



Efecto del cambio de uso de suelo en la captura de CO₂ en el estado de Morelos

Victoria Bustos-Terrones^{*}, Julio Mark Aguilar Hernández¹, Juan Gabriel Loaiza²

¹Universidad Politécnica del Estado de Morelos e ²Instituto Tecnológico de Culiacán.

*vbustos@upemor.edu.mx

Resumen

Se evaluó la capacidad de captura de dióxido de carbono (CO₂) del estado de Morelos en función del análisis de cobertura vegetal y cambio de uso de suelo para el periodo 1986-2014. Se usó el sistema de información geográfica (SIG), *softwares* como ArcGis, Qgis e IDRISI, además de métodos estadísticos planteados por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística y el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). La metodología utilizada permitió obtener las diferencias en la cobertura vegetal del suelo en el periodo de estudio. Con lo que se estimó que, debido al cambio de uso de suelo de 1467 hectáreas en este lapso, se dejó de absorber un total de 120.5 gigagramos (Gg) de CO₂. Lo que significa un incremento de las emisiones generadas por las actividades antropogénicas.

Palabras clave: captura de dióxido de carbono, cambio climático, sistema de información geográfica.

Introducción

El papel del dióxido de carbono (CO₂), en el cambio climático, tiene que ver con su capacidad de atrapar el calor en la atmósfera. El aumento excesivo en la concentración de CO₂, también conocido como anhídrido carbónico, conduce al aumento de la temperatura promedio de la Tierra, es decir, al cambio climático. Este, tiene efectos perjudiciales como el incremento en el nivel del mar, el descongelamiento de los glaciares, alteraciones en los patrones de precipitación, etc. En otras palabras, problemas ambientales y meteorológicos. El CO₂ proviene de la quema de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón, el gas natural, la deforestación

y la desaparición de los humedales¹. Con relación a la deforestación, para el periodo 2015-2020, se reportó un promedio neto anual de 127 800 hectáreas (ha), de acuerdo con una investigación internacional². La cual también hace referencia a la vulnerabilidad de nuestro país ante el cambio climático debido a sus características geográficas y socioeconómicas. Tan solo la sequía se agudizó en más del 50 % del territorio nacional en el 2022. Esta situación genera calor extremo, mayor demanda de agua, incendios de bosques y pastizales, inundaciones, entre otras.

Quizás te preguntes porqué la deforestación impacta tanto en la disminución de la captura de CO₂. La respuesta es la siguiente: los bosques funcionan como sumideros naturales de carbono. Es decir, mediante la fotosíntesis captan el carbono de la atmósfera, lo transforman y lo almacenan a través de la madera durante largos periodos. Los océanos también absorben CO₂, participando en el ciclo del carbono. Sin embargo, por más grandes que sean los sumideros marítimos y terrestres, estos no son capaces de capturar las enormes cantidades de CO₂ que producimos^{3,4}. Una de las grandes causas de la deforestación es la urbanización no planificada⁵; dicho de otra forma, el crecimiento de las zonas urbanas sin un orden.

Por otro lado, el cambio en el uso del suelo puede entenderse como la modificación o alteración del paisaje, o como la vocación natural de los terrenos, transformando el funcionamiento de los ecosistemas. Aunque estas alteraciones pueden generarse por fenómenos naturales como los deslizamientos de suelos y rocas, hundimientos, erosiones e inundaciones; su principal causa es la expansión agrícola, la tala forestal y el incremento en la densidad poblacional que obliga a la expansión de la mancha urbana. Hoy en día, cuando se habla de cambio de uso de suelo, se hace referencia a la ocupación parcial o total de una superficie para una función de desarrollo específica, ya sea de uso rural o urbano. De esta manera, se conforma una estructura planeada para el desarrollo social, político y económico de una sociedad en particular. Entonces se habla de un ordenamiento territorial.

La cobertura del suelo y los cambios que pudiera tener están condicionados por el tamaño de la población y la rapidez de su desarrollo⁶. Influyen también aspectos como el clima, la topografía, el tipo de suelo, el tipo de vegetación y la disponibilidad de agua. Por ello, un cambio de uso de suelo debe considerar un análisis minucioso a partir de la integración de diversas disciplinas.

El avance de la tecnología ha permitido el uso de imágenes satelitales, en diferentes momentos, para analizar los cambios de un terreno en particular. Satélites como Landsat, EROS, QuickBird, SPOT, que visualizan casi la totalidad de la cobertura terrestre, proveen de imágenes que permiten determinar los cambios de uso de suelo.

El estado de Morelos se ubica entre las siguientes coordenadas: al norte, 19° 07'; al sur, 18° 22' de latitud norte, y al este, 93° 37'; al oeste, 99° 30' de longitud oeste. Tiene además una extensión de 4879 km² y representa el 0.2 % de la superficie de nuestro país. De acuerdo con el último censo poblacional del Instituto Nacional de Estadística y Geografía del 2020⁷, el número de habitantes en el estado es de 1 971 520. Es una entidad atractiva dados su clima y sus riquezas naturales. Esto hace que el cambio de uso de suelo se vea inclinado hacia la zonificación urbana, disminuyendo la cobertura vegetal y, por consiguiente, la capacidad de captura

de CO₂. El 54.1 % de su superficie está cubierta por zonas agrícolas; el 11.4 %, de bosques; 26.9 %, de selvas, y un 7.6 %, por otros tipos de vegetación (hidrófila, palmar), cuerpos de agua y áreas urbanas.

Metodología

La figura 1 presenta el diagrama de flujo de las etapas de la metodología seguida en el presente trabajo.

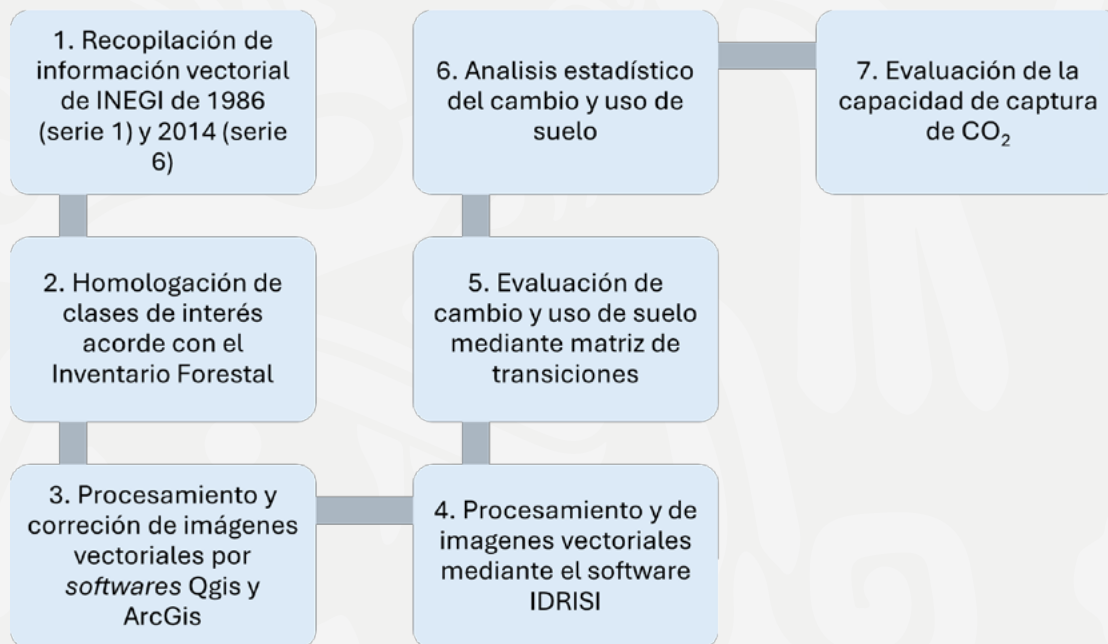


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología.

Las imágenes vectoriales fueron corregidas utilizando sistemas de información geográfica. Las capas vectoriales se descargaron del geoportal de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Para la determinación de las emisiones de CO₂ equivalente (CO_{2eq}), se empleó el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2013.

El desarrollo del punto 5 se llevó a cabo mediante la técnica de “análisis multitemporal” a partir de la superposición de imágenes. Se generó una matriz de transiciones a través del uso del *software* IDRISI. Después de obtener los cambios totales, se estimó la tasa anual de cambios mediante la ecuación 1⁸.

$$r = \left[\frac{A_2}{A_1} \right]^{\frac{1}{n}} - 1 * 100\% \quad (1)$$

Donde r es la tasa anual de cambios; A_1 , la superficie de biomasa forestal del año de inicio del periodo; A_2 , la superficie de biomasa forestal al final del periodo, y n , el intervalo de los años de estudio.

Para la evaluación del contenido de carbono en la biomasa forestal y sus cambios, se utilizó el IPCC (2006), aplicando factores de emisión y la ecuación 2.

$$DA \times FE / FA = EsEm / AbCO_2 \quad (2)$$

Donde DA son los datos de actividad; FE/FA , los factores de emisión (FE) y/o factor de absorción (FA); mientras que $EsEm/Ab$, las estimaciones de emisiones /absorciones de CO_2 .

Resultados

La tabla 1 presenta los cambios ocurridos en cada categoría de suelo en un periodo de 28 años (abarcado por este trabajo), así como el total de absorción (valores con signo negativo) y emisión de CO_2eq en Gg para cada subcategoría.

Tabla 1. Emisiones de CO_2 generadas por cada una de las seis categorías de uso de suelo	
Subsector	Emisiones (Gg CO_2eq)
Tierras forestales que permanecen como tierras forestales	-77.46
Tierras convertidas en tierras forestales	-28.97
Praderas que permanecen como praderas	-1.57
Tierras convertidas en praderas	-2.58
Tierras agrícolas que permanecen como tierras agrícolas	-780.46
Tierras forestales convertidas en praderas (deforestación)	120.50

La figura 2 muestra las pérdidas y ganancias de las diferentes clases de uso de suelo durante los últimos 28 años.

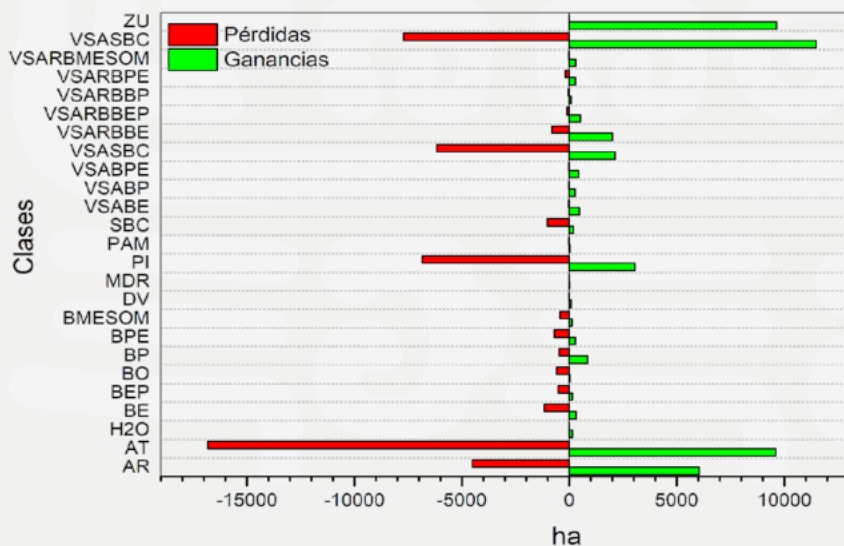


Figura 2. Representación gráfica de pérdidas y ganancias en los usos de suelo.

ZU: Zona Urbana, VSASBC: vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia, VSARBMESOM: vegetación secundaria arbórea de bosque mesófilo, VSARBPE: vegetación secundaria arbórea de bosque de pino encino, VSARBBP: vegetación secundaria arbórea de bosque pino, VSARBPEP: vegetación secundaria arbórea de bosque encino pino, VSARBBE: vegetación secundaria arbórea de bosque encino, VSASBC: vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia, VSABPE: vegetación secundaria arbustiva de bosque pino encino, VSABP: vegetación secundaria arbustiva de bosque pino, VSABE: vegetación secundaria arbustiva de bosque encino, SBC: selva baja caducifolia, PAM: pradera de alta montaña, PI: pastizal inducido, MDR: matorral xerófilo, DV: desprovisto de vegetación, BMESOM: bosque mesófilo, BPE: bosque pino encino, BP: bosque pino, BO: bosque oyamel, BEP: bosque encino pino, BE: bosque encino, H2O: cuerpos de agua, AT: agricultura de temporal, AR: agricultura de riego.

Por destacar algún ejemplo de acuerdo con la figura 2, la clase de ZU tuvo una ganancia o creación de nuevos espacios destinados a asentamientos humanos de 9643.34 ha, lo que genera una disminución en la absorción de CO₂. Esto puede justificarse gracias al crecimiento económico que ha tenido el estado de Morelos, debido a su cercanía con la capital del país. Mientras, AT tuvo un decremento, y el origen pudo haber sido un intercambio de subcategorías en las zonas destinadas a agricultura de temporal que pasaron a ser agricultura de riego para satisfacer la demanda del crecimiento de población u exportación de bienes primarios, por lo que la ganancia neta en materia de absorción de CO₂ es muy poca. Además, considerando que el crecimiento de los asentamientos urbanos conlleva una mayor demanda de recursos para satisfacer sus necesidades, este beneficio podría llegar a ser nulo.

Para calcular las emisiones totales, se consideró la subcategoría de tierras convertidas a praderas, es decir, las deforestaciones. Las absorciones totales se obtuvieron mediante la sumatoria de las subcategorías que permanecieron sin cambios. Estas fueron las “tierras forestales que permanecen como tierras forestales”, “pastizales que permanecen como pastizales” y “tierras agrícolas que permanecen como tierras agrícolas”, etc. Las absorciones totales calculadas fueron de 891.04 Gg de CO_{2eq}. De lo anterior se estima que, debido al cambio de uso de suelo de 1467 ha, se dejó de absorber un total de 120.5 Gg de CO_{2eq}, cantidad que se suma a las emisiones antropogénicas del estado de Morelos y de México. Recordemos que México está dentro de los 15 países con mayor emisión de gases de efecto invernadero, con una aportación de 1.28 % de las emisiones totales⁹.

Conclusiones

El aumento de emisiones de CO₂, estrechamente relacionado con el crecimiento económico y el avance desmesurado de asentamientos humanos, ha tenido como resultado la perturbación de zonas edáficas, siendo estas acotadas. Tan solo se tienen 891.04 Gg de CO_{2eq} absorbido en el periodo de 1986-2014, puntualizando que se debe optar por una mejor gestión e implementación de políticas ambientales en el estado para la reducción de cambios de uso de suelo. Por ejemplo, poner en funcionamiento programas de concientización de

la población para un mejor aprovechamiento del suelo, evitar la perturbación de áreas naturales protegidas, promover la instauración de coberturas vegetales, y algunas otras medidas de mitigación.

El uso e incorporación de nuevas herramientas, como los sistemas de información geográfica y la teledetección, permiten estimar la magnitud de los cambios asociados a los procesos diferenciales de modificación de cobertura vegetal y uso del suelo, permitiendo la correcta gestión para la prevención de impactos ambientales más severos y métodos correctivos para los ya presentes, además de una mejor sostenibilidad del mundo que habitamos.

Referencias bibliográficas

1. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, & Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010*.
2. World Resources Institute. <https://es.wri.org/>
3. Santos Burguete, C. (2018). *Física del caos en la predicción meteorológica*. Ministerio para la Transición Ecológica, Agencia Estatal de Meteorología. <https://doi.org/10.31978/014-18-009-X>
4. Farías, L. (2022). *Análisis (CR) 2. “Cuando la realidad supera la ficción”: el caso de los modelos de emisiones de metano y óxido nitroso (gases de efecto invernadero) en el océano*. Center for Climate and Resilience Research. <https://www.cr2.cl/analisis-cr2-cuando-la-realidad-supera-la-ficcion-el-caso-de-los-modelos-de-emisiones-de-metano-y-oxido-nitroso-gases-de-efecto-invernadero-en-el-oceano/>
5. George, J., Baby, L., Arickal, A. P., Vattoly, J. D., & Use, L. (2016). Land use/land cover mapping with change detection analysis of Aluva Taluk using remote sensing and GIS. *International Journal of Science, Engineering and Technology*, 4(2), 383-389.
6. Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (2012). World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision [ESA Documento de trabajo, Núm. 12-03. Rome, FAO].
7. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de población y vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#tabulados>
8. Velázquez, A., Mas, J. F., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P. C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E., & Palacio, J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta ecológica*, (62), 21-37.
9. Climate Watch. (2025). *What climate commitments has Mexico submitted?* https://www.climatewatchdata.org/countries/MEX?end_year=2021&start_year=1990