduño, G., López, R., Muñoz, M. y Collado, E. (2008). *La diversidad biológica del Estado de México*. Estudio de estado, Biblioteca Mexiquense del Bicentenario. Colección Mayor. Toluca, México Gobierno del Estado de México-Secretaría del Medio Ambiente: GEM-SMA.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR-PEFM) (2003). *Programa Estratégico Forestal para México 2025*. Publicación Especial de la Comisión Nacional Forestal, Zapopan, Jalisco, México: CONAFOR.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) (2010). Cartografía de uso del suelo del Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2007-2010, conjunto de datos vectorial del Estado de México, escala 1:250,000 Serie IV, SEMARNAT – CONAFOR, Guadalajara, México.
- De Jong, B., G., Montoya, K. Nelson, Soto, L., Taylor, J. y Tipper, R. (1995). Community forest management and carbon sequestration: a feasibility study from Chiapas, Mexico. *Revista Interciencia*, 20(6), pp.409-416.

- De Jong, B., Maldonado, V., Olguín, M., Rojas, F., De la Cruz, V., Paz, F., Jiménez, G. y Castillo, M.A. (2010). Inventario de GEI provenientes del sector Agricultura, Silvicultura, y Otros Uso de Suelo (ASOUS), Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas, Chiapas, México: ECOSUR.
- Diario oficial de la federación. (2012). Ley General de Cambio Climático, Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión, Secretaría General, Secretaría de Servicios Parlamentarios, Dirección General de Servicios de Documentación, Información y Análisis, México (pp. 1-44).
- Elizondo, J. y Boschini, C. (2002). Producción de forraje con maíz criollo y maíz híbrido. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 13(1), pp. 13-17.
- Etchevers, J., Acosta, M., Monreal, C., Quednow, K., y Jiménez, L. (2001). Los stocks de carbono en diferentes compartimientos de la parte aérea y subterránea de los sistemas forestales y agrícolas de ladera en México. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de Carbono en Ecosistemas Forestales, 18 al 20 de octubre, Valdivia, Chile, pp. 1-19.
- FAO (2010). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Informe principal, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO: Montes, 163, Roma, pp. 1-381.
- Franco, S., Regil, H.H., González, C., y Gabino, B. (2006), Cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, México, en el periodo 1972-2000. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 61, pp.38-57. UNAM.
- Gobierno del Estado de México (GEM) (2006). Programa de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de México 2005-2025. Secretaría de Desarrollo Agropecuario-Protectora de Bosques, Toluca, México, pp. 7-100.
- Gobierno del Estado de México (GEM) (2008). Bases de Diagnóstico. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Vulnerabilidad del Estado de México ante el Cambio Climático Global, Secretaría de Medio Ambiente. Dirección General de Prevención y control de la contaminación Atmosférica, Tlalnepantla; Estado de México, pp. 1-128.

- González, J., Marín, R., Álvarez, F., Díaz, J., González, R. y Pardo, F. (2005). Aplicación del Protocolo de Kioto para Castilla y León, Colección de Estudios, 8 (CES), *Edita*: Consejo Económico y Social de Castilla y León, Valladolid, España, pp.1-444.
- INE (2000). Situación general existente en las comunidades agrarias con respecto al manejo de los recursos naturales. Instituto Nacional de Ecología. Recuperado de: www.ine.gob.mx/dgipea/descargas/ejido_conserv_3.pdf
- INEGI (2009). Guía de interpretación de cartografía de Suelo y Vegetación, escala 1:250,000. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática, Aguascalientes, México.
- IPCC (2005). Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), Programa del IPCC sobre inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Organización Meteorológica Mundial (OMM), Suiza (pp. 1.5-1.11)
- IPCC Intergovernmental Panel Climate Change (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (eds). Publicado por: IGES, Japón.
- Masera, O., De Jong, B., y Ricalde, I. (2000). Consolidación de la oficina Mexicana de gases de efecto invernadero, Sector Forestal. Reporte final. Instituto Nacional de Ecología, Distrito Federal, México, pp. 1-197.
- Nilsson S. and Schopfhauser, W. (1995). The carbon-sequestration potential of a global afforestation program. *Climatic Change*, 30, pp. 267-293.
- Ordóñez, D. J. B. (1999). Captura de Carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. SEMARNAT-INE, México, Distrito Federal, pp.1- 65.
- Ordóñez, B., De Jong, J. y Masera, O. R. (2001). Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus Pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosque*, 7(2), pp. 27-47.
- Orozco, H. M. E., Gutiérrez, M. G., y Delgado, C. J. (2009). Desarrollo Rural y deterioro del bosque en la región interestatal del Alto Lerma. *Revista Economía Sociedad y Territorio*, IX(30), pp. 435-472.

- Pacheco, F.C., Aldrete, A., Gómez, A., Fierros, A., Cetina, V., y Vaquera, H. (2007). Almacenamiento de Carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus Greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(003), pp. 251-254.
- Palacio, J. L., Sánchez, M.T., Casado, J.M., Propin, E., Delgado, J., Velázquez, A., Chias, L., Ortiz, M.I., González, J., Negrete, G., Gabriel, J. y Márquez, R. (2004), Indicadores para la Caracterización y Ordenamiento del Territorio. Distrito Federal, México: UNAM, INE, CONANP, CONABIO, SEGOB, INEGI, SEDESOL.
- Pineda, J. B.N., Bosque, S. J., Gómez, D. M. y Plata, R. W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 69, pp. 33-52.
- Riofrío, G. (2007). Cuantificación del carbono almacenado en sistemas agroforestales en la estación experimental Santa Catalina, INIAP. Tesis inédita de licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, pp.1-106.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2006a). Inventario Nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2002. Instituto Nacional de Ecología INE, Distrito Federal, México, pp.1-258.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/ Instituto Nacional de Ecología (2006b). México. Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, SEMARNAT-INE, Distrito Federal, México, pp. 27-209.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/ Instituto Nacional de Ecología (2009). México. *Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*, INE, Distrito Federal México, pp. 7-274.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) (2012), México. Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, Distrito Federal, México, pp. 1-399.

Servicio de Información y Estadística agroalimentaria y pesquera (SIAP, 2009). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). Recuperado de: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>

United Nations Framework Convention on Climate Change. UNFCCC (2008). Informe del taller sobre las cuestiones metodológicas relacionadas con la reducción de las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques en los países en desarrollo, Convención Marco sobre el Cambio Climático, Universidad de las Naciones Unidas en Tokio (Japón).