

¿Cuánto carbono se ha emitido con la construcción del Tren Maya?

Se generó un mapa de la densidad de carbono forestal para el área que ocupa el Tren Maya, con el cual se calculó la cantidad de carbono removido en total, por tramo, por tipo de vegetación y por Estado. Los resultados muestran que un total de 470,750.0 toneladas de carbono en la vegetación fueron taladas para la construcción del Tren Maya. Elaborar un mapa con la superficie deforestada por el Tren Maya e identificar los factores que impulsan la deforestación forestal en la península de Yucatán es de suma importancia, ya que puede proporcionar información crucial para la gestión de la conservación.

Palabras clave:
biomasa área, bosques tropicales, carbono forestal, deforestación, península de Yucatán

JOSÉ LUIS HERNANDEZ-STEFANONI*, JUAN ANDRÉS-MAURICIO,
FERNANDO TUN-DZUL, FRANCISCO CHI-MAY Y
JUAN MANUEL DUPUY

Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Colonia Chuburná de Hidalgo, 97205, Mérida, Yucatán, México.

* jl_stefanoni@cicy.mx

Los bosques juegan un papel vital en el ciclo del carbono. Se estima que los ecosistemas terrestres almacenan alrededor del 30.9 % del carbono del planeta (Friedlingstein *et al.* 2023), haciéndolos los reservorios más importantes de este elemento en la Tierra. En consecuencia, los bosques actúan como sumideros de carbono, absorbiendo dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera a través de la fotosíntesis y almacenándolo en la vegetación y el suelo. Esto contribuye a mitigar el cambio climático al disminuir el efecto invernadero y el calentamiento global. Sin embargo, los bosques también pueden liberar carbono a la atmósfera en forma de CO₂ cuando se queman, degradan o talan. La deforestación, la fragmentación del hábitat, los incendios forestales y otros disturbios pueden provocar la pérdida de biomasa forestal y la liberación del carbono almacenado en la vegetación (y, en menor medida, en el suelo). A nivel mundial la deforestación y la degradación de los bosques libera a la atmósfera aproximadamente el 14.6 % del carbono total en el mundo (Friedlingstein *et al.* 2023).

La península de Yucatán contiene el segundo macizo forestal más grande de América después del Amazonas y está dominada por diferentes tipos de bosques tropicales secos con altos niveles de endemismo (Banda *et al.* 2016). El mapa de densidad de carbono para toda la península de Yucatán, elaborado por Hernández-Stefanoni *et al.* (2021), reporta que el carbono total almacenado en la biomasa forestal de la península de Yucatán



Figura 1. Construcción de las vías del Tren Maya en la Península de Yucatán. (fotografía: Celene Marisol Espadas Manrique).

es de 0.58 Giga Toneladas. Los valores más altos de densidad de carbono se encuentran en la porción suroeste y sur, cubierta por selva mediana subperennifolia, mientras que los valores más bajos están en la selva baja caducifolia, que se ubica en el noreste y este de la península. Por otro lado, la Comisión Nacional Forestal reporta que entre 2001 y 2022 se deforestaron 1,055,426.0 hectáreas de bosque en toda la península de Yucatán, que equivale a 50,258.4 hectáreas por año (CONAFOR 2022). Esta última superficie representa casi el 60 % de la superficie que tiene la ciudad de Mérida. A pesar de que la densidad de carbono varía por tipo de vegetación, el promedio de carbono almacenado en los bosques de la península de Yucatán es de 55.4 ton/ha, según Hernández-Stefanoni *et al.* (2021). Tomando como referencia este promedio, se estima que se emitieron a la atmósfera 2,784,314.3 toneladas de carbono por año en toda la península de Yucatán. Integrar información sobre la distribución espacial de los almacenes de carbono, así como de la

pérdida del mismo en los bosques permitirá reconocer la importancia de conservar y gestionar de manera sostenible los bosques, como parte de los esfuerzos para mitigar el cambio climático y promover la salud de los ecosistemas terrestres. Contar con dicha información y abordar las causas subyacentes de la deforestación son aspectos fundamentales para garantizar la integridad a largo plazo de los bosques y su contribución al ciclo del carbono y al bienestar humano.

El objetivo de este artículo fue obtener mapas con la distribución espacial de la densidad de carbono en el área donde se construyó el Tren Maya, además de contabilizar la cantidad de carbono emitido en esta superficie.

Para ello, se obtuvieron una serie de polígonos con la superficie que ocupan los diferentes tramos de circulación del Tren Maya, considerando, de manera conservadora, 50 m a cada lado de la línea que representa la vía, y un área circundante con diámetro de 250 m en los puntos destinados a las estaciones

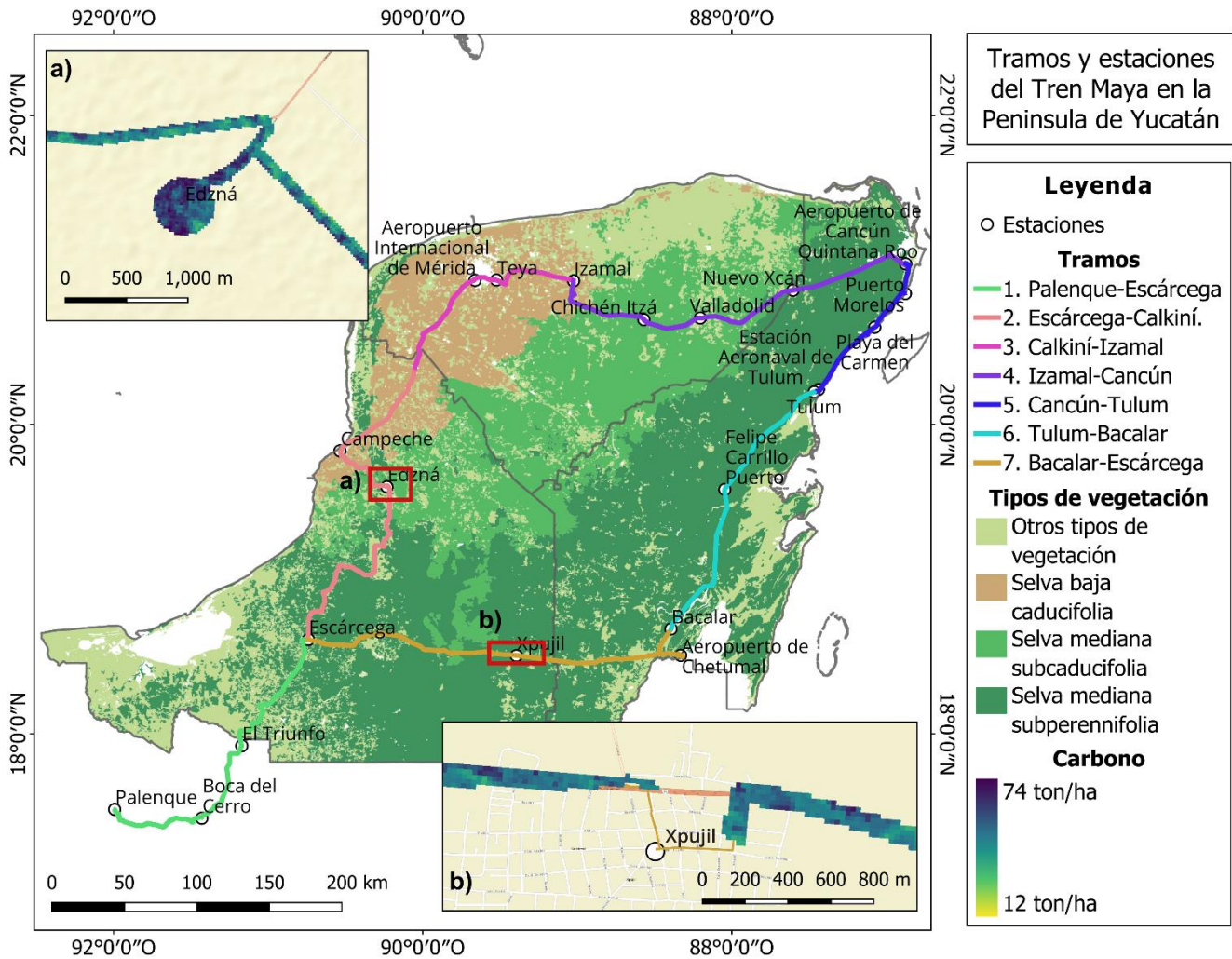


Figura 2. Ubicación de tramos y estaciones del Tren Maya y los principales tipos de vegetación en la Península de Yucatán. Ejemplos del mapa de densidad de carbono en las vías del tren y alrededor de la estación de Edzná (A) y en la zona de Xpujil (B), ambas en el estado de Campeche. (Mapa elaborado por los autores).

del tren. En la figura 1 se muestra una imagen con la cantidad de vegetación removida por la construcción de la vía del tren. En estos polígonos se extrajo la densidad de carbono utilizando el mapa elaborado para toda la península de Yucatán por Hernández-Stefanoni *et al.* (2021). En la elaboración del mapa de densidad de carbono forestal, los autores utilizaron un modelo para relacionar la densidad de carbono con diferentes variables explicativas derivadas de las imágenes del radar ALOS PALSAR y datos climáticos. Los autores reportaron menores errores a nivel de pixel comparados con estudios previos. La ubicación de los diferentes tramos del tren, las estaciones y ejemplos de los mapas de densidad de car-

bono en el área afectada por la construcción del tren se muestran en la Figura 2.

En los diferentes tramos y estaciones del Tren Maya la densidad media de carbono (C) fue de 41.2 ton/ha. El total de carbono contabilizado en estas áreas es de 470,750.0 toneladas (Cuadro 1). Esto equivale a 1,727,652.5 toneladas de CO₂ emitidas a la atmósfera (el factor de conversión de C a CO₂ es 3.67, que es la relación del peso molecular de un átomo de C a una molécula de CO₂) y representa un 16.9 % del total de carbono removido en promedio por año en toda la península de Yucatán durante los últimos 21 años. Sin embargo, la superficie estimada directamente afectada por la construcción del Tren

Cuadro 1. Cantidad de C removido por la construcción del Tren Maya dentro de la Península de Yucatán por tramo, tipo de vegetación y Estado.

Tipo	Nombre	Promedio de C (Ton/ha)	Superficie deforestada (ha)	C total (ton)
Tramos	Tramo 1. Palenque - Escárcega	38.4	721.2	27,700
	Tramo 2. Escárcega - Calkiní	42.8	2,121.1	90,700
	Tramo 3. Calkiní - Izamal	39.4	1,031.0	40,600
	Tramo 4. Izamal - Cancún	41.9	2,284.0	95,700
	Tramo 5. Cancún - Tulum	43.6	681.5	29,700
	Tramo 6. Tulum - Bacalar	39.1	2,145.0	83,890
	Tramo 7. Bacalar - Escárcega	41.0	2,500.9	102,460
Vegetación	Selva baja caducifolia	41.2	1,375.94	56,620
	Selva mediana subcaducifolia	44.3	1,195.48	52,900
	Selva mediana subperennifolia	47.7	5,016.77	239,300
	Otros tipos de vegetación	31.3	3,896.17	121,950
Estado	Campeche	42.0	4,402.38	184,680
	Yucatán	40.9	2,618.98	107,090
	Quintana Roo	40.1	4,463.34	178,980
Total		41.2	11,484.6	470,750

* Los totales por tipo pueden tener pequeñas diferencias con respecto al total general, debido al redondeo.

Maya (11,484.6 ha) apenas representa el 0.08 % de la superficie de la península de Yucatán.

En el Cuadro 1 puede observarse que el Tramo 5 (Cancún - Tulum) tiene la mayor densidad de carbono por hectárea (43.6 ton/ha) en comparación con los otros tramos, y contribuye en mayor proporción al total de carbono removido. Sin embargo, debido a

su extensión el Tramo 7 es el que más aporta al total de carbono removido con 102,460 ton. Adicionalmente, la selva mediana subperennifolia contribuye más al carbono removido, que los otros tipos de vegetación. Esto debido a que este tipo de vegetación tiene la mayor densidad de carbono almacenado (47.7 ton/ha, Cuadro 1), dado que tiene un

dosel más alto (15 a 25 m), con árboles más grandes y una estructura más compleja (con dos o tres estratos en el dosel) comparada con los otros tipos de vegetación. Por otro lado, casi la mitad de la superficie deforestada por el Tren Maya pertenece a este tipo de selva (5,016.8 ha, Cuadro 1). Finalmente, en el estado de Campeche se encontró la mayor cantidad de carbono removido por la construcción del tren. Esto se debe a que Campeche tiene una mayor densidad de carbono (42.0 ton/ha) que Quintana Roo (40.1 ton/ha), así como una superficie de bosque removido ligeramente mayor (4,463 toneladas y 4,402 toneladas, respectivamente).

Las estimaciones del carbono removido por el Tren Maya hechas aquí son aproximadas, y las podríamos calificar como conservadoras. Esto se debe a que existen muchas otras áreas deforestadas por la construcción del Tren, que no fueron contabilizadas aquí. Por ejemplo, las áreas destinadas a almacenes de materiales y equipos, bancos de extracción de materiales, caminos de traslado y otras áreas fuera de las vías del Tren. Por lo tanto, es recomendable llevar a cabo un estudio detallado de la deforestación utilizando datos de campo e imágenes de Satélite apropiados para eventos de deforestación a pequeña escala (< 2 ha). Esto para poder obtener una contabilización más precisa de la cantidad de superficie deforestada. Un ejemplo de metodologías de este tipo se encuentra descrito en Smith *et al.* (2019).

Por otro lado, habrá que tomar en consideración que el desarrollo de una infraestructura de transporte como la del Tren Maya, y en particular las estaciones del mismo, posibilitan la creación de polos de desarrollo en regiones que antes estaban aisladas y su expansión en zonas menos aisladas. Esto podría incrementar las áreas urbanas e intensificar la presión poblacional sobre el entorno natural. De hecho, se ha documentado que este tipo de infraestructura es un factor importante que podría impulsar cambios de cobertura y uso del suelo, ya que facilita y acelera el acceso humano a los recursos naturales (Jayathilake *et al.* 2021). Esto resulta especialmente preocupante en el caso del Tramo 7, debido al impacto que esto tendría en la Reserva de la Biósfera Calakmul, la más grande e importante de la península de Yucatán. Por lo tanto, resulta prioritario reali-

zar dos actividades. La primera sería identificar los factores que impulsan la deforestación y la degradación forestal en la península de Yucatán, lo cual puede proporcionar información crucial para la gestión de la conservación. La segunda es la elaboración de un ordenamiento territorial de los usos de la tierra en las regionales aledañas al Tren Maya. Lo anterior para evitar que aumenten las tasas de deforestación en la península de Yucatán.

Referencias

- Banda K., Delgado-Salinas A., Dexter K.G., Linares-Palomino R., ... y Pennington R.T. 2016.** Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. *Science* 2016 353(6306): 1383-1387. <https://doi.org/10.1126/science.aaf5080>
- CONAFOR [Comisión Nacional Forestal]. 2022.** Estimación de la tasa de deforestación en México para el periodo 2001-2022 mediante el método de muestreo. Documento Técnico. Jalisco, México.
- Friedlingstein P., O'Sullivan M., Jones M.W., Andrew R.M., ... y Zheng B. 2023.** Global Carbon Budget. *Earth System Science Data* 15: 5301-5369. <https://doi.org/10.5194/essd-15-5301-2023>
- Hernández-Stefanoni J.L., Castillo-Santiago M.A., Andres-Mauricio J., Portillo-Quintero C.A., Tun-Dzul F. y Dupuy J.M. 2021.** Carbon Stocks, Species Diversity and Their Spatial Relationships in the Yucatán Peninsula, Mexico. *Remote Sensing* 13(16): 3179. <https://doi.org/10.3390/rs13163179>
- Jayathilake H.M., Prescott G.W., Carrasco L.R., Rao M. y Symes W.S. 2021.** Drivers of deforestation and degradation for 28 tropical conservation landscapes. *Ambio* 50(1): 215-228. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01325-9>
- Smith V., Portillo-Quintero C., Sanchez-Azofeifa A. y Hernandez-Stefanoni J.L. 2019.** Assessing the accuracy of detected breaks in Landsat time series as predictors of small scale deforestation in tropical dry forests of Mexico and Costa Rica. *Remote Sensing of Environment* 221: 707-721. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.020>

Desde el Herbario CICY, 16: 192-197 (19-septiembre-2024), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 110, www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Rodrigo Duno de Stefano, Patricia Rivera Pérez y Lilia Lorena Can Itzá. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 19 de septiembre de 2024. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.