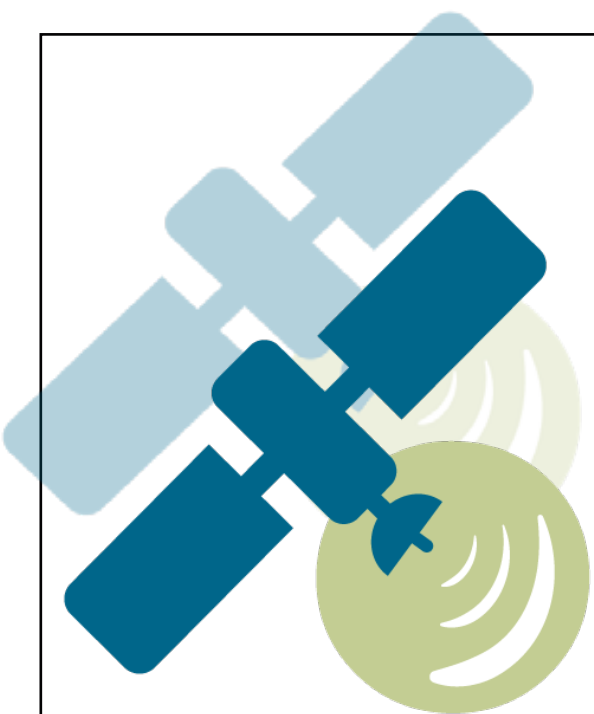




OBSERVATORIO DE DEFORESTACIÓN NETA CERO

**PROYECTO
TREN MAYA**



OBSERVATORIO DE DEFORESTACIÓN NETA CERO

Este análisis fue realizado utilizando datos de GFW y con el apoyo del Fondo de Pequeñas Contribuciones de GFW. Los resultados y puntos de vista que se expresan en este producto son del/los autor(es) y no necesariamente reflejan los puntos de vista ni las políticas de WRI.

Citar como: Iniciativa Climática de México. 2022. Observatorio de deforestación neta cero: Proyecto Tren Maya. Ciudad de México, México.

RESUMEN EJECUTIVO

ODN0: Proyecto Tren Maya

El Observatorio de Deforestación Neta Cero es una iniciativa que contribuye a visualizar y analizar los impactos de los grandes proyectos de infraestructura y política pública en la transformación de los ecosistemas forestales.

La información generada de estos análisis es un insumo que se une a los esfuerzos de diferentes actores por diseñar e implementar estrategias y herramientas para la construcción de una realidad que concilie las necesidades de las poblaciones y la conservación de la biodiversidad en los diferentes ecosistemas forestales. Con el compromiso de dar seguimiento a la meta de la Contribución Nacional Determinada: tasa de 0% de deforestación neta para 2030, este primer estudio se enfoca en el Proyecto de Desarrollo denominado Tren Maya.

Después de la Amazonía, la Selva Maya —que se extiende por México, Belice, y el norte de Guatemala— es el ecosistema forestal tropical más extenso del continente americano. De acuerdo con lo publicado en las manifestaciones de impacto ambiental asociadas al proyecto de construcción, con claves

04CA2020V0009, 31YU2021E0054, 31YU2021E0055, 31YU2021E0056, 31YU2021V0047, calculan solicitar el cambio de uso de suelo de 6,608.37 ha. Por otro lado, la plataforma Global Forest Watch estima que en la línea proyectada de las vías del Tren Maya la cobertura arbórea se ha reducido en 679 ha con las construcciones que se han realizado entre 2018 y 2021. Sin embargo, la dinámica de cambio de uso de la tierra y vegetación impactada por megaproyectos tiende a presentar cierta complejidad, ya que no sólo suceden cambios directos en las tierras forestales sino también indirectos, asociados a las dinámicas sociales y económicas en el territorio.

El área de interés analizada, los 1,500 km del trayecto del Tren Maya, tiene una superficie alrededor de 2.87 millones de hectáreas. La deforestación tendencial bruta —entre 1986 al 2018— se estimó en 13,188.2 ha/año y la tasa de



deforestación neta en 4,070.8 ha/año. Los usos de la tierra que principalmente han desplazado las tierras forestales son «Tierra agrícola anual» (64.8%) y «Asentamientos humanos» (11.1%). Las emisiones anuales por esta dinámica de cambio de uso de la tierra y vegetación se estimó en lo equivalente a las emisiones de 56 mil vehículos al año (0.28 ± 0.05 MtCO₂/año), siendo Quintana Roo el estado que registró mayores emisiones. El potencial de secuestro, capacidad de fijación de CO₂, por la permanencia de los ecosistemas presentes en el polígono de análisis es de 5.81 ± 0.33 MtCO₂/año.

Sin la construcción y operación del Tren Maya se esperaría que la tendencia de la deforestación neta sea de 9,786.1 ha/año en promedio para el periodo 2018 - 2030 (1.72 ± 0.52 MtCO₂/año), pasando a -1,973.5 ha/año en promedio para el periodo 2030 - 2050 (-0.13 ± 0.04 MtCO₂/año). Es decir, para el último periodo proyectado la tasa de deforestación se reduce y comenzaría un proceso de revegetación, donde las hectáreas deforestadas se compensan por la superficie ganada por los ecosistemas forestales. En este escenario de deforestación neta, sin Tren Maya, Quintana Roo es el estado que registra mayor deforestación neta (3,430.32 ha/año) para el periodo 2018 - 2030. En el mismo periodo, Campeche tiene la mayor tasa de deforestación bruta (10,544.91 ha/año), sin embargo, el establecimiento de nueva superficie de «Selva perennifolia» compensa esta deforestación, estimando en 690.70 ha/año la deforestación neta.

Con la consolidación del proyecto Tren Maya se modificaron las dinámicas de cambio de uso de la tierra y vegetación en el área de interés y muy posiblemente en toda la región de la Península de Yucatán. La tendencia de la deforestación neta aumentará a 12,189.2 ha/año en promedio para el periodo 2018

- 2030 (2.08 ± 0.62 MtCO₂/año), lo que significa un incremento de 2,403.1 ha/año con respecto a la proyección tendencial sin el proyecto, y a 3,522.2 ha/año en promedio para el periodo 2030 - 2050 (0.40 ± 0.12 MtCO₂/año), un incremento de 5,495.7 ha/año en la deforestación neta. Para el periodo 2018 - 2030, Tabasco es el estado que registrará una mayor tasa promedio de deforestación neta anual (5,038.83 ha/año) y Campeche incrementará su deforestación bruta a 17,328.88 ha/año. En el periodo 2030 - 2050 la deforestación en el área de interés se concentrará en tres estados: Quintana Roo (46.6%), Yucatán (27.9%) y Campeche (22.2%).

En el área de interés, las principales causas de presión sobre los ecosistemas forestales serán la expansión de actividades agropecuarias (83.7% de la deforestación), seguido del establecimiento de nuevos asentamientos humanos (11.6%). Tabasco y Chiapas reducen su tasa de deforestación anual en el área de interés entre el 2030 y el 2050, ya que se proyecta que entre el 86 y 99% de su superficie esté dedicada a «Tierra agrícola anual» o a «Asentamientos», es decir, dejan de tener ecosistemas forestales. La proyección de la deforestación, comparando escenarios sin y con Tren Maya, establecen una realidad de los ecosistemas forestales en el área de interés: la ausencia de acciones concretas para detener la deforestación. En ambos escenarios se mantiene la tendencia hacia el incremento de la deforestación, sin embargo, la magnitud de la deforestación neta se duplica en la proyección con el Tren Maya para el periodo 2018 - 2050.



En ambos escenarios se mantiene la tendencia hacia el incremento de la deforestación

CONTENIDO



01. INTRODUCCIÓN 9

02. METODOLOGÍA 17

I. MATRIZ DE CAMBIO DE 17

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN

II. EMISIONES POR CAMBIO 20

DE EXISTENCIAS DEL CARBONO

III. MANIFESTACIONES DE 21

IMPACTO AMBIENTAL

03. LÍNEA BASE 23

I. ÁREA DE INTERÉS 23

a. Deforestación y cambios de 23

cobertura

b. Manifestaciones de Impacto 27

Ambiental

c. Emisiones por cambio en las 29

existencias de carbono

II. CHIAPAS 31

a. Deforestación y cambios de 32

cobertura

b. Manifestaciones de Impacto 34

Ambiental

c. Emisiones por cambio en las 35

existencias de carbono

III. TABASCO 37

a. Deforestación y cambios de 38

cobertura

b. Manifestaciones de Impacto 40

Ambiental

c. Emisiones por cambio en las 41

existencias de carbono

IV. CAMPECHE 43

a. Deforestación y cambios de 44

cobertura

b. Manifestaciones de Impacto 46

Ambiental

c. Emisiones por cambio en las 48

existencias de carbono

V. QUINTANA ROO 49

a. Deforestación y cambios de 50

cobertura

b. Manifestaciones de Impacto 52

Ambiental

c. Emisiones por cambio en las 54

existencias de carbono

VI. YUCATÁN 55

a. Deforestación y cambios de 56

cobertura

b. Manifestaciones de Impacto 58

Ambiental

c. Emisiones por cambio en las 60

existencias de carbono

04. PROYECCIONES 61

II. CHIAPAS 61

a. Cambio de uso de la tierra y 61

vegetación

b. Consideraciones para dete- 62

ner la deforestación

III. TABASCO	67
a. Cambio de uso de la tierra y vegetación	67
b. Consideraciones para dete- ner la deforestación	68
IV. CAMPECHE	72
a. Cambio de uso de la tierra y vegetación	72
b. Consideraciones para dete- ner la deforestación	73
V. QUINTANA ROO	78
a. Cambio de uso de la tierra y vegetación	78
b. Consideraciones para dete- ner la deforestación	79
VI. YUCATÁN	84
a. Cambio de uso de la tierra y vegetación	84
b. Consideraciones para dete- ner la deforestación	85
05. CONCLUSIONES	91
06. REFERENCIAS	95



INTRODUCCIÓN

En 2015 las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático alcanzaron un acuerdo en común para emprender esfuerzos en la mitigación y adaptación al cambio climático. Este acuerdo, el Acuerdo de París, traza un rumbo en la acción climática global: mantener el aumento de la temperatura en este siglo por debajo de los 2 grados centígrados sobre niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar este incremento a 1.5 grados centígrados. A estas metas se les denomina coloquialmente como trayectorias 2 °C y 1.5 °C, respectivamente.

Para alcanzar estos objetivos, el Acuerdo de París exige a todas las Partes incrementar los esfuerzos y comunicar cada cinco años las medidas que tomarán para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero y los avances en su implementación, a través de sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés). Cada NDC sucesiva debe mantener el principio de la progresividad, es decir, reflejar una mayor ambición con respecto a la anterior.

La NDC de México establece la meta de reducir 22% de las emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2030 y la Ley General de

Cambio Climático establece la meta de reducción al 50% para el 2050 (INECC-SEMARNAT, 2018). Esta ambición mantenida por el Gobierno Federal ha sido fuertemente criticada puesto que coloca a México en una trayectoria alrededor de los 4 °C¹.

Mantener una trayectoria de 1.5 °C significa que para el año 2030 se alcance una reducción de las emisiones antropogénicas netas de CO₂e



El sector AFOLU puede proporcionar cerca del 37% de la mitigación necesaria para el año 2030.

a nivel mundial entre un 40-60% respecto a los niveles de 2010, alcanzando emisiones netas cero en torno al 2050. Para limitar el calentamiento global por debajo de los 2 °C las emisiones de CO₂e se deben disminuir en torno a un 10-30% para el año 2030 (IPCC, 2018). Sin embargo, si el incremento de la temperatura global supera los 1.5°C, algunos impactos y consecuencias del



cambio climático pueden ser duraderos o incluso irreversibles.

Las medidas en el sector agropecuario, silvícola y otros usos de las tierras (AFOLU, por sus siglas en inglés) comprenden las medidas más costo efectivas, es decir, las más económicas y con mayor potencial de mitigación para lograr el Acuerdo de París. Globalmente, estas medidas pueden proporcionar cerca del 37% de la mitigación necesaria para el año 2030 (Griscom et al, 2017). En el contexto nacional, en el 2017, se desarrollaron las rutas de instrumentación de las metas establecidas en la NDC en materia de absorción y mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero en el sector de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (Tierras) en México. Una de las metas, considerada la más ambiciosa, es «Alcanzar una tasa de 0% de deforestación neta para 2030» (INECC-PNUD México, 2017).

El concepto de «deforestación neta» reconoce que parte de la pérdida de ecosistemas forestales podría compensarse con la restauración de los mismos y que desde un punto de vista práctico no es posible reducir la tasa de deforestación bruta a 0%. Esto se debe a que el marco legal mexicano permite realizar cambios de uso del suelo de terrenos forestales, por tanto, no se puede asumir

¹ <https://climateactiontracker.org/countries/mexico/>



una deforestación bruta cero en el sentido estricto del término. El término «deforestación neta cero» ha sido criticado ampliamente por su falta de claridad, que podría dar lugar a resultados perversos, por ello debe aplicarse con cautela dado que puede tener repercusiones de

gran alcance para mantener las funciones naturales.

Desde la visión de Iniciativa Climática de México la deforestación neta cero en la acción climática no se logra al menos que:

Se detenga la deforestación en ecosistemas forestales primarios.

La compensación de ecosistemas forestales por cambio de uso de suelo sea a tierras forestales no comerciales, es decir, no puede ser mediante plantaciones.

La compensación priorice los ecosistemas forestales amenazados por la deforestación.

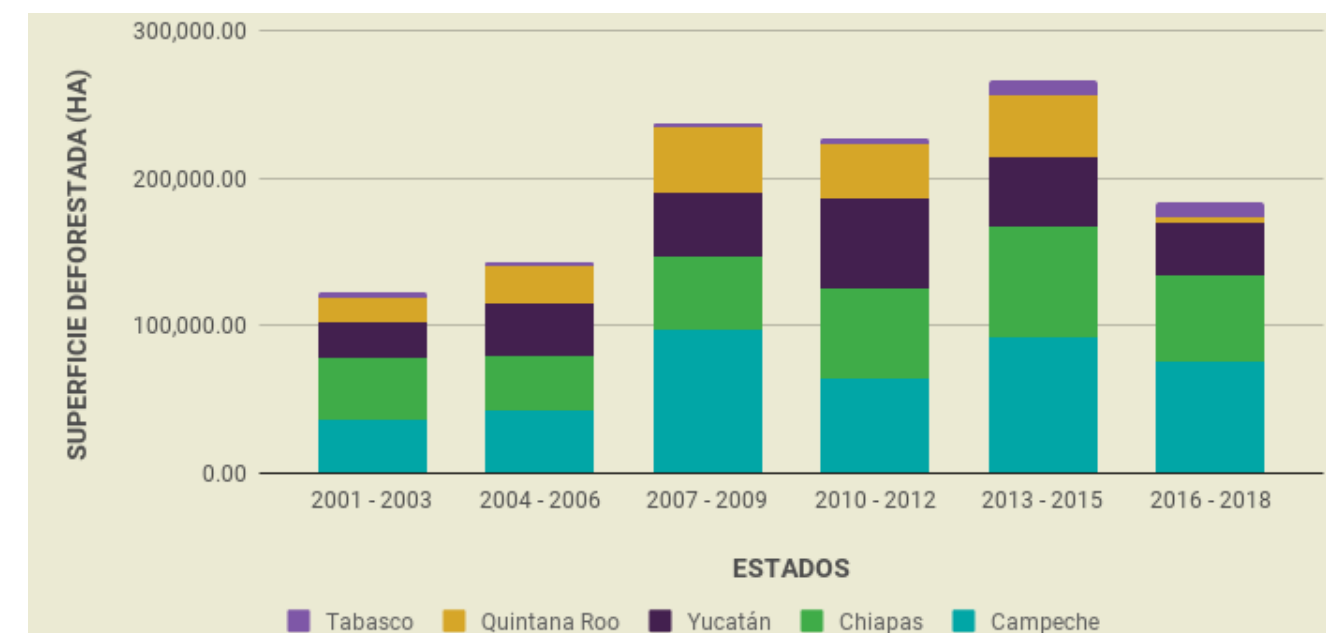
Se detenga la degradación en los ecosistemas forestales: deforestación neta cero y degradación forestal cero.

Se evite el desplazamiento de la pérdida de ecosistemas forestales, es decir, fugas.

En el continente americano, la Selva Maya es la segunda superficie forestal de bosque tropical más extensa después de la Amazonía; se extiende por México, Belice y el norte de Guatemala en una superficie de más de 14 millones de hectáreas. En el territorio mexicano se estima que la pérdida histórica de la

Selva Maya es entre el 30 y 40%. En el periodo 2001-2018 (Figura 1) la Península de Yucatán tuvo una tasa de deforestación bruta de 47,597.9 ha/año, siendo Campeche el estado con mayor tasa de deforestación bruta (22,804.9 ha/año), seguido de Yucatán (13,776.8 ha/año) y por último Quintana Roo (11,016.2 ha/año)

Figura 1. Deforestación bruta estimada para Chiapas, Tabasco, Campeche, Quintana Roo y Yucatán en el período del 2001 al 2018 (CONAFOR, 2020b).



(CONAFOR, 2020b).

Las causas principales de la pérdida y degradación de los ecosistemas en la Selva Maya son la ganadería extensiva, la agricultura en pequeña y gran escala, así como incendios para el cambio de uso de suelo, en especial destinados al desarrollo urbano y turístico (Pacheco et al., 2021). En las tres décadas pasadas se han documentado las transformaciones territoriales en la Península de Yucatán, asociadas a la privatización de las tierras a causa de proyectos que se desarrollan en la región como los inmobiliarios, turísticos, agrícolas o de infraestructura (Torres-Mazuera, Madrid y Benet, 2020).

Las causas de deforestación no son estáticas, son amplificadas por el crecimiento de la población, la demanda de tierras y recursos naturales, así como por el modelo de desarrollo imperante en la región. Actualmente, uno de los megaproyectos de mayor envergadura y con potencial de modificar las dinámicas territoriales y su impacto sobre los ecosistemas en la Península de Yucatán es el proyecto de desarrollo denominado Tren Maya. Estos proyectos, además de tener impactos directos durante su construcción y operación, modifican las dinámicas territoriales que inciden en las tendencias de deforestación.

Las causas de deforestación no son estáticas, son amplificadas por el modelo de desarrollo imperante en la región.



El proyecto de desarrollo denominado Tren Maya, de ahora en adelante Tren Maya, pretende conectar las principales ciudades y circuitos turísticos de la región a través de un servicio de transporte férreo para carga y pasajeros, con una extensión de cerca de 1,500 km (Tabla 1). Este megaproyecto contempla el reordenamiento territorial de Yucatán,

Campeche, Quintana Roo y partes de Chiapas y Tabasco a partir de los ejes económico y turístico; se trata de un proyecto de desarrollo urbano que busca impactar en la economía mediante el crecimiento turístico.

Este megaproyecto ha detonado una serie de cuestionamientos sobre los impactos potenciales que

Tabla 1. Concesiones de los tramos del Tren Maya²

	Tramo	Longitud	Desarrolladora
1	SELVA UNO: Palenque - Escárcega	228 km aprox	Mota-Engil México SAPI de C.V. en convenio con China Communications Construction Company LTD, Grupo Cosh S.A. de C.,V Eyasa y Gavil Ingeniería S.A.
2	GOLFO UNO: Escárcega - Calkiní	235 km aprox	Operadora CICSA S.A. de C.V. en convenio de asociación con FCC Construcción S.A.
3	GOLFO DOS: Calkiní - ANP Cuxtal - Izamal	172 km aprox	Construcciones Urales, S.A. de C.V en convenio de asociación con GAMI Ingeniería e Instalaciones, S.A. de C.V y AZVI, S.A.U.
4	GOLFO TRES: Izamal - Cancún	257 km aprox	Grupo ICA - Este tramo fue adjudicado directamente el 21 de septiembre de 2020 debido a que mantiene la concesión de la autopista 180D.
5	CARIBE UNO: Norte: Cancún - Playa del Carmen	49.8 km aprox	Secretaría de la Defensa Nacional SEDENA
5	CARIBE UNO: Sur: Playa del Carmen - Tulum	48.2 km aprox	México Compañía Constructora.
6	CARIBE DOS: Tulum - Bacalar	254 km aprox	Secretaría de la Defensa Nacional SEDENA.
7	SELVA DOS: Bacalar - Escárcega	287 km aprox	Secretaría de la Defensa Nacional SEDENA.

² <https://www.trenmaya.gob.mx/proyecto-tecnico/>

podría tener sobre la región, entre los que se incluyen: 1) la deforestación de selvas húmedas y secas; 2) pérdida de hábitat, fragmentación, atropellamiento y bloqueos de pasos naturales de fauna; 3) conflictos sociales por tenencia de la tierra; 4) superar la capacidad de gestión de residuos sólidos en las comunidades; 5) desabasto de agua en la zona de Calakmul; 6) riesgo de colapso y degradación de los sistemas kársticos; entre otros (CEMDA, 2020).

La conservación y restauración de la Selva Maya tiene un papel importante para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París, manteniendo los esfuerzos en México en una trayectoria por debajo de 1.5 °C, así como para mantener las funciones naturales que proveen de beneficios tanto a la sociedad como a otros seres vivos. El Observatorio de Deforestación Neta Cero es un espacio que contribuye a visualizar y analizar los impactos de los grandes proyectos de infraestructura y política pública en la transformación de los ecosistemas forestales, en el marco de la meta de «Alcanzar una tasa de 0% de deforestación neta para 2030».

El Observatorio de Deforestación Neta Cero tiene cuatro líneas de trabajo:


1. Modelación de las tendencias de perturbación forestal al 2030

y 2050, identificando puntos críticos, principales coberturas con potencial de cambio de uso de suelo y posibles causas de deforestación.

2. Socialización de los principales resultados sobre los impactos en la cubierta forestal y sus implicaciones para los objetivos de mitigación a través de la plataforma del Observatorio de 3. Deforestación Neta Cero, incluye notas técnicas e historias de vida, los rostros que representan un número.

3. Fortalecimiento de las capacidades locales, personas u organizaciones interesadas, en el seguimiento de alertas de deforestación y generación de denuncias a instancias gubernamentales.

4. Asistencia a actores locales y/o gubernamentales en el diseño e implementación de estrategias y acciones técnicas así como de política pública que contengan la deforestación proyectada.



La Selva Maya
tiene un papel
importante para
alcanzar los objetivos
del Acuerdo de París.

METODOLOGÍA

El análisis comprende los primeros 10 kilómetros aledaños al trazo proyectado del Tren Maya, es decir, el área de interés tuvo una longitud alrededor de 1,470 km y 20 km de ancho, 10 km a cada lado de la línea de las vías férreas (Tabla 2). En esta área de interés se espera observar los primeros cambios en las dinámicas territoriales derivados de la suma del megaproyecto y la heterogeneidad del territorio —procesos socioecológicos históricos y actuales particulares de cada localidad (Figueroa y Sánchez-Cordero, 2008). El trazo utilizado del Tren Maya fue una composición del trazo generado por la Secretaría de Desarrollo Territorial (SEDATU, 2019) con modificaciones de CartoCrítica y GeoComunes, tanto para la vía férrea existente como la proyectada. Estas modificaciones se realizaron por la inexistencia de un trazo oficial de acceso público, así como por las continuas modificaciones a la ruta.

I. MATRIZ DE CAMBIO DE USO DE LA TIERRA Y VEGETACIÓN

El método de análisis utilizado para la evaluación de uso de la tierra y vegetación integra diferentes componentes mediante la interconexión de los objetos de conservación, actividades humanas productivas y extractivas, dinámica socioeco-



nómica, conflictos sociopolíticos y gestión de las áreas naturales protegidas (CONANP, 2007; Velasco, 2010). El año base para determinar las tendencias de perturbación forestal fue el 2018, y se utilizó el periodo 1986 - 2018 como referencia de las tendencias previas al anuncio

Tabla 2. Área de interés para el análisis de cambio de uso de suelo indirecto generado por el proyecto del Tren Maya Concesiones de los tramos del Tren Maya

CARACTERÍSTICAS	
Longitud (km)	1,470
Ancho de superficie (km)	20
Superficie de análisis (ha)	2,868,965.2
Estaciones	19
Paraderos	11
Estados	5
Municipios	74
Comunidades	6,600

Fuente: Elaboración propia.

del Tren Maya en el área de interés. Para ello se emplearon cuatro pe-

riodos de tiempo en imágenes satelitales: Landsat 5 TM (1986, 2006) y LandSat 8 OLI (2018), seleccionando imágenes con corrección geométrica y topográfica. Los resultados se cruzaron con los datos históricos de las alertas tempranas GLAD³ (pérdida de cobertura arbórea) y VIIRS⁴ (incendios) disponibles en la plataforma de acceso libre de Global Forest Watch⁵. Las categorías de uso de la tierra y vegetación utilizadas, con una clasificación supervisada de 128 puntos de control en territorio, son:

1. Asentamientos humanos
2. Cuerpo de agua
3. Manglar
4. Sabana
5. Selva caducifolia
6. Selva perennifolia
7. Selva subcaducifolia
8. Sin vegetación aparente
9. Tierra agrícola anual
10. Tierra agrícola perenne
11. Vegetación hidrófila

Para analizar los impactos indirectos en los ecosistemas forestales se proyectaron dos escenarios futuros:

³ Global Land Analysis & Discovery (GLAD): El sistema GLAD analiza las imágenes satelitales más recientes y las compara con datos históricos para determinar dónde se han perdido árboles dentro de un área de 30 m x 30 m debido a una posible deforestación, degradación forestal y/ o cambios naturales.

⁴ Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS), es un sensor que permite la detección de incendios pequeños durante el día y la noche, que se ven representados en el centro de un área de 375 m.

⁵ Global Forest Watch (GFW) es una plataforma en línea que proporciona datos y herramientas para el monitoreo de los ecosistemas forestales.



2030 y 2050. En cada escenario futuro se obtuvieron dos paisajes probabilísticos de deforestación: con y sin Tren Maya. Para la proyección de los escenarios con Tren Maya se utilizó el periodo 1986 - 2021 (Land-Sat 8 OLI, 2021) como referencia del cambio de las dinámicas de cambio de uso de la tierra y vegetación. Los años 2030 y 2050 fueron seleccionados por su importancia en el cumplimiento de los compromisos internacionales para alcanzar las metas de mitigación en el Acuerdo de París, ratificadas en la COP 26 por México. Se consideraron dos tipos de variables para explicar la deforestación: variables directas, previas al inicio de la construcción —cambio de uso de la tierra histórico y procesos ambientales naturales— y; variables indirectas, los cambios agregados después del anuncio del Tren Maya— con base en las nuevas obras de infraestructura, carreteras, especulación inmobiliaria, crecimiento urbano estimado por la de-

manda turística y la migración.

Las probabilidades de los cambios y proyección de los posibles escenarios futuros en el área de interés se calculadora mediante el método conjunto de cadenas de Markov-automatas celulares, este enfoque híbrido permite la modelación de cambios futuros del uso de la tierra y vegetación con base en cambios observados en el pasado (Subedi et al. 2013). Las cadenas de Markov simulan la predicción del estado del sistema en un tiempo determinado a partir de estados precedentes y los autómatas celulares asumen explícitamente que las áreas vecinas influyen en la probabilidad de transición del área o celda central (Paegelow et al., 2003). Para dicho análisis, se emplearán los módulos Markov y CA-Markov del programa IDRISI Kilimanjaro 14.02. (Eastman, 2004).

Los supuestos del modelo de deforestación consideran tres variables

indirectas relacionadas al proyecto Tren Maya:

1. Crecimiento en la densidad poblacional, la tasa de incremento de la densidad poblacional esperada por decenio es de 1.03%⁶, sin embargo, de acuerdo con las estimaciones del Gobierno Federal, con la construcción del Tren Maya, la tasa de crecimiento anual incrementará en un 2% adicional a la esperada⁷.

2. Aumento del turismo, la demanda turística podría aumentar en promedio 3% anualmente.

3. Infraestructura asociada a la red vial y servicios, la demanda de la nueva infraestructura derivada del crecimiento poblacional y el aumento del turismo se estimó con base en la variable macroeconómica del PIB, lo cual resulta en un crecimiento anual promedio del 3% adicional en obras generales de lo registrado al 2018⁸.

II. EMISIONES POR CAMBIO DE EXISTENCIAS DEL CARBONO

Para realizar la estimación de emisiones originadas por el cambio de existencias de carbono en el uso de

la tierra y cambio de uso de la tierra se utilizó la metodología de diferencias de existencias del IPCC 2006 Nivel 1, con modificación 2019, utilizando los niveles de referencia de las emisiones forestales publicados por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2015). Los niveles de referencia estiman los promedios de carbono por hectárea para cada categoría de uso de la tierra y vegetación.

Para estimar los cambios en las existencias de carbono se utilizó la siguiente ecuación:

$$\Delta CB = (Ct_2 - Ct_1) / (t_2 - t_1)$$

ΔCB = cambio anual en las existencias de carbono de la biomasa (la suma de los términos de biomasa aérea y subterránea en tierras que permanecen en la misma categoría. Ct_1 = total de carbono en biomasa para cada subcategoría de tierra en el momento t_1 .

Ct_2 = total de carbono en biomasa para cada subcategoría de tierra en el momento t_2 .

Es decir, las emisiones por los cambios de existencias de carbono equivalen a la suma de diferencias de carbono en la biomasa viva entre dos años diferentes por cada sub-

⁶ <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>

⁷ <https://www.trenmaya.gob.mx/repositorio-de-documentos-oficiales/>

⁸ <https://www.datatur.sectur.gob.mx/SitePages/ActividadHotelera.aspx>

categoría de tierra. La hipótesis por defecto para el Nivel 1 es que todo el carbono de la biomasa removida se pierde en la atmósfera mediante el quemado o procesos de descomposición, ya sea in situ o en otra parte. En los cálculos del Nivel 1 no se hace diferencia entre las emisiones inmediatas del quemado y otras pérdidas relacionadas con la conversión.

En este análisis se presentan los rangos probables de emisiones por cambios en las existencias de carbono. El rango mínimo se estableció de acuerdo con los niveles de referencia para las subcategorías de vegetación secundaria, las cuales incluyen las vegetaciones de vida herbácea y arbustiva. En el rango máximo se utilizaron los niveles de referencia para las subcategorías de vegetación primaria, es decir, predominantemente arbóreas. En adición a esto se estimó el potencial de secuestro de carbono anual por cada superficie de las categorías de uso de la tierra y vegetación.

III. MANIFESTACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL


La Manifestación de Impacto Ambiental es el documento que por ley tienen que presentar los promotores de cualquier obra o actividad, mediante el cual dan a conocer, con base en estudios, el impacto am-

biental, significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo (Congreso de la Unión, 2022a). La Gaceta Ecológica es el medio que la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales utiliza para publicar las solicitudes de autorización en materia de impacto ambiental, en la cual un promovente (particular, moral o comunitario) solicita el cambio de uso de suelo para un proyecto de obra o actividad. Las solicitudes nos ayudan a definir una demanda oficial de cambio de uso de suelo, es decir, una línea base o punto de partida de los 74 municipios del área de interés en los estados de Chiapas, Tabasco, Campeche, Quintana Roo y Yucatán.

Se realizó la revisión de Gacetas Ecológicas de cuatro años previos al anuncio del Tren Maya y cuatro posterior, con el fin de identificar variaciones en el tiempo de las presiones registradas que demandan un cambio de uso de suelo a partir de la presencia del proyecto de desarrollo. En total se revisaron 482 Gacetas Ecológicas y 1,696 proyectos que corresponden a los municipios del área de interés durante el periodo de enero de 2014 a diciembre de 2021.

Las manifestaciones de impacto ambiental se categorizaron de acuerdo al nuevo uso de suelo promovido:

1. Actividades agropecuarias
2. Conservación ecológica
3. Asentamiento humano y servicios
4. Aprovechamiento forestal
5. Actividades industriales
6. Actividades de extracción y explotación de materiales pétreos
7. Turismo



En cada escenario futuro se obtuvieron dos paisajes de deforestación: con y sin Tren Maya.

I. ÁREA DE INTERÉS

a. Deforestación y cambios de cobertura

El área de interés de este análisis comprende una superficie de 2,868,965.2 hectáreas en los cinco estados del Tren Maya (Tabla 3). El análisis de cambio de uso de la tierra modela la transición entre los diferentes usos y las tierras forestales. La modelación de esta dinámica tiende a presentar cierta complejidad, ya que no sólo suceden cambios de vegetación forestal a usos de la tierra antropogénicos, sino que también ocurren entre categorías de tierras forestales. Es decir, la transición entre tierras forestales puede ser indicador de recuperación ecológica o de degradación; la transición de «Selva perennifolia» a «Selva caducifolia» es un caso probable de degradación en la Península de Yucatán. Comprender esta dinámica permite dirigir las acciones

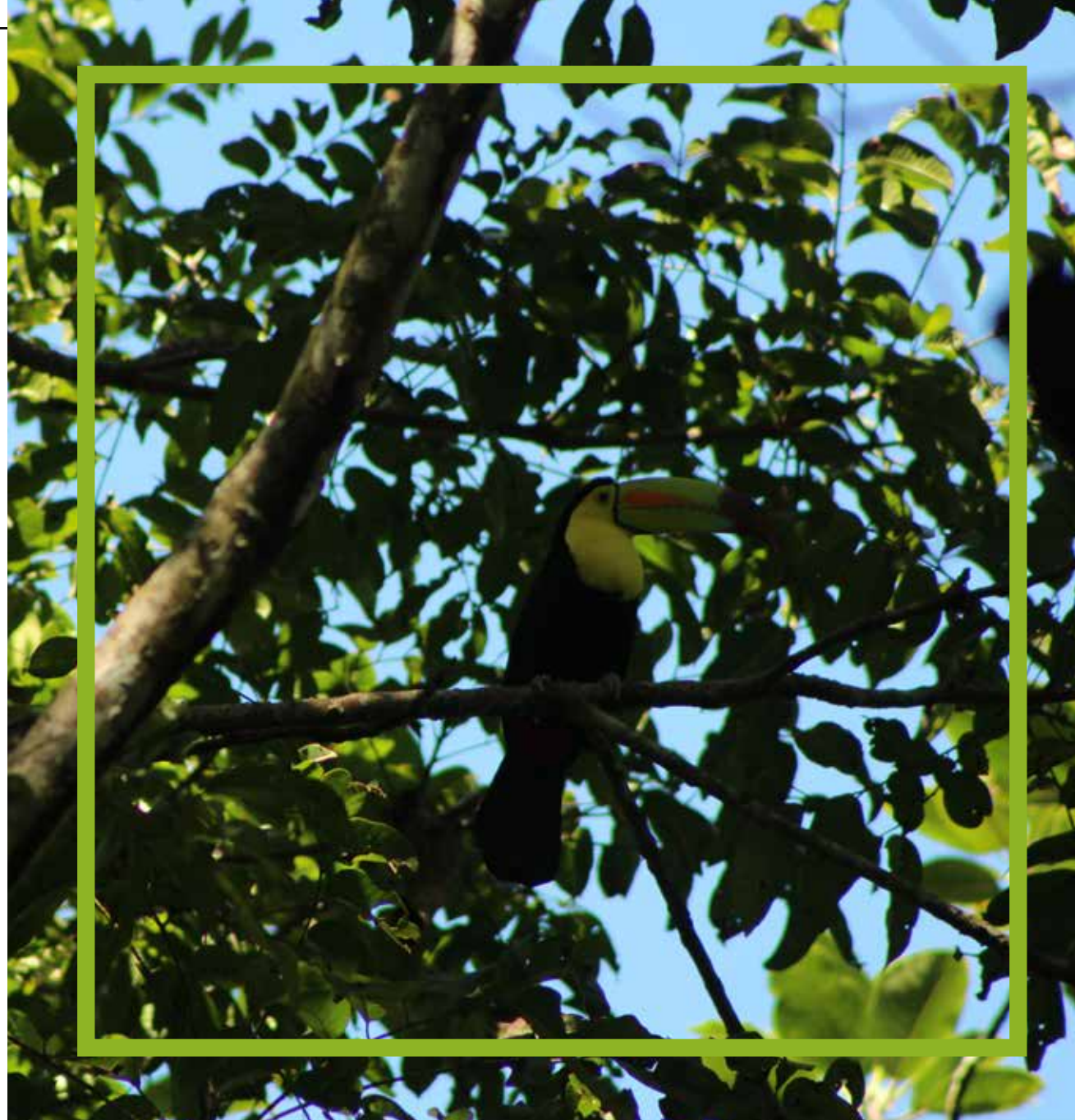


Tabla 3. Superficies del área de interés en cada estado

ESTADO	ÁREA DE INTERÉS (ha)	% DEL ESTADO
CHIAPAS	111,789.5	1.5%
TABASCO	177,920.6	7.2%
CAMPECHE	986,376.2	17.2%
QUINTANA ROO	982,878.6	22.1%
YUCATÁN	610,000.4	15.5%

Fuente: Elaboración propia.

nes de protección y conservación al identificar las principales presiones en el territorio.

En la Tabla 4 se presentan los porcentajes anuales que registraron las diferentes categorías de uso de la tierra y vegetación utilizados en este análisis. La «Selva perennifolia» es la vegetación con mayor cobertura en el área de interés (50.2%),

no obstante, es la segunda vegetación arbórea con mayor pérdida registrada en el periodo de línea base entre 1986 - 2018 (107,779.74 ha). Por otro lado, la «Selva caducifolia», que representó 16.2% de la superficie en 1986, es la vegetación que registró una mayor reducción durante el periodo tendencial analizado, -37.0% (172,178.44 ha). La «Selva subcaducifolia» incrementó su superficie, estableciéndose en lo que anteriormente era «Selva perennifolia», «Tierra agrícola anual» y «Selva caducifolia».

Los usos de la tierra antropogénicos que registraron mayor incremento en superficie en el periodo de línea base (1986 - 2018) fueron «Asentamientos humanos» y «Tierra agrícola perenne». «Asentamientos humanos» presentó un crecimiento de 58,512.66 ha (273.9%), este incremento se localizó en las categorías de «Selva perennifolia», «Selva caducifolia» y «Tierra agrícola anual». En el mismo periodo, «Tierra agrícola perenne» incrementó su superficie en 34,381.99 ha, estableciéndose en lo que anteriormente eran superficies de «Selva caducifolia» y «Tierra agrícola anual».

La tasa anual de deforestación bruta para el área de interés, entre 1986 a 2018, se estimó en 13,188.2 ha/año y la tasa de deforestación neta en 4,070.8 ha/año. La conversión

- SIMBOLOGÍA**
- Límite estatal
 - Deforestación 1986 - 2018
 - Deforestación 2018 - 2030 (sTM)
 - Deforestación 2030 - 2050 (sTM)
 - Asentamientos
 - Cuerpo de agua
 - Manglar
 - Sabana
 - Selva caducifolia
 - Selva perennifolia
 - Selva subcaducifolia
 - Sin vegetación aparente
 - Tierra agrícola anual
 - Tierra agrícola perenne
 - Vegetación hidrófila



Área de interés del análisis de deforestación en el proyecto de desarrollo denominado Tren Maya

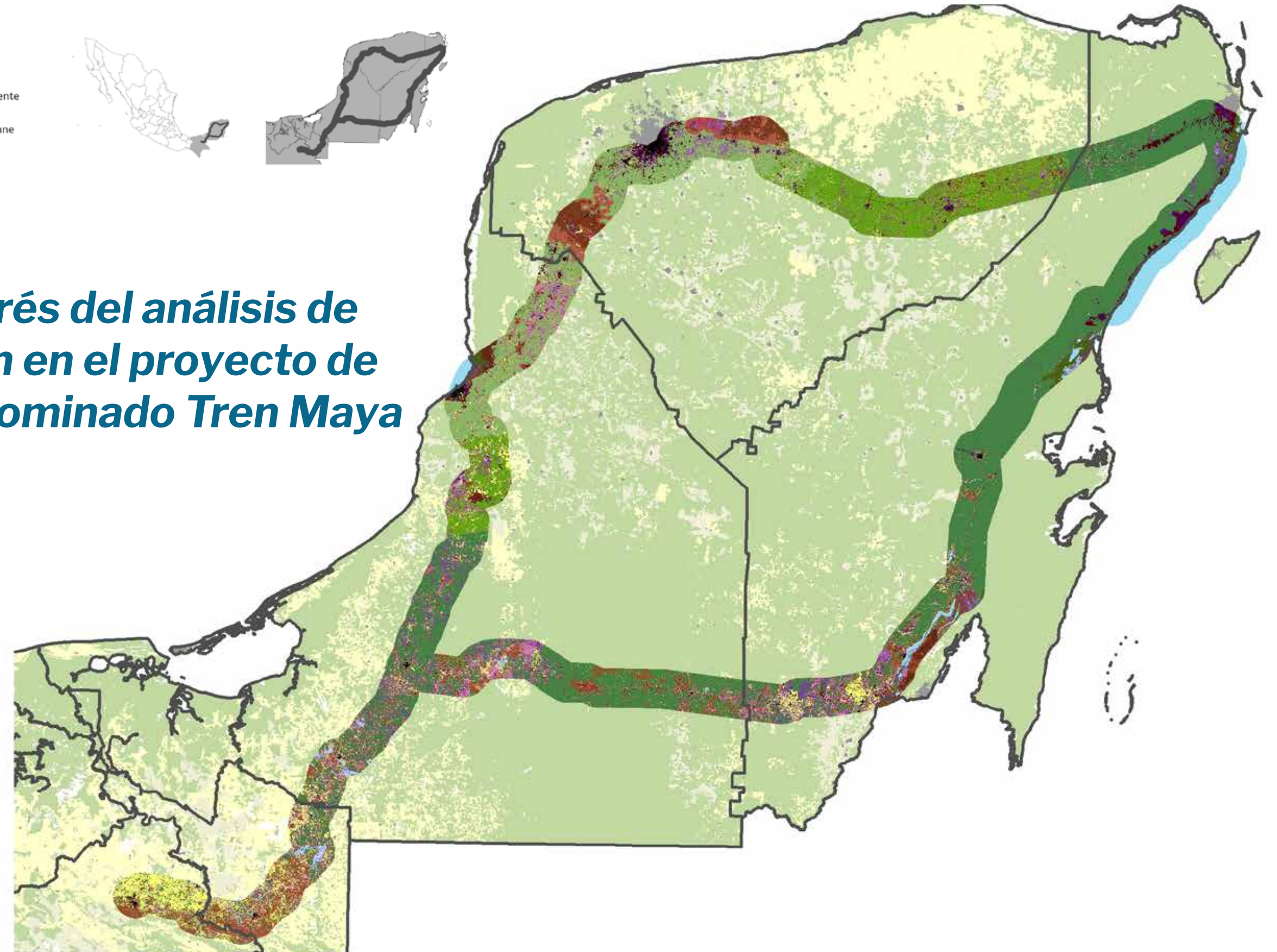


Tabla 4. Porcentaje de uso de la tierra y vegetación del área de interés con proyecciones al 2030 y 2050.

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	1986 (%)	2018 (%)	2030 (%)	2050 (%)
Asentamientos humanos	0.7	2.8	3.8	4.2
Cuerpo de agua	4.5	4.9	4.8	4.8
Manglar	1.3	1.5	1.3	1.3
Sabana	0.1	0.1	0.0	0.0
Selva Caducifolia	16.2	10.2	13.4	12.4
Selva Perennifolia	50.2	46.4	39.7	41.8
Selva Subcaducifolia	7.9	13.0	12.6	11.5
Sin Vegetación aparente	0.3	0.9	0.1	0.0
Tierra agrícola anual	17.8	16.1	22.9	23.0
Tierra agrícola perenne	0.4	1.6	0.5	0.3
Vegetación hidrófila	0.5	2.6	0.9	0.7

Fuente: Elaboración propia.

a «Tierra agrícola anual» explicó el 64.8% de la deforestación, seguido por los «Asentamientos humanos» (11.1%). Esta tasa anual de deforestación bruta se encuentra en el rango estimado para la deforestación bruta en la Península de Yucatán (47,597.9 ha/año), en el periodo 2001 - 2018 (CONAFOR, 2020b).

Con esta tendencia se estima que para el periodo del 2018 al 2030 la tasa anual de deforestación bruta será de 32,868.6 ha/año y una tasa de deforestación neta de 9,786.1 ha/año, con una reducción en la «Selva perennifolia» en un 14.5% en comparación al 2018, finalizando con 240,599.97 ha menos que las ini-

ciales en 1986. Por otro lado, «Tierra agrícola anual» es el uso de la tierra que registra el mayor crecimiento al 2030 (29.0%), es decir, una diferencia de 147,980.9 ha con relación al 1986.

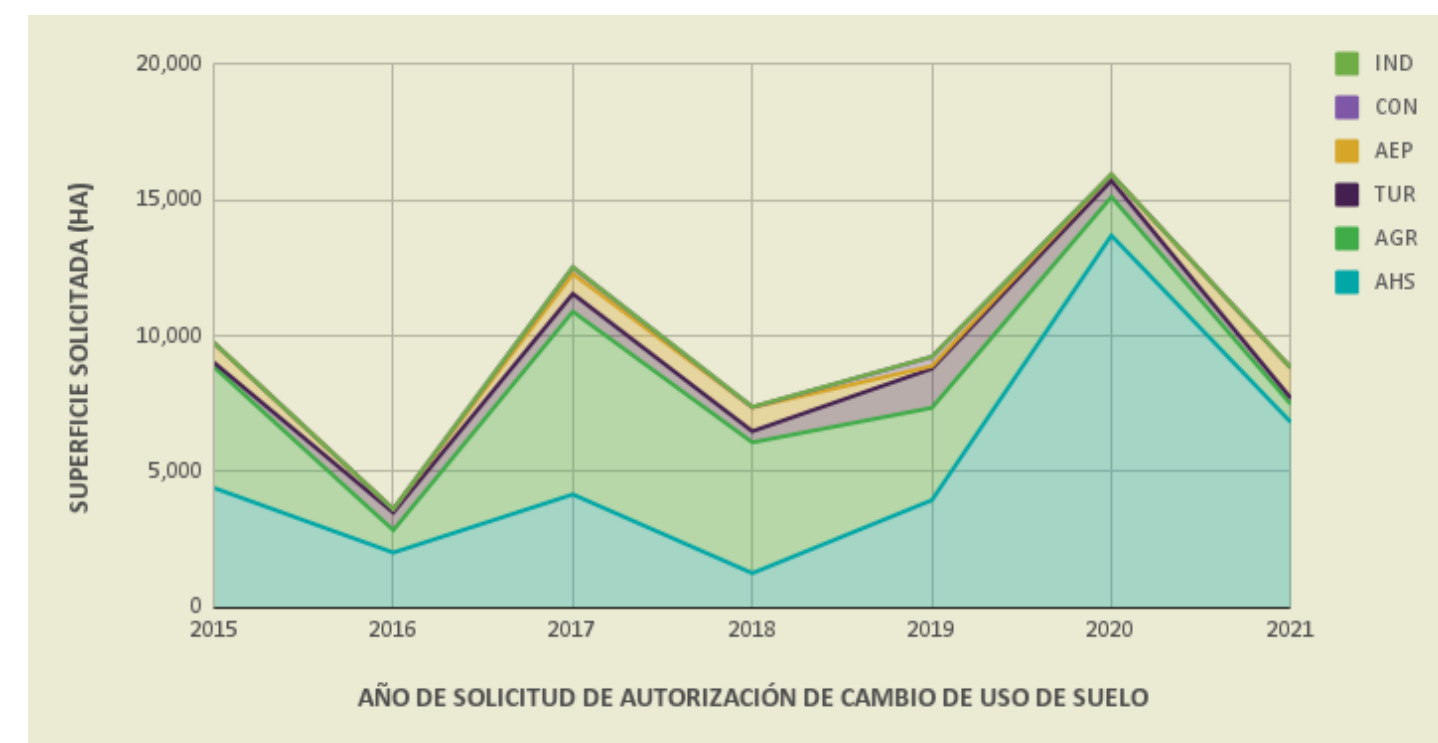
b. Manifestaciones de Impacto Ambiental

En los 74 municipios del área de interés, que comprenden los estados de Chiapas, Tabasco, Campeche, Quintana Roo y Yucatán, se estimó una demanda de 8,320.9 ha/año de predios que solicitaron cambio de uso de suelo en el periodo de revisión 2014 a 2017, siendo la categoría

de «Actividades agropecuarias» la de mayor solicitud (4,199.2 ha/año), seguida de «Asentamientos humanos y servicios» con 2,972.3 ha/año. En el periodo de 2018 a 2021 se estimó una demanda anual de 9,958.0 ha, cambiando a «Asentamientos

miento forestal» no se integraron en el promedio de la demanda, pues se asume que existe un programa de manejo forestal que asegura la permanencia de la tierra forestal. En el periodo completo de revisión, de 2014 a 2021, se solicitaron

Figura 2. Superficie registrada de predios con solicitud de cambio de uso de suelo en los municipios del área de interés (2014 - 2021).



Fuente: Elaboración propia con información de la Gaceta Ecológica.

humanos y servicios» la categoría con mayor solicitud en este periodo (7,184.9 ha/año), seguido de «Actividades agropecuarias» con 1,584.6 ha/año (Figura 2).

Las solicitudes de «Aprovecha-

489,985.0 ha de aprovechamiento forestal, con un promedio de 100,431.99 ha/año en el periodo de 2014 a 2017 y de 22,064.27 ha/año de 2018 a 2021. Pese a la diferencia, es importante señalar que este cambio puede estar limitado a la

superficie disponible y no autorizada para el aprovechamiento, la cual tendería a ser menor con el paso de los años hasta la renovación de las autorizaciones.

Si consideramos la superficie registrada en las solicitudes de autorización de cambio de uso de suelo en tierras forestales como la superficie con demanda de uso, por lo tanto, de deforestación, existe una diferencia de:

1. La demanda registrada por las solicitudes de autorización de cambio de uso de suelo en el periodo de 2014 a 2017 es 4,867.3 ha/año menor a la tasa de deforestación bruta promedio anual estimada para este periodo.

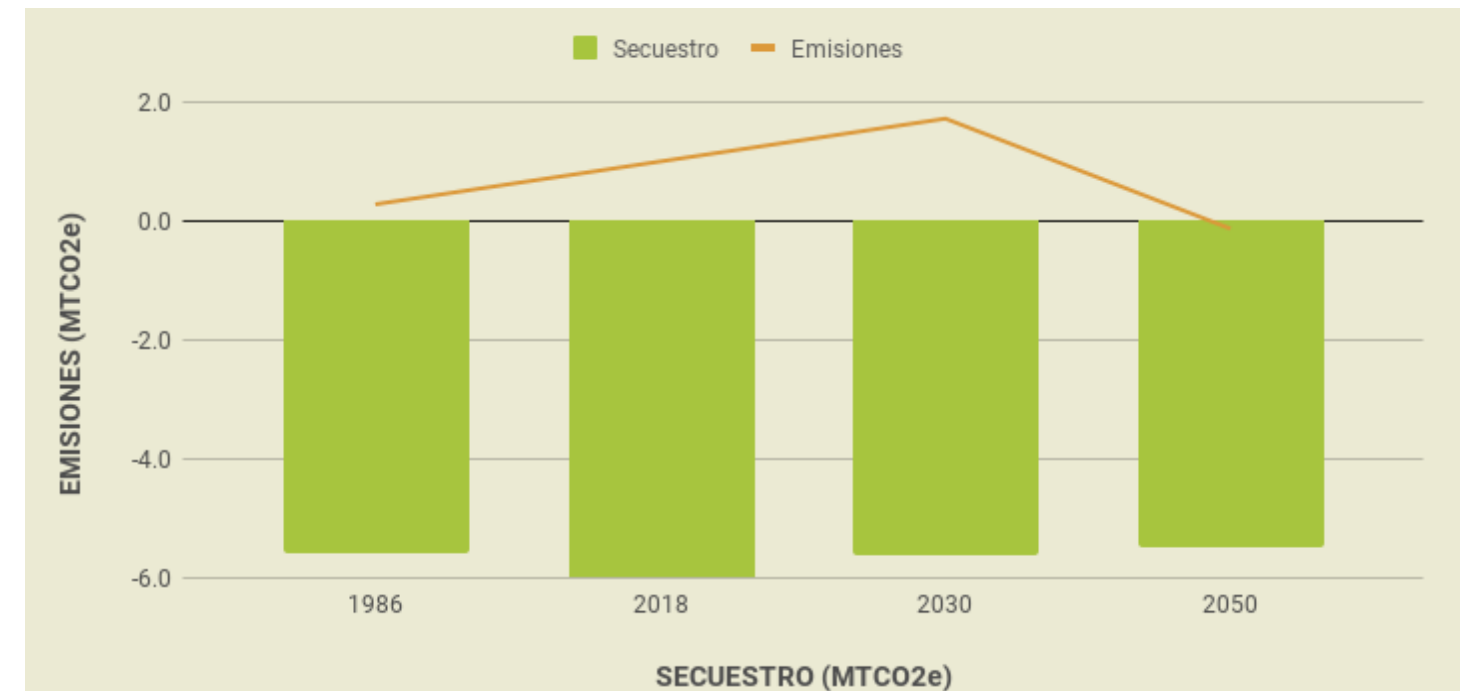
2. La demanda registrada por las solicitudes de autorización de cambio de uso de suelo en el periodo de 2018 a 2021 es 22,910.6 ha/año menor a la tasa de deforestación bruta promedio anual estimada para este periodo.

c. Emisiones por cambio en las existencias de carbono

Las emisiones anuales por cambio de uso de la tierra y vegetación para el periodo de línea base, 1986 - 2018, se estimaron en 0.28 ± 0.05 MtCO₂/año, lo equivalente a las emi-

siones de 56 mil vehículos al año. El potencial de secuestro de CO₂ por la permanencia de ecosistemas forestales, para el mismo periodo, se estimó en un promedio de 5.81 ± 1.74 MtCO₂/año. Con la tendencia de cambio de uso de la tierra y vegetación presente hasta el 2018 en el área de interés, las emisiones anuales en 2030 pasarán a 1.72 ± 0.52 MtCO₂/año y a -0.13 ± 0.04 MtCO₂/año en el 2050. Es decir, para el 2050 hay mayor ganancia en biomasa viva por la revegetación de lo que se emite por deforestación o degradación. El potencial de secuestro de CO₂ por permanencia de ecosistemas forestales para el periodo 2030 - 2050 se estima en un promedio de 5.49 ± 0.09 MtCO₂/año (Figura 3).

Figura 3. Potencial de secuestro y emisiones por cambio de uso de la tierra y vegetación en el área de interés.



Fuente: Elaboración propia.

Al 2050 hay mayor ganancia en biomasa viva de lo que se emite por deforestación o degradación



I. CHIAPAS

a. Deforestación y cambios de cobertura

El área de interés en Chiapas comprende una superficie de 111,748.46 hectáreas, lo que representa el 3.89% de la superficie total del área analizada para el Tren Maya. En la Tabla 5 se presentan los porcentajes anuales que registraron las diferentes categorías de uso de la tierra y vegetación utilizadas en este análisis. La «Tierra agrícola anual» es la categoría que presentó mayor superficie en el área de interés en Chiapas, 62.9% de la superficie en el 2018. La «Selva perennifolia» es la tierra forestal con mayor cobertura y registró un crecimiento del 26.5% entre 1986 y 2018. El uso de la tierra antropogénico «Asentamientos humanos» registró el mayor creci-

miento porcentual, incrementando su superficie en un 256.8%, pasando de 214.7 ha a 765.8 ha.

La tasa anual de deforestación bruta para el área de interés en Chiapas, entre 1986 a 2018, se estimó en 370.1 ha/año y la tasa de deforestación neta en -204.2 ha/año, lo que representa una revegetación a través de la ganancia de cobertura forestal, principalmente con «Selva perennifolia». Con esta tendencia, se estima que para el periodo del 2018 al 2030 la tasa anual de deforestación bruta será de 2,290.8 ha/año y una tasa de deforestación neta de 1,083.5 ha/año. Esto se traducirá que en 2030 se registre la desaparición de la categoría «Sabana» y una reducción del 25% de la superficie de «Selva perennifolia» registrada en 1986. Además, en el periodo 2018 al 2030 se estima un

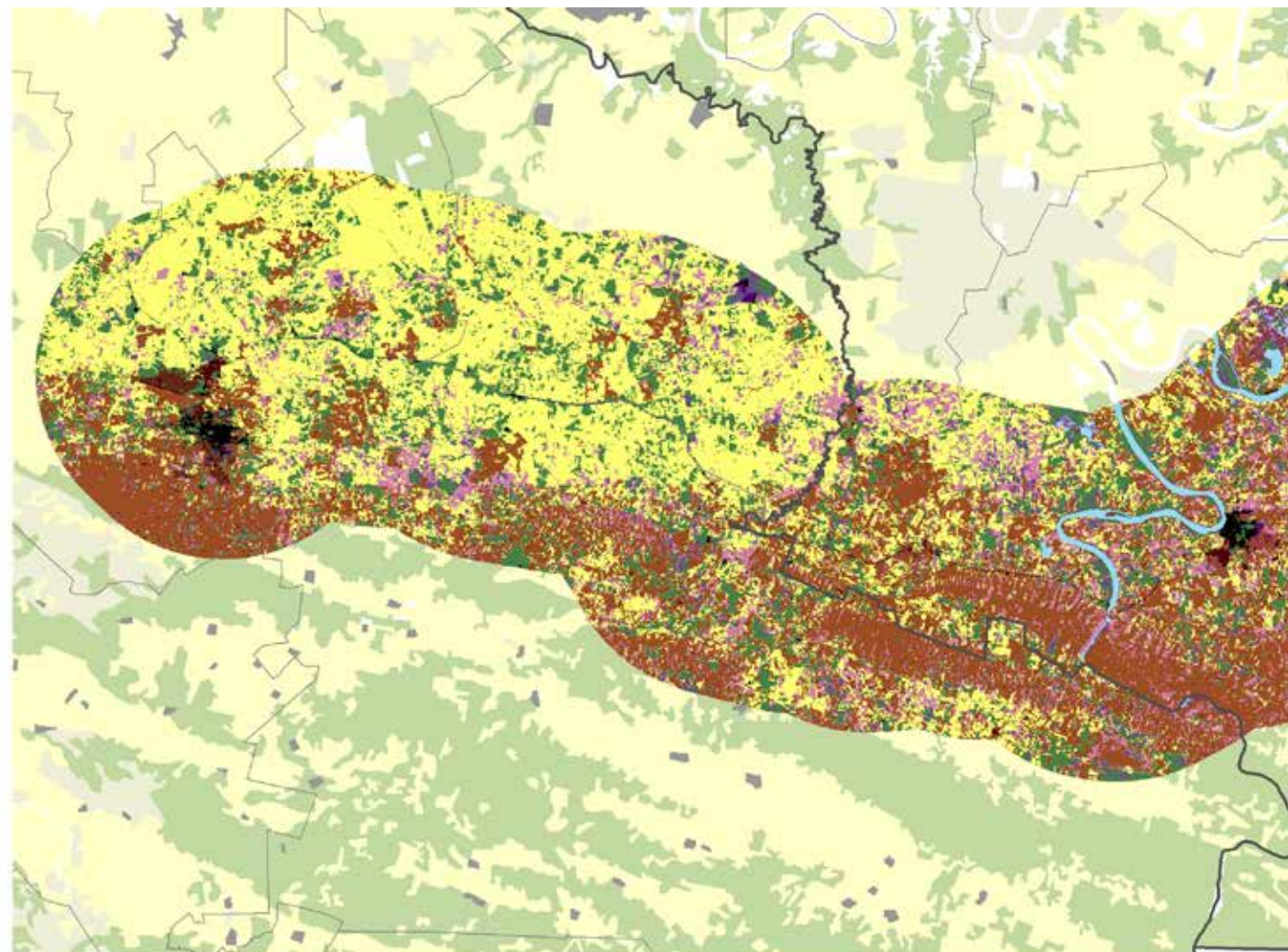
Tabla 5. Uso de suelo y vegetación del área de interés en Chiapas de los tres periodos analizados.

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	1986 (%)	2018 (%)	2030 (%)	2050 (%)
Asentamientos humanos	0.2	0.7	2.4	2.6
Cuerpo de agua	0.1	0.2	0.1	0.1
Sabana	3.2	1.3	0.0	0.0
Selva Perennifolia	22.5	28.5	16.8	16.7
Tierra agrícola anual	74.1	62.9	80.6	80.6
Tierra agrícola perenne	0.0	6.2	0.0	0.0
Vegetación hidrófila	0.0	0.3	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4. Deforestación en el área de interés en Chiapas entre 1986 al 2050.



Fuente: Elaboración propia.

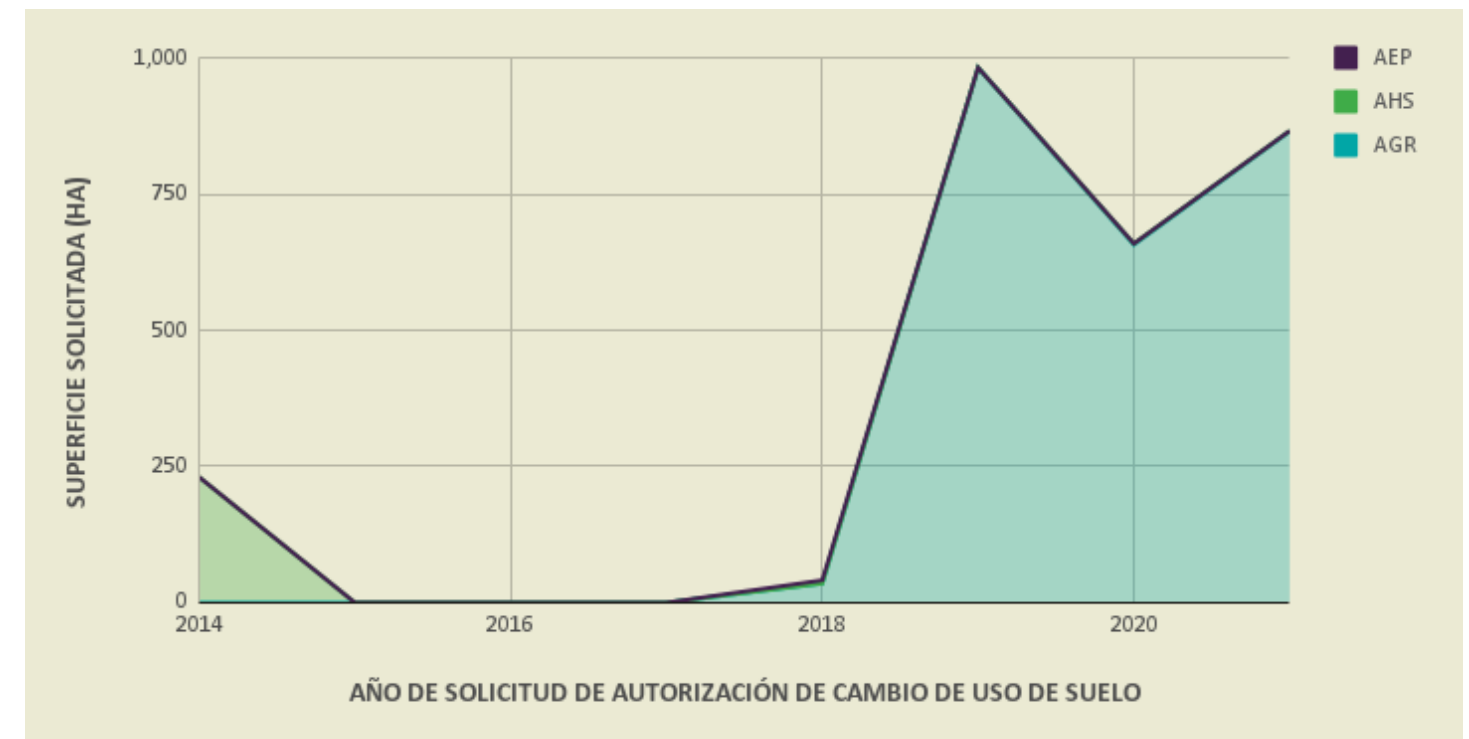
incremento de 255.2% y 28.1% en la superficie dedicada a «Asentamientos humanos» y «Tierra agrícola anual», respectivamente (Figura 4).

b. Manifestaciones de Impacto Ambiental

El área de interés del Tren Maya en Chiapas cruza dos municipios: La Libertad y Palenque. Durante el período del 2014 al 2021, en la Gaceta Ecológica se identificaron 15 proyectos o actividades correspondientes a estos municipios, pero únicamente Palenque ha solicitado

cambios de uso de suelo ante la SEMARNAT en predios con una suma total de 2,778.9 hectáreas. No se registraron solicitudes de «Aprovechamiento forestal». En el periodo de revisión 2014 a 2017, sólo el 2014 presentó una demanda anual de solicitudes de cambio de uso de suelo por 57.63 ha/año para «Asentamientos humanos y servicios». En el periodo de 2018 a 2021 se estimó una demanda anual de 637.0 ha/año, las «Actividades agropecuarias» solicitaron 634.8 ha/año, es decir el 99.6% de las solicitudes de cambio de uso de suelo (Figura 5).

Figura 5. Superficie registrada de predios con solicitud de cambio de uso de suelo en los municipios del área de interés en Chiapas (2014 - 2021).



Fuente: Elaboración propia con información

Si consideramos la superficie registrada en las solicitudes de autorización de cambio de uso de suelo en tierras forestales como la superficie con demanda de uso, por lo tanto, de deforestación, existe una diferencia de:

1. La demanda registrada por las solicitudes de autorización de cambio de uso de suelo en el periodo de 2014 a 2017 es 312.47 ha/año menor a la tasa de deforestación bruta promedio anual estimada para este periodo.

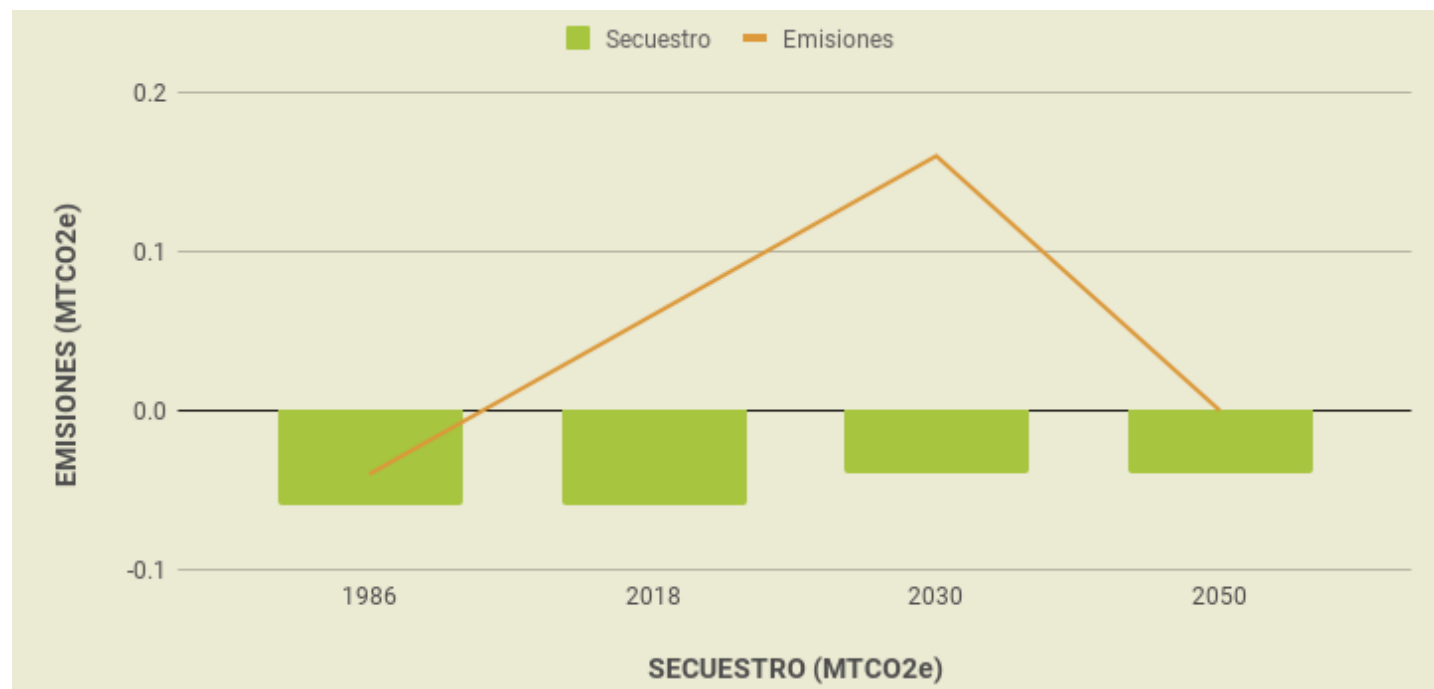
2. La demanda registrada por las solicitudes de autorización de cambio de uso de suelo en el periodo de 2018 a 2021 es 1,653.8 ha/año menor a la tasa de deforestación bruta promedio anual estimada para este periodo.

c. Emisiones por cambio en las existencias de carbono

Las emisiones anuales por cambio de uso de la tierra y vegetación para el periodo de línea base, 1986 - 2018, en el área de interés de Chiapas se

estimaron en $-0.04 \pm 0.01 \text{ MtCO}_2/\text{año}$, es decir, hay mayor ganancia en biomasa viva por la revegetación de lo que se emite por deforestación o degradación. El potencial de secuestro de CO_2 por la permanencia de ecosistemas forestales, para el mismo periodo, se estimó en un promedio de $0.07 \pm 0.02 \text{ MtCO}_2/\text{año}$. Con la tendencia de cambio de uso de la tierra y vegetación presente hasta el 2018 en el área de interés de Chiapas, las emisiones anuales en 2030 pasarán a $0.16 \pm 0.05 \text{ MtCO}_2/\text{año}$ y a $0 \text{ MtCO}_2/\text{año}$ en el 2050. Es decir, para el 2050 la superficie de Chiapas en el área de interés será exclusivamente para «Asentamientos humanos» y «Tierra agrícola anual». El potencial de secuestro de CO_2 por permanencia de ecosistemas forestales para el periodo 2030 - 2050 se estima en un promedio de $0.04 \pm 0.0002 \text{ MtCO}_2/\text{año}$ (Figura 6).

Figura 6. Potencial de secuestro y emisiones por cambio de uso de la tierra y vegetación en el área de interés en Chiapas.



Fuente: Elaboración propia.



I. TABASCO

a. Deforestación y cambios de cobertura

El área de interés en Tabasco comprende una superficie de 177,818.1 hectáreas, lo que representa el 6.2% de la superficie total del área analizada para el Tren Maya. En la Tabla 6 se presentan los porcentajes anuales que registraron las diferentes categorías de uso de la tierra y vegetación utilizados en este análisis. La «Selva perennifolia» es la categoría con mayor cobertura en el área de interés (45.1%) y en el periodo entre 1986 y 2018 se estima su crecimiento en 9.2%, 6,742.3 ha. La superficie correspondiente a «Manglar» desapareció para el 2018, lo que representa una pérdida de 486.2 ha. Durante este periodo,

«Tierra agrícola anual» registró una reducción de 20,331.3 ha, sin embargo, mantiene una cobertura del 44.9% en el área de interés de Tabasco en el 2018.

La tasa anual de deforestación bruta para el área de interés en Tabasco, entre 1986 a 2018, se estimó en 1,140.7 ha/año y la tasa de deforestación neta en -182.6 ha/año, lo que representa una revegetación a través de la ganancia de cobertura forestal, principalmente con «Selva perennifolia». Con esta tendencia, se estima que para el periodo del 2018 al 2030 la tasa anual de deforestación bruta será de 4,447.2 ha/año y una tasa de deforestación neta de 2,553.6 ha/año. Esto se traducirá en que en 2030 se registre la desaparición de las categorías «Savana», «Tierra agrícola perenne» y

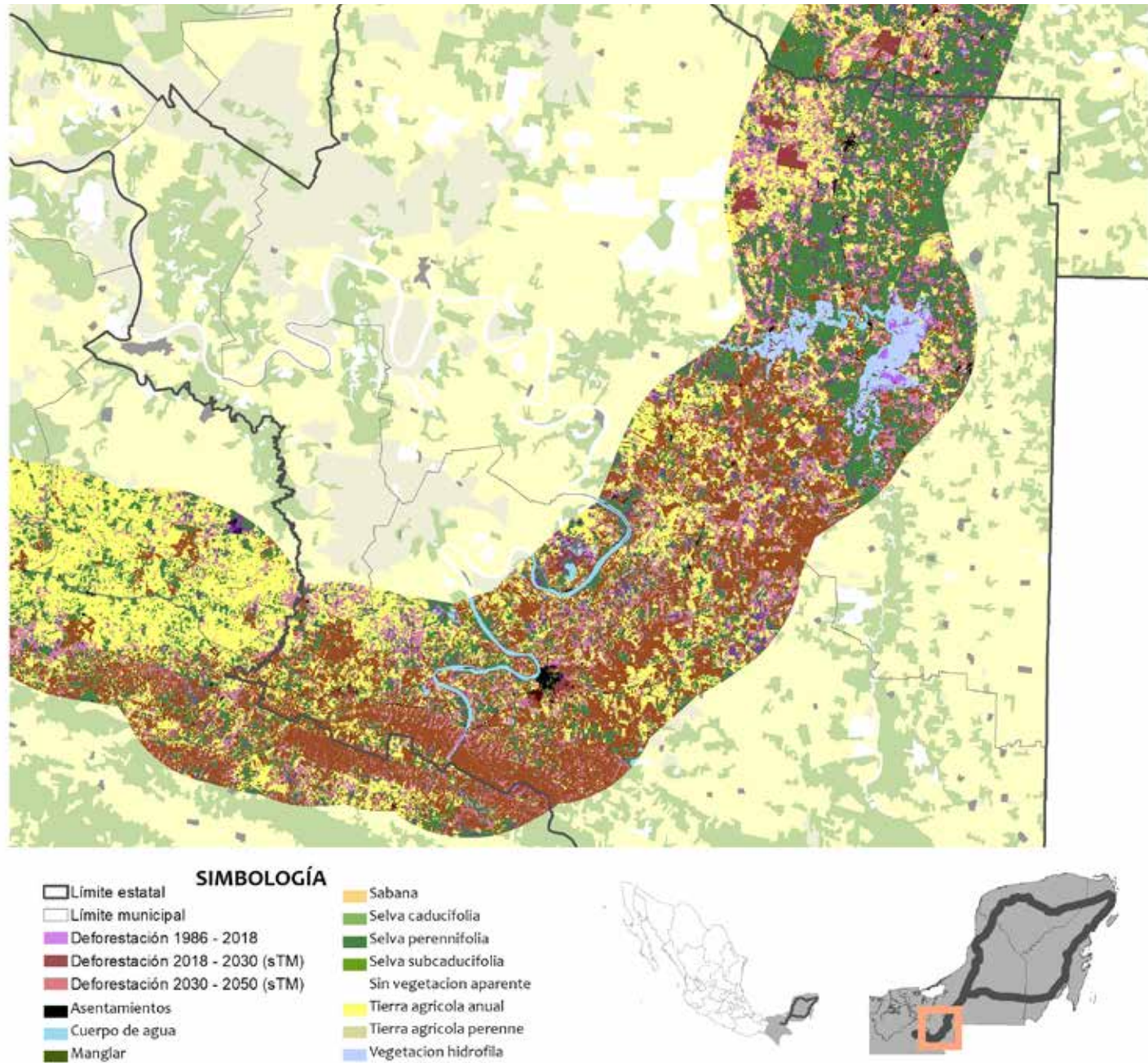
Tabla 6. Uso de suelo y vegetación del área de interés en Tabasco de los tres periodos analizados.

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	1986 (%)	2018 (%)	2030 (%)	2050 (%)
Asentamientos humanos	0.3	0.7	0.7	1.8
Cuerpo de agua	1.9	2.9	2.3	2.3
Manglar	0.3	0.0	0.0	0.0
Selva Perennifolia	41.3	45.1	27.9	26.8
Tierra agrícola anual	56.3	44.9	65.8	66.4
Tierra agrícola perenne	0.0	0.9	0.0	0.0
Vegetación hidrófila	0.0	5.6	3.2	2.7

Fuente: Elaboración propia.



Figura 7. Deforestación en el área de interés en Tabasco entre 1986 al 2050.



Fuente: Elaboración propia.

«Vegetación hidrófila». Además, se proyecta una reducción de la «Selva perennifolia» en 32.5% en comparación a 1986, 23,876.1 ha menos. Por otro lado, en el periodo 2018 al 2030, se estima un incremento de 46.8% en la superficie dedicada a «Tierra agrícola anual» (Figura 7).

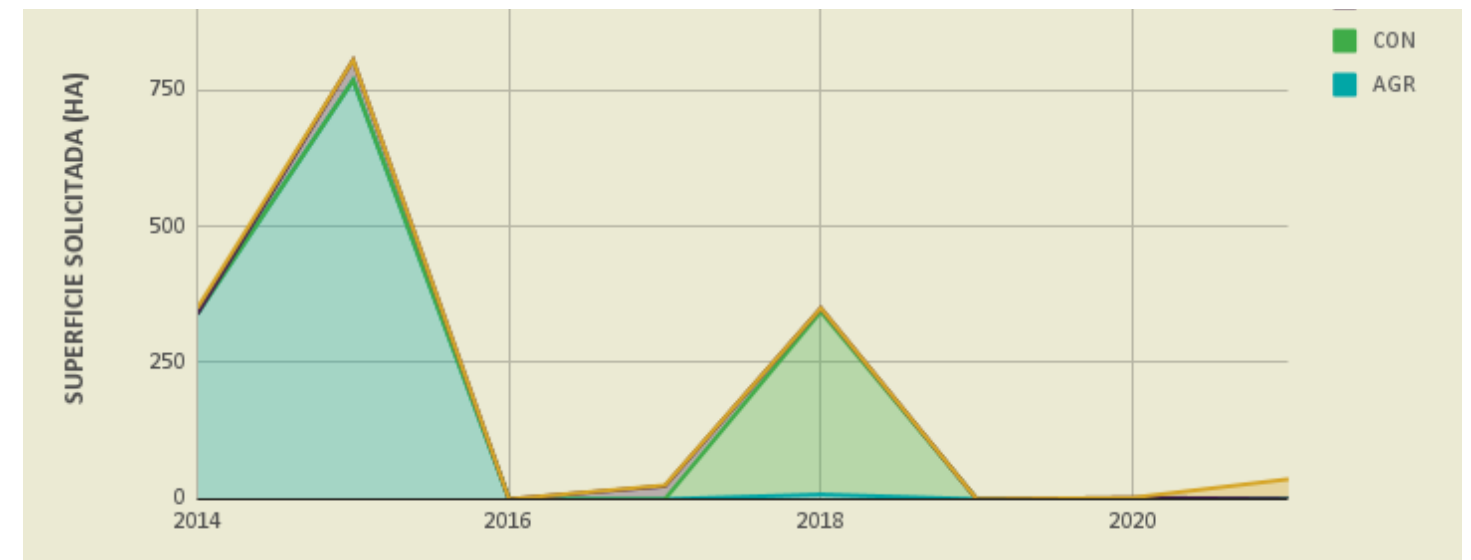
b. Manifestaciones de Impacto Ambiental

El área de interés del Tren Maya en Tabasco cruza tres municipios: Balancán, Emiliano Zapata y Tenosique. Durante el período del 2014 al 2021, en la Gaceta Ecológica se identificaron 28 proyectos o actividades correspondientes a estos municipios,

incluyendo uno de «Conservación ecológica» y cinco de «Aprovechamiento forestal». Los predios que han solicitado cambios de uso de suelo ante la SEMARNAT suman un total de 1,568.43 hectáreas para el periodo de revisión.

En el periodo de revisión 2014 a 2017 se estimó una demanda anual de solicitudes de cambio de uso de suelo por 294.84 ha/año, 93.8% para «Actividades agropecuarias». En el periodo de 2018 a 2021 se estimó una demanda anual de 13.5 ha/año, de los cuales «Asentamientos humanos y servicios» solicitaron 9.05 ha/año y «Actividades de extracción y exploración de materiales pétreos» 2.3 ha/año (Figura 8).

Figura 8. Superficie registrada de predios con solicitud de cambio de uso de suelo en los municipios del área de interés en Tabasco (2014 - 2021).



Fuente: Elaboración propia con información

Si consideramos la superficie registrada en las solicitudes de autorización de cambio de uso de suelo en tierras forestales como la superficie con demanda de uso, por lo tanto, de deforestación, existe una diferencia de:

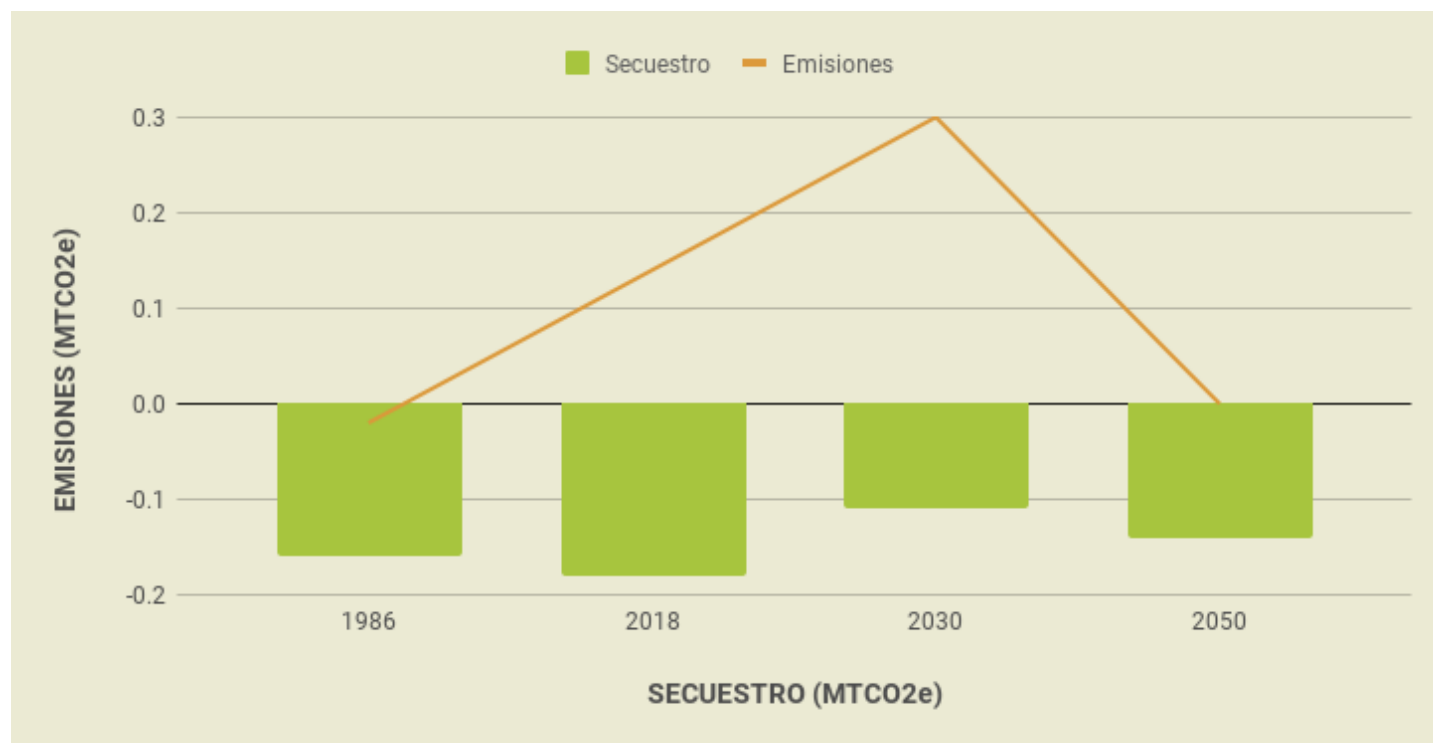
1. La demanda registrada por las solicitudes de autorización de cambio de uso de suelo en el periodo de 2014 a 2017 es 845.9 ha/año menor a la tasa de deforestación bruta promedio anual estimada para este periodo.

2. La demanda registrada por las solicitudes de autorización de cambio de uso de suelo en el periodo de 2018 a 2021 es 4,433.7 ha/año menor a la tasa de deforestación bruta promedio anual estimada para este periodo.

c. Emisiones por cambio en las existencias de carbono

Las emisiones anuales por cambio de uso de la tierra y vegetación para el periodo de línea base, 1986 - 2018,

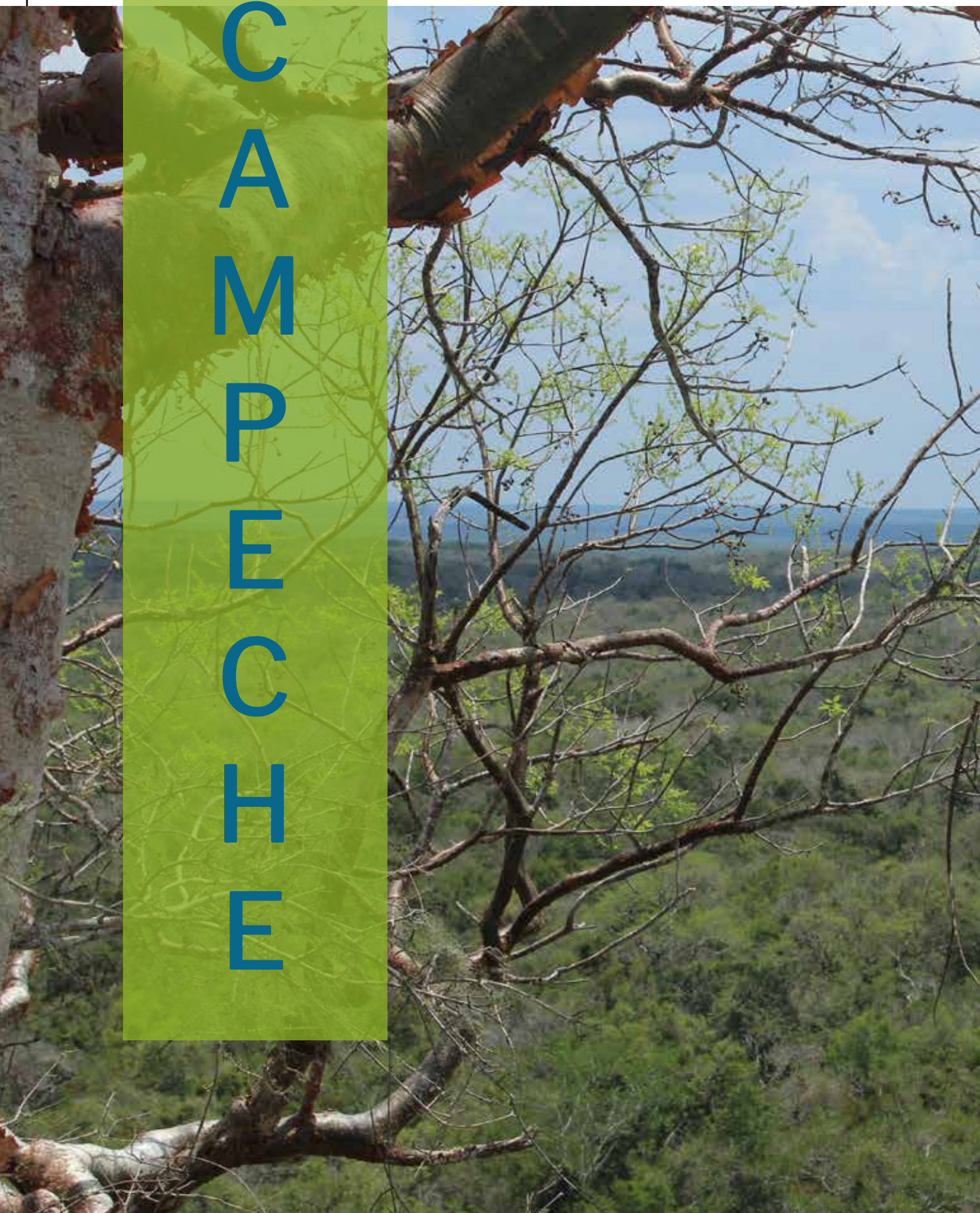
Figura 9. Potencial de secuestro y emisiones por cambio de uso de la tierra y vegetación en el área de interés en Tabasco.



Fuente: Elaboración propia.

en el área de interés de Tabasco se estimaron en -0.02 ± 0.01 MtCO₂/año, es decir, hay mayor ganancia en biomasa viva por la revegetación de lo que se emite por deforestación o degradación. El potencial de secuestro de CO₂ por la permanencia de ecosistemas forestales, para el mismo periodo, se estimó en un promedio de 0.17 ± 0.05 MtCO₂/año. Con la tendencia de cambio de uso de la tierra y vegetación presente hasta el 2018 en el área de interés de Tabasco, las emisiones anuales en 2030 pasarán a 0.30 ± 0.09 MtCO₂/año y a 0 MtCO₂/año en el 2050. Es decir, para el 2050 la superficie de Tabasco en el área de interés será exclusivamente para «Asentamientos humanos» y «Tierra agrícola anual». El potencial de secuestro de CO₂ por permanencia de ecosistemas forestales para el periodo 2030 - 2050 se estima en un promedio de 0.13 ± 0.02 MtCO₂/año (Figura 9).





I. CAMPECHE

a. Deforestación y cambios de cobertura

El área de interés en Campeche comprende una superficie de 977,009.09 hectáreas, lo que representa el 34.1% de la superficie total del área analizada para el Tren Maya. En la Tabla 7 se presentan los porcentajes anuales que registraron las diferentes categorías de uso de la tierra y vegetación utilizados en este análisis. La «Selva perennifolia» es la categoría que en el 2018 presentó el 54.1% de la cobertura en el área de interés en Campeche, seguido

de «Selva caducifolia» (14.0%). Entre 1986 y 2018, estas dos categorías presentaron una reducción de 21.0% para la «Selva perennifolia» y de 54.5% en la «Selva caducifolia». De los usos de la tierra antropogénicos «Tierra agrícola anual» registró un incremento de 29.3% (47,837.3 ha) y 411.5% en «Asentamientos humanos» (20,302.7 ha).

La tasa anual de deforestación bruta para el área de interés en Campeche, entre 1986 a 2018, se estimó en 6,131.1 ha/año y la tasa de deforestación neta en 3,051.6 ha/año. En este periodo la transición de tierras forestales a la categoría «Tierra

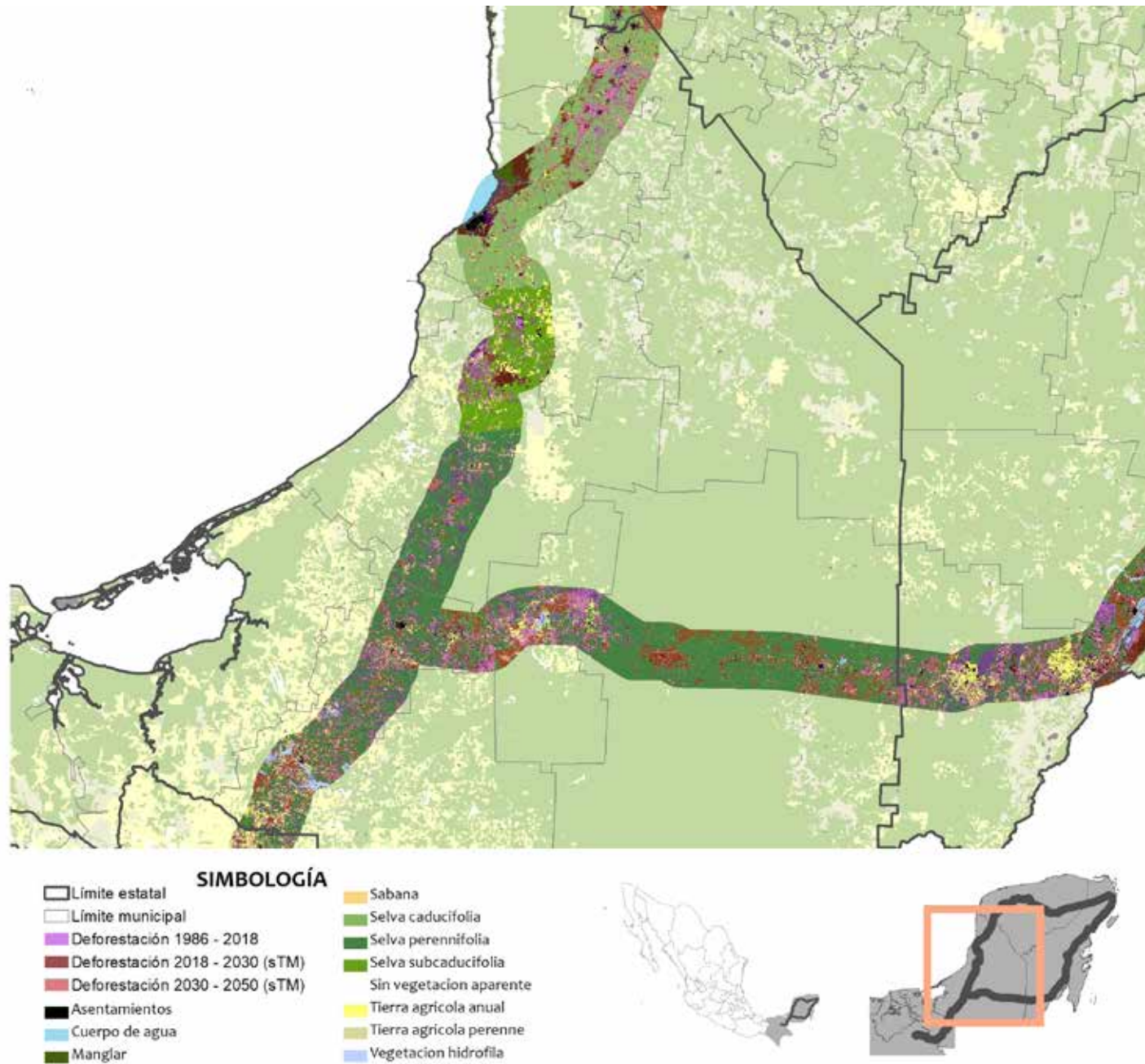
Tabla 7. Porcentaje de uso de la tierra y vegetación del área de interés en Campeche con proyecciones al 2030 y 2050.

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	1986 (%)	2018 (%)	2030 (%)	2050 (%)
Asentamientos humanos	0.5	2.6	2.1	2.5
Cuerpo de agua	1.1	1.6	1.2	1.2
Manglar	0.7	0.1	0.7	0.7
Sabana	0.1	0.1	0.1	0.0
Selva Caducifolia	23.8	10.8	16.5	16.8
Selva Perennifolia	53.8	42.5	45.3	46.1
Selva Subcaducifolia	3.2	17.3	8.1	8.1
Sin Vegetación aparente	0.2	0.4	0.0	0.0
Tierra agrícola anual	16.5	21.4	24.3	23.3
Tierra agrícola perenne	0.0	0.5	0.9	0.8
Vegetación hidrófila	0.2	1.9	0.7	0.5

Fuente: Elaboración propia.



Figura 10. Deforestación en el área de interés en Campeche entre 1986 al 2021.



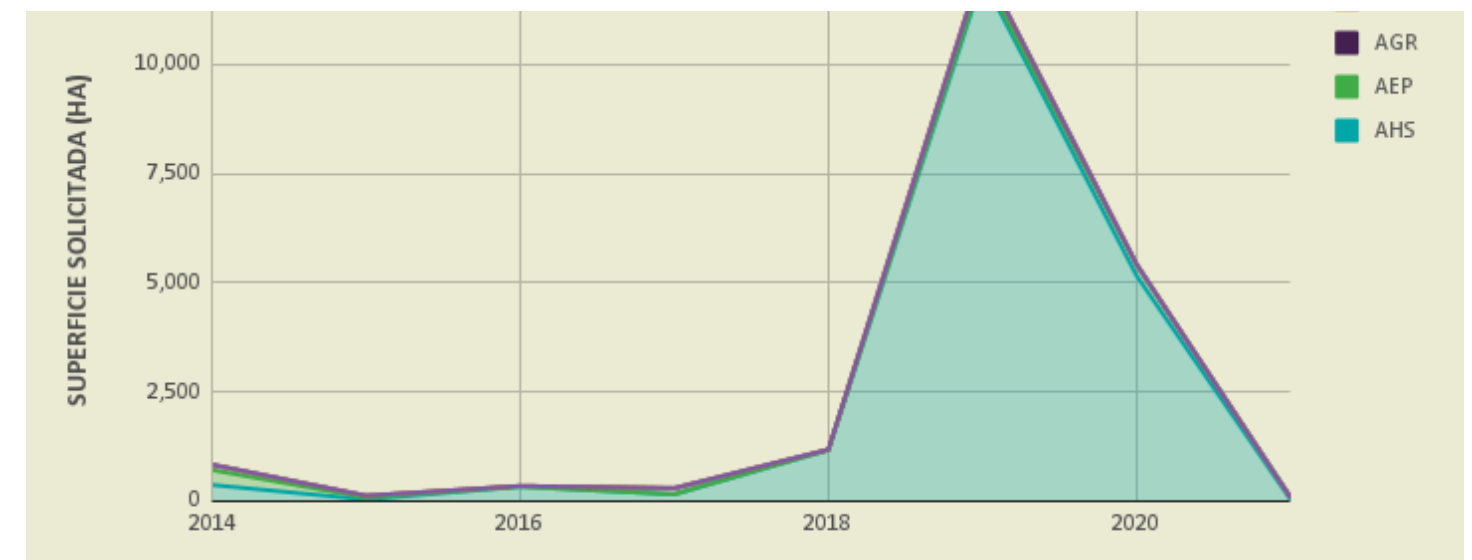
Fuente: Elaboración propia.

agrícola anual» explicó el 80.8% de la deforestación registrada y «Asentamientos humanos» el 7.4%. Con esta tendencia, se estima que para el periodo del 2018 al 2030 la tasa anual de deforestación bruta será de 10,544.9 ha/año y una tasa de deforestación neta de 690.7 ha/año. Esto se traducirá que en 2030 se registre la desaparición de las categorías «Sabana» y se proyecta una reducción de la «Selva perennifolia» en 15.7% en comparación a 1986, 83,133.1 ha menos, y un 30.5% en la «Selva caducifolia» (71,627.1 ha) . Por otro lado, en el periodo 2018 al 2030, se estima un incremento de 13.8% en la superficie dedicada a «Tierra agrícola anual» (Figura 10).

b. Manifestaciones de Impacto Ambiental

El área de interés del Tren Maya en Campeche cruza nueve municipios: Calkiní, Campeche, Champotón, Hecelchakán, Tenabo, Escárcega, Calakmul, Candelaria y Seybaplaya. Durante el período del 2014 al 2021, en la Gaceta Ecológica se identificaron 232 proyectos o actividades correspondientes a estos municipios solicitando cambios de uso de suelo ante la SEMARNAT en predios con una suma total de 20,599.2 hectáreas. Además, existen 58 solicitudes de aprovechamiento forestal, los cuales sumaron 162,977.2 hec-

Figura 11. Superficie registrada de predios con solicitud de cambio de uso de suelo en los municipios del área de interés en Campeche (2014 - 2021).



Fuente: Elaboración propia con información

táreas.

En el periodo de revisión 2014 a 2017 se estimó una demanda anual de solicitudes de cambio de uso de suelo por 402.7 ha/año, de las cuales 223.88 ha/año son para «Asentamientos humanos y servicios», seguido por «Actividades de extracción y exploración de materiales pétreos» (95.6 ha/año) y «Actividades agropecuarias» (82.6 ha/año). En el periodo de 2018 a 2021 se estimó una demanda anual de 4,747.1 ha/año, de los cuales «Asentamientos humanos y servicios» solicitó el

96.6% (Figura 11).

Si consideramos la superficie registrada en las solicitudes de autorización de cambio de uso de suelo en tierras forestales como la superficie con demanda de uso, por lo tanto, de deforestación, existe una diferencia de:

1. La demanda registrada por las solicitudes de autorización de cambio de uso de suelo en el periodo de 2014 a 2017 es 5,728.4 ha/año menor a la tasa de defo-

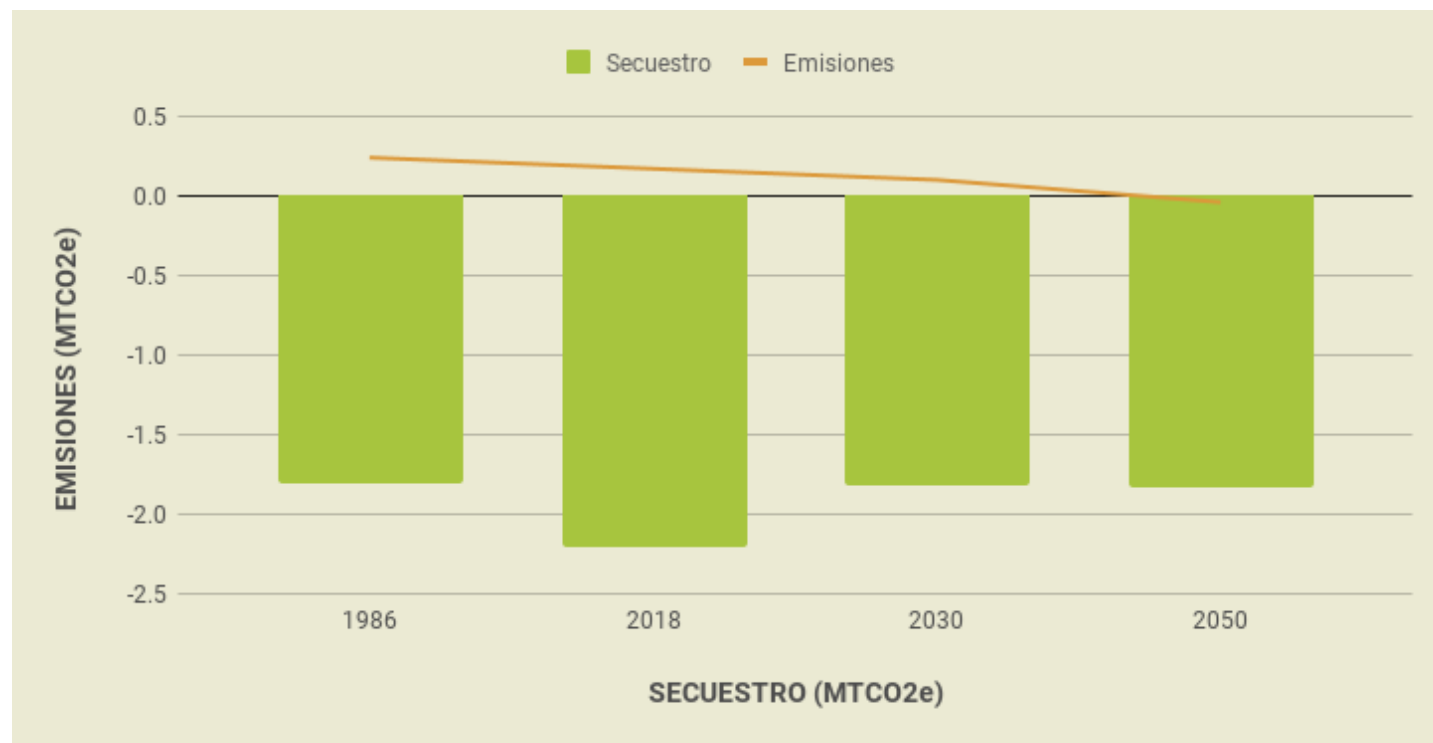
restación bruta promedio anual estimada para este periodo.

2. La demanda registrada por las solicitudes de autorización de cambio de uso de suelo en el periodo de 2018 a 2021 es 5,747.1 ha/año menor a la tasa de deforestación bruta promedio anual estimada para este periodo.

c. Emisiones por cambio en las existencias de carbono

Las emisiones anuales por cambio de uso de la tierra y vegetación para el periodo de línea base, 1986 - 2018, en el área de interés de Campeche se estimó en 0.24 ± 0.06 MtCO₂/año, lo equivalente a las emisiones de 72 mil vehículos al año. El potencial de secuestro de CO₂ por la permanencia de ecosistemas forestales, para el mismo periodo, se estimó en un promedio de 2.01 ± 0.60 MtCO₂/año. Con la tendencia de cambio de uso de la tierra y vegetación presente hasta el 2018 en el área de interés de Campeche, las emisiones anuales en 2030 pasarán a 0.10 ± 0.03 MtCO₂/año y a -0.04 ± 0.01 MtCO₂/año en el 2050. El potencial de secuestro de CO₂ por permanencia de ecosistemas forestales para el periodo 2030 - 2050 se estima en un promedio de 1.82 ± 0.01 MtCO₂/año (Figura 12).

Figura 12. Potencial de secuestro y emisiones por cambio de uso de la tierra y vegetación en el área de interés en Campeche.



Fuente: Elaboración propia.





I. QUINTANA ROO

a. Deforestación y cambios de cobertura

El área de interés en Quintana Roo comprende una superficie de 888,768.50 hectáreas, lo que representa el 30.9% de la superficie total del área analizada para el Tren Maya. En la Tabla 8 se presentan los porcentajes anuales que registraron las diferentes categorías de uso de la tierra y vegetación utilizados en este análisis. La «Selva perennifolia» registró el 73.0% de la cobertura en el área de interés en Quintana Roo, sin embargo, entre 1986 y 2018, perdió 9.3% (69,079.4 ha). De los usos de la tierra antropogénicos

«Tierra agrícola anual» registró un incremento de 6,895.3 ha y «Asentamientos humanos» 29,241.1 ha.

La tasa anual de deforestación bruta para el área de interés en Quintana Roo, entre 1986 a 2018, se estimó en 3,593.6 ha/año y la tasa de deforestación neta en 1,906.4 ha/año. En este periodo la transición de tierras forestales a la categoría «Tierra agrícola anual» explicó el 32.0% de la deforestación registrada y «Asentamientos humanos» el 23.5%. Con esta tendencia, se estima que para el periodo del 2018 al 2030 la tasa anual de deforestación bruta será de 8,245.6 ha/año y una tasa de deforestación neta de 3,430.3 ha/año.

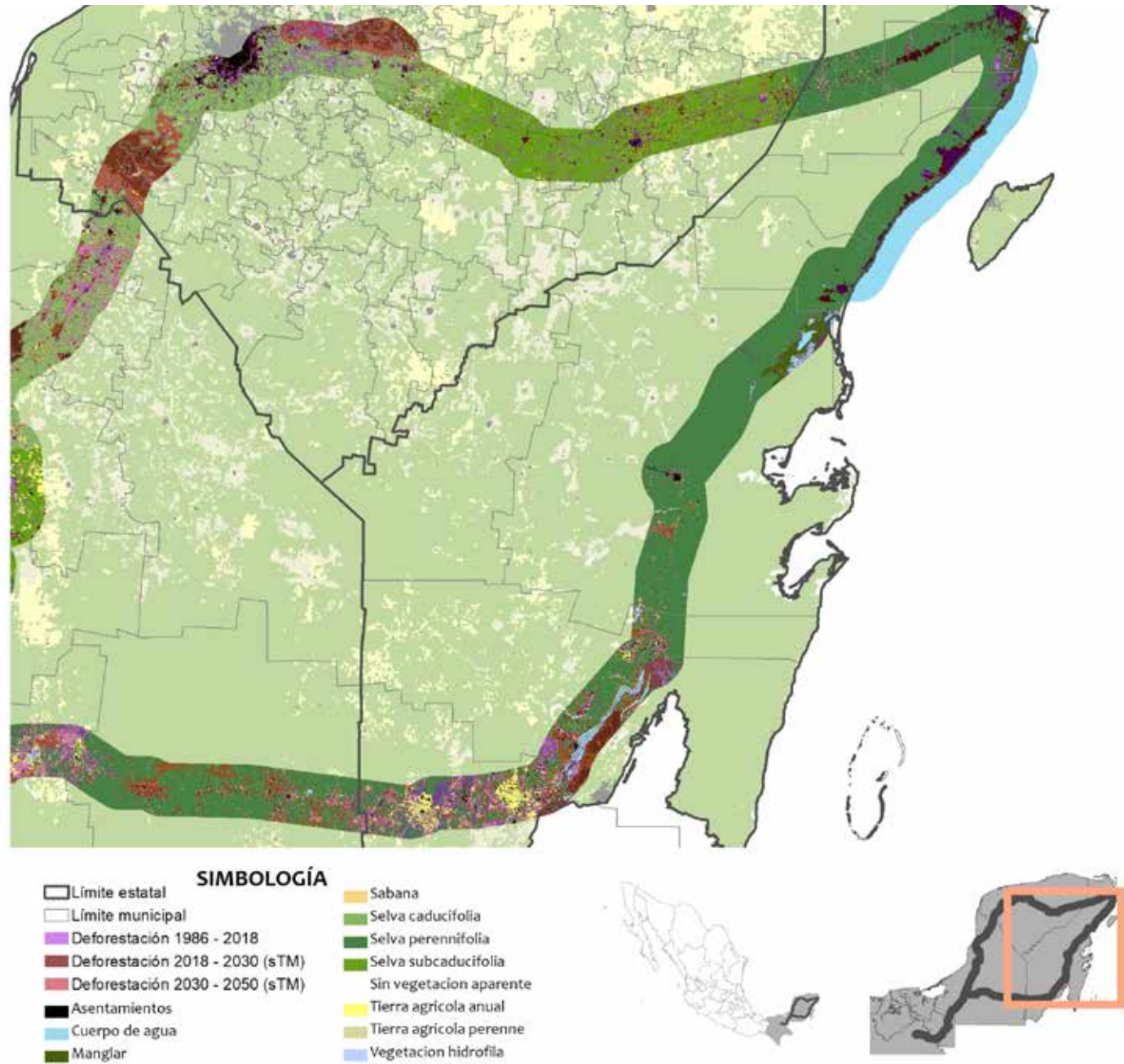
Tabla 8. Porcentaje de uso de la tierra y vegetación del área de interés en Quintana Roo con proyecciones al 2030 y 2050.

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	1986 (%)	2018 (%)	2030 (%)	2050 (%)
Asentamientos humanos	0.6	3.6	4.9	4.9
Cuerpo de agua	11.7	12.1	12.2	12.2
Manglar	2.9	3.4	3.2	3.2
Selva Caducifolia	0.0	0.4	0.0	0.1
Selva Perennifolia	76.0	68.9	63.3	67.7
Selva Subcaducifolia	0.3	0.2	2.2	0.1
Sin Vegetación aparente	0.2	2.1	0.3	0.0
Tierra agrícola anual	5.7	5.0	12.5	10.5
Tierra agrícola perenne	1.3	0.1	0.0	0.0
Vegetación hidrófila	1.3	4.2	1.3	1.2

Fuente: Elaboración propia.



Figura 13. Deforestación en el área de interés en Quintana Roo entre 1986 al 2050.



Fuente: Elaboración propia.

Esto se traducirá en que en 2030 se registre la desaparición de las categorías «Selva caducifolia» y se proyecta una reducción de la «Selva perennifolia» en 124,672.2 ha (16.7%) en comparación a 1986. Por otro lado, en el periodo 2018 al 2030, se estima un incremento de 35.9% y 150.0% en la superficie dedicada a «Asentamientos humanos» y «Tierra agrícola anual», respectivamente (Figura 13).

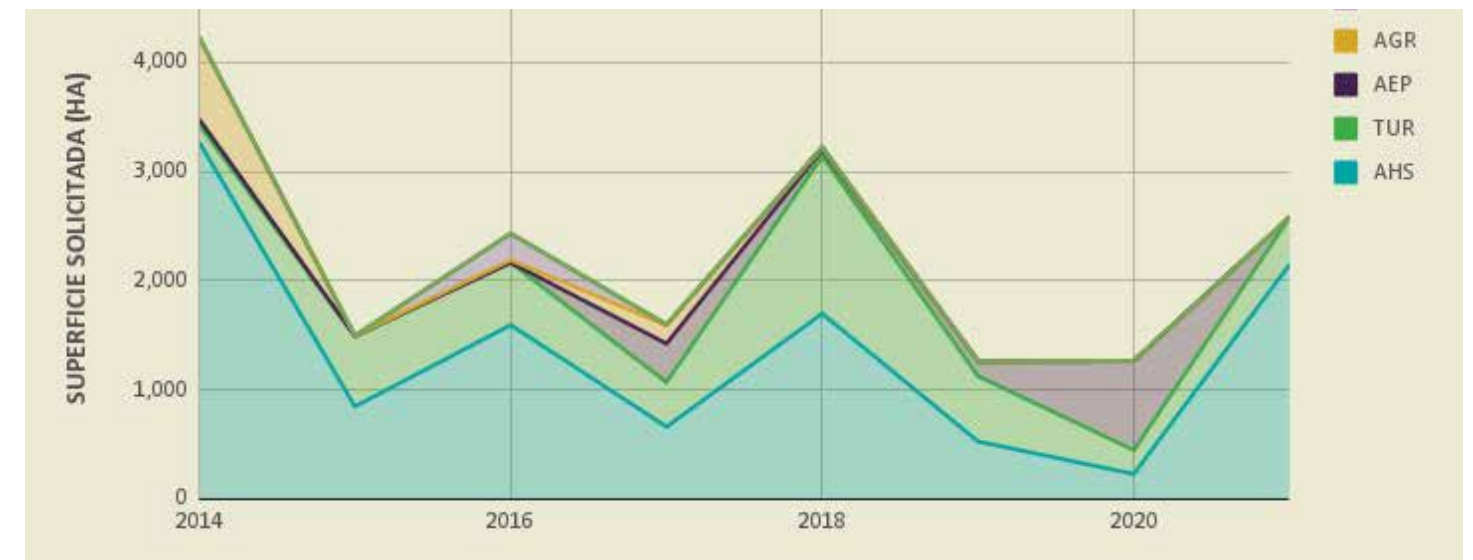
b. Manifestaciones de Impacto Ambiental

El área de interés del Tren Maya en Quintana Roo cruza ocho municipios: Bacalar, Benito Juárez, Felipe

Carrillo Puerto, Lázaro Cárdenas, Othón P. Blanco, Puerto Morelos, Solidaridad y Tulum. Durante el periodo del 2014 al 2021, en la Gaceta Ecológica se identificaron 1,049 proyectos o actividades correspondientes a estos municipios solicitando cambios de uso de suelo ante la SEMARNAT en predios con una suma total de 17,838.99 ha. Además, existen 152 solicitudes de «Aprovechamiento forestal», los cuales sumaron 312,867.17 ha y 259.95 ha de «Conservación ecológica»

En el periodo de revisión 2014 a 2017 se estimó una demanda anual de solicitudes de cambio de uso de suelo por 2,377.7 ha/año, de las cuales 1,594.3 ha/año son para «Asen-

Figura 14. Superficie registrada de predios con solicitud de cambio de uso de suelo en los municipios del área de interés en Quintana Roo (2014 - 2021).



Fuente: Elaboración propia con información

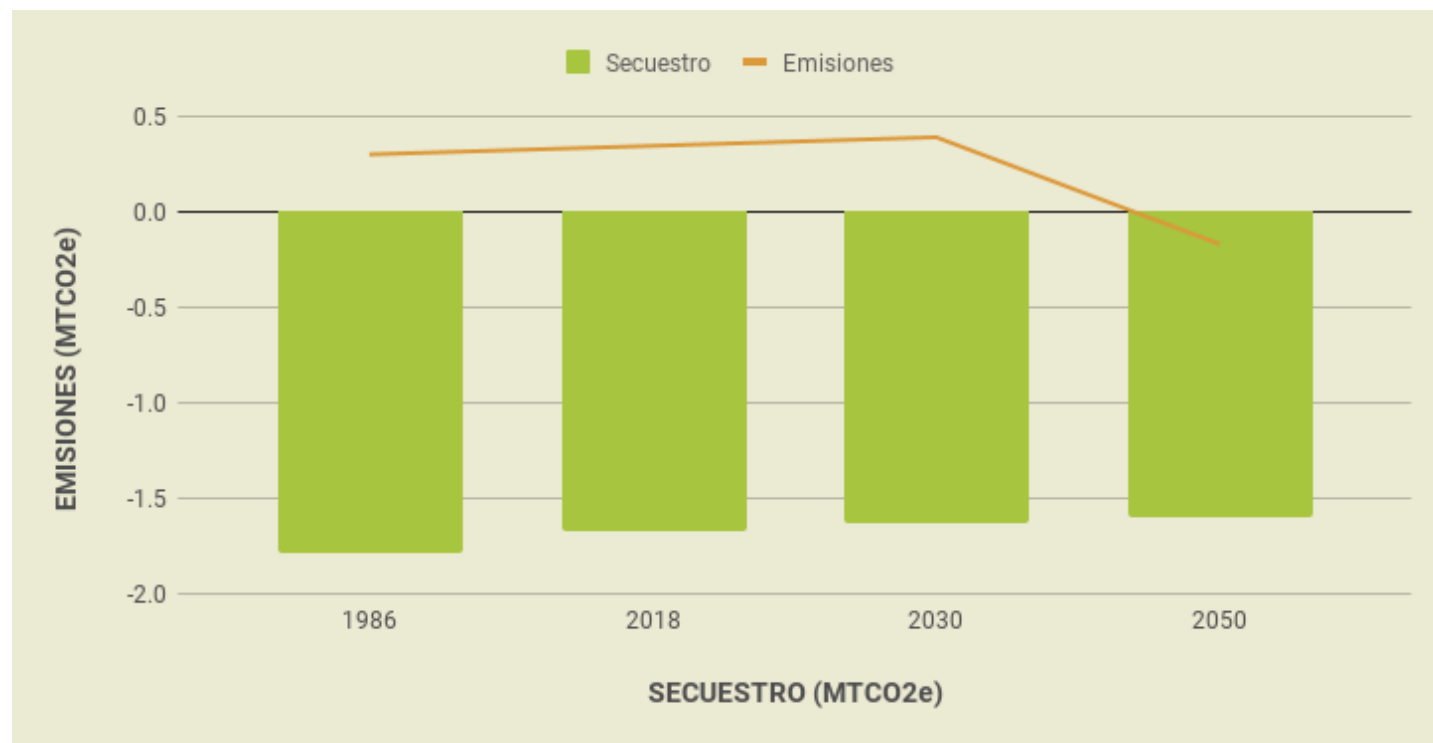
tamientos humanos y servicios», seguido por «Actividades turísticas» (446.2 ha/año). En el periodo de 2018 a 2021 se estimó una demanda anual de 2,082.1 ha/año, de los cuales «Asentamientos humanos y servicios» solicitó el 55.3% y «Actividades turísticas» el 32.3% (671.89 ha/año) (Figura 14).

Si consideramos la superficie registrada en las solicitudes de autorización de cambio de uso de suelo en tierras forestales como la superficie con demanda de uso, por lo tanto, de deforestación, existe una diferencia

de:

1. La demanda registrada por las solicitudes de autorización de cambio de uso de suelo en el periodo de 2014 a 2017 es 879.9 ha/año menor a la tasa de deforestación bruta promedio anual estimada para este periodo.
2. La demanda registrada por las solicitudes de autorización de cambio de uso de suelo en el periodo de 2018 a 2021 es 6,163.5 ha/año menor a la tasa de deforestación bruta promedio anual

Figura 15. Potencial de secuestro y emisiones por cambio de uso de suelo y vegetación en el área de interés en Quintana Roo.



Fuente: Elaboración propia.

estimada para este periodo.

b. Emisiones por cambio en las existencias de carbono

Las emisiones anuales por cambio de uso de la tierra y vegetación para el periodo de línea base, 1986 - 2018, en el área de interés de Quintana Roo se estimó en 0.30 ± 0.10 MtCO₂/año, lo equivalente a las emisiones de 90.6 mil vehículos al año. El potencial de secuestro de CO₂ por la permanencia de ecosistemas forestales, para el mismo periodo, se estimó en un promedio de 1.73 ± 0.52 MtCO₂/año. Con la tendencia de cambio de uso de la tierra y vegetación presente hasta el 2018 en el área de interés de Quintana Roo, las emisiones anuales en 2030 pasarán a 0.39 ± 0.12 MtCO₂/año y a -0.17 ± 0.05 MtCO₂/año en el 2050. El potencial de secuestro de CO₂ por permanencia de ecosistemas forestales para el periodo 2030 - 2050 se estima en un promedio de 1.62 ± 0.02 MtCO₂/año (Figura 15).



I. YUCATÁN

a. Deforestación y cambios de cobertura

El área de interés en Yucatán comprende una superficie de 610,049.25 hectáreas, lo que representa el 21.3% de la superficie total del área analizada para el Tren Maya. En la Tabla 9 se presentan los porcentajes anuales que registraron las diferentes categorías de uso de la tierra y vegetación utilizados en este análisis. La «Selva caducifolia» registró el 42.3% de la cobertura en el área de interés en Yucatán y la «Selva subcaducifolia» el 39.9%. Sin embargo,

«Selva caducifolia» perdió 48,155.9 ha en el periodo 1986 - 2018. De los usos de la tierra antropogénicos «Asentamientos humanos» tuvo un crecimiento de 7,997.0 ha en el mismo periodo y «Tierra agrícola anual» registró una reducción de su superficie de 54,937.3 (52.9%).

La tasa anual de deforestación bruta para el área de interés en Yucatán, entre 1986 a 2018, se estimó en 2,151.8 ha/año y la tasa de deforestación neta en -512.8 ha/año. En este periodo la transición de tierras forestales a la categoría «Tierra agrícola anual» explicó el 54.3% y «Tierra agrícola perenne» el 31.2%. Con

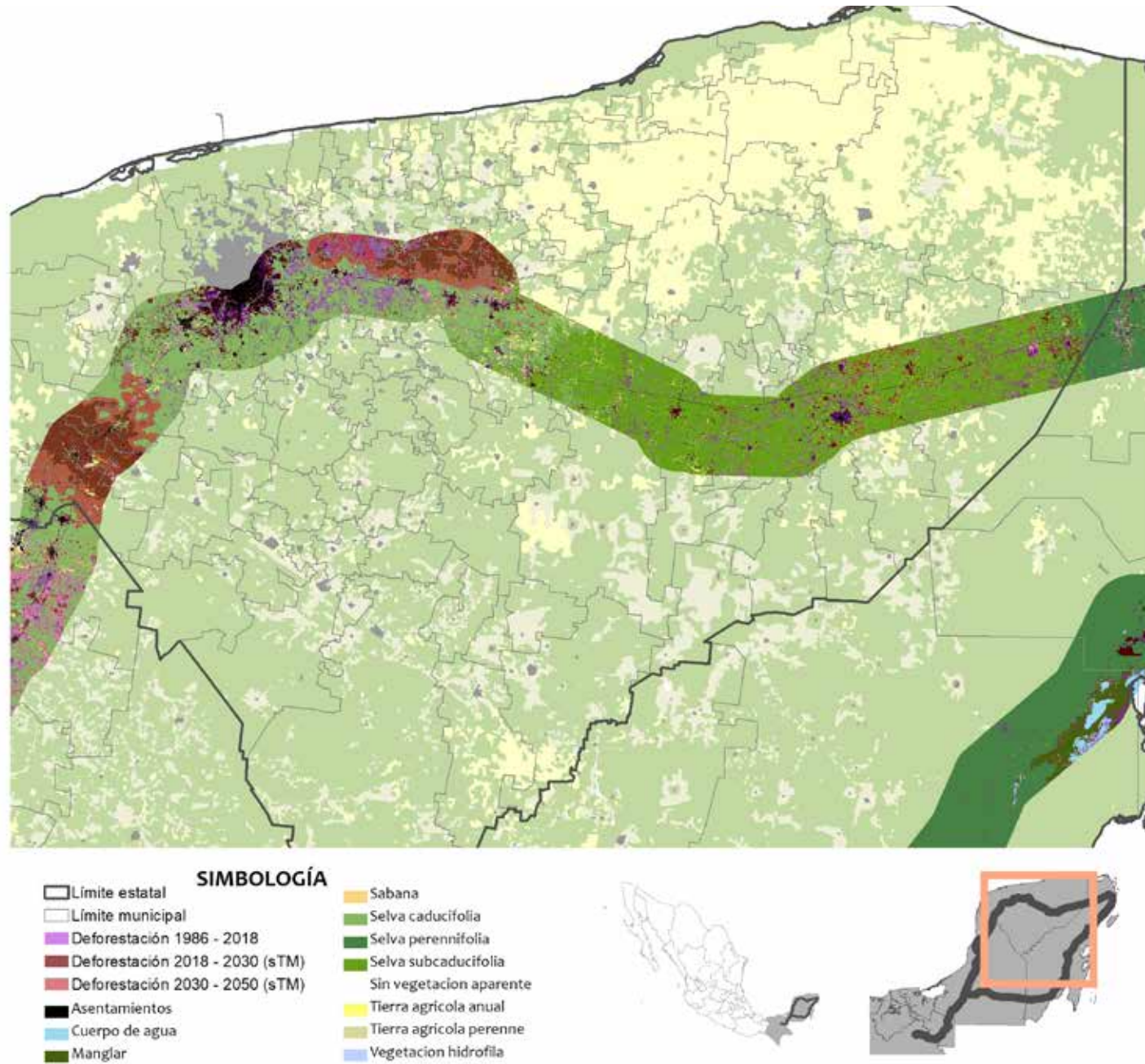
Tabla 9. Uso de suelo y vegetación del área de interés en Yucatán de los tres periodos analizados.

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	1986 (%)	2018 (%)	2030 (%)	2050 (%)
Asentamientos humanos	1.6	2.9	6.2	6.6
Cuerpo de agua	0.1	0.0	0.0	0.0
Manglar	0.0	0.0	0.0	0.0
Selva Caducifolia	37.9	30.0	36.1	30.9
Selva Perennifolia	10.7	20.2	0.0	2.0
Selva Subcaducifolia	31.9	32.9	42.6	41.0
Sin Vegetación aparente	0.8	0.0	1.9	0.0
Tierra agrícola anual	17.0	8.0	12.5	19.5
Tierra agrícola perenne	0.0	5.2	0.7	0.0
Vegetación hidrófila	0.0	0.6	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia.



Figura 16. Deforestación en el área de interés en Yucatán entre 1986 al 2050.



Fuente: Elaboración propia.

esta tendencia, se estima que para el periodo del 2018 al 2030 la tasa anual de deforestación bruta será de 7,438.4 ha/año y una tasa de deforestación neta de 2,304.2 ha/año. Esto se traducirá que en el 2030 se presente la reducción del 99.8% de la categoría de «Selva perennifolia» y el incremento de la «Selva subcaducifolia» en 33.5% (65,203.3 ha) en comparación a 1986. Por otro lado, en el periodo 2018 al 2030, se estima un incremento de 113.6% y 56.0% en la superficie dedicada a «Asentamientos humanos» y «Tierra agrícola anual», respectivamente (Figura 16).

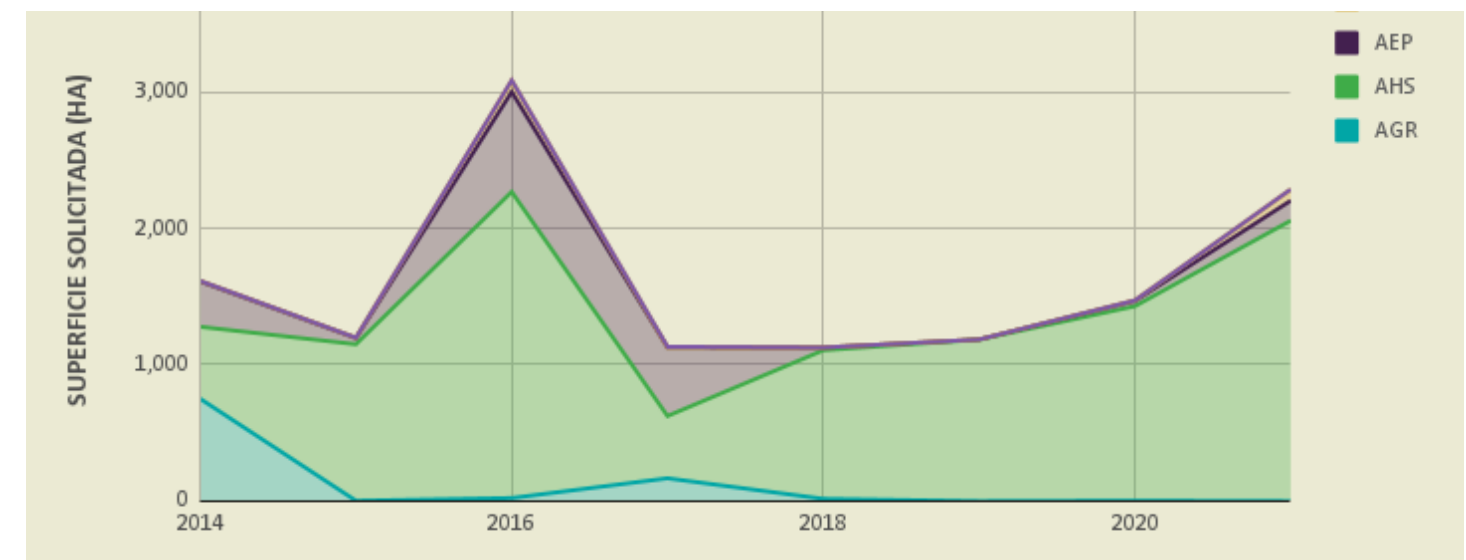
b. Manifestaciones de Impacto

Ambiental

El área de interés del Tren Maya en Yucatán cruza 47 municipios. Durante el período del 2014 al 2021, en la Gaceta Ecológica se identificaron 251 proyectos o actividades correspondientes a estos municipios solicitando cambios de uso de suelo ante la SEMARNAT en predios con una suma total de 35,772.6 hectáreas. Además, existen 9 solicitudes de «Aprovechamiento forestal», las cuales sumaron 5,878.4 hectáreas.

En el periodo de revisión 2014 a 2017 se estimó una demanda anual de solicitudes de cambio de uso de suelo por 5,125.4 ha/año, de las cuales 3,604.4 ha/año son para «Activi-

Figura 17. Superficie registrada de predios con solicitud de cambio de uso de suelo en los municipios del área de interés en Yucatán (2014 - 2021).



Fuente: Elaboración propia con información de la Gaceta Ecológica.

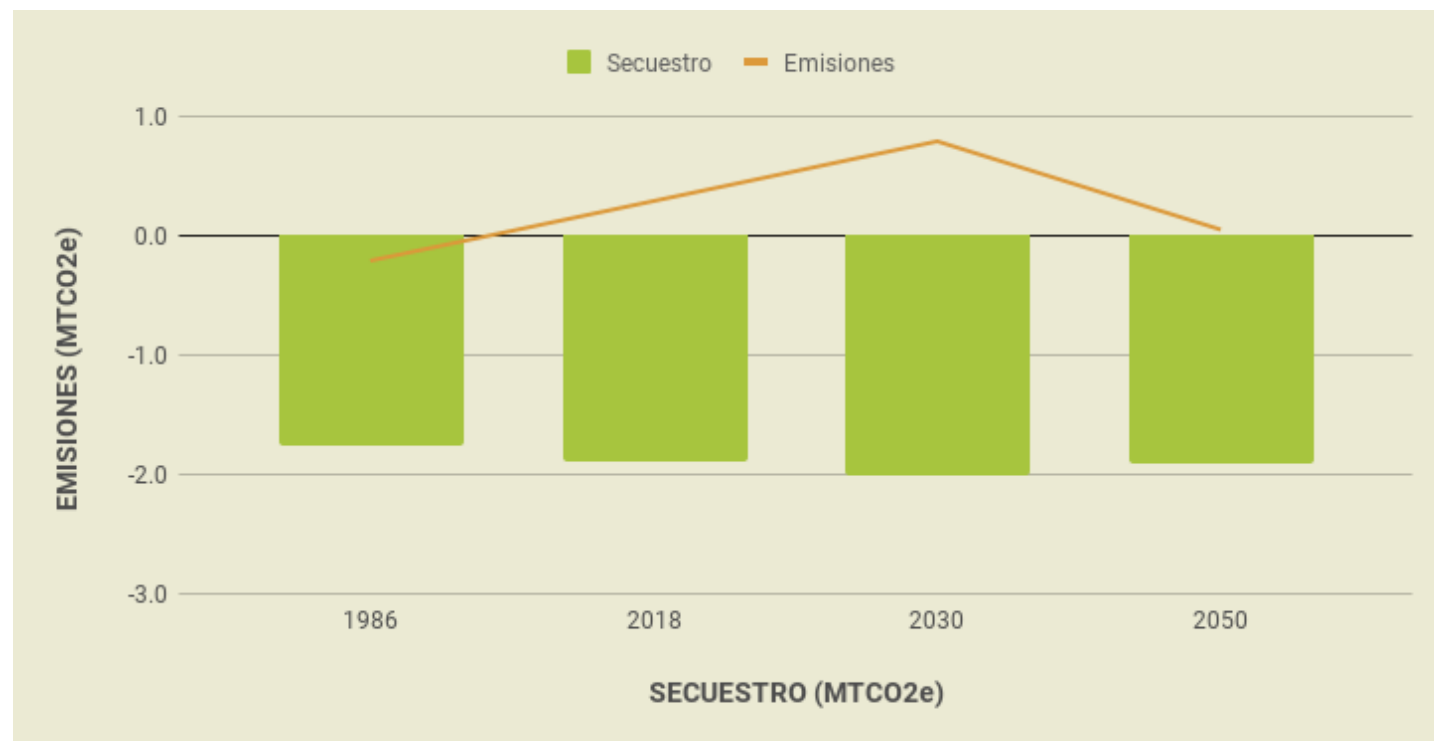
dades agropecuarias», seguido por «Asentamientos humanos y servicios» (1,093.4 ha/año). En el periodo de 2018 a 2021 se estimó una demanda anual de 2,082.1 ha/año, de los cuales «Asentamientos humanos y servicios» solicitó el 55.3% y «Actividades turísticas» el 32.3% (671.9 ha/año) (Figura 17).

Si consideramos la superficie registrada en las solicitudes de autorización de cambio de uso de suelo en tierras forestales como la superficie con demanda de uso, por lo tanto, de deforestación, existe una diferencia

de:

1. La demanda registrada por las solicitudes de autorización de cambio de uso de suelo en el periodo de 2014 a 2017 es 2,864.1 ha/año mayor a la tasa de deforestación bruta promedio anual estimada para este periodo.
2. La demanda registrada por las solicitudes de autorización de cambio de uso de suelo en el periodo de 2018 a 2021 es 5,356.4 ha/año menor a la tasa de deforestación bruta promedio anual

Figura 18. Potencial de secuestro y emisiones por cambio de uso de la tierra y vegetación en el área de interés en Yucatán.



Fuente: Elaboración propia.

estimada para este periodo.

c. Emisiones por cambio en las existencias de carbono

Las emisiones anuales por cambio de uso de la tierra y vegetación para el periodo de línea base, 1986 - 2018, en el área de interés de Yucatán se estimó en -0.21 ± 0.09 MtCO₂/año, es decir, hay mayor ganancia en biomasa viva por la revegetación de lo que se emite por deforestación o degradación. El potencial de secuestro de CO₂ por la permanencia de ecosistemas forestales, para el mismo periodo, se estimó en un promedio de 1.83 ± 0.55 MtCO₂/año. Con la tendencia de cambio de uso de la tierra y vegetación presente hasta el 2018 en el área de interés de Yucatán, las emisiones anuales en 2030 pasarán a 0.79 ± 0.24 MtCO₂/año y a 0.05 ± 0.02 MtCO₂/año en el 2050. El potencial de secuestro de CO₂ por permanencia de ecosistemas forestales para el periodo 2030 - 2050 se estima en un promedio de 1.96 ± 0.07 MtCO₂/año (Figura 18).



CHIAPAS

I. CHIAPAS

a. Cambio de uso de la tierra y vegetación

Con la consolidación del Tren Maya, en el área de interés en Chiapas se estima que para el periodo 2018-2030 la tasa de deforestación bruta aumente 15.7%, es decir de 2,290.8 en el paisaje sin Tren Maya a 2,651.8 ha/año. Sin embargo, el incremento para la tasa de deforestación neta se proyecta en un 144.8%, de 1,083.47 a 2,651.8 ha/año. Lo anterior debido a que en el paisaje con Tren Maya dejan de registrarse ganancias por nuevos establecimientos de tierras forestales y, además de la tierra forestal «Sabana», la categoría «Selva perennifolia» deja de registrarse.

En comparación con el paisaje sin Tren Maya, para el periodo 2018 - 2030 el incremento de la superficie de las categorías «Asentamientos humanos» y «Tierra agrícola anual», en el paisaje con Tren Maya, es 38.7% y 91.3% mayor; la transición de tierras forestales a «Tierra agrícola anual» explica el 97.4% de la deforestación. La pérdida anual de la superficie con «Selva perennifolia» pasa de 1,083.2 a 2,651.2 ha/año. Al 2050 el 96.5% del paisaje de Chiapas en el área de interés es dedicado a «Tierra agrícola anual» y el 3.4% a «Asentamientos humanos» (Tabla 10).

Tabla 10. Porcentaje de uso de la tierra y vegetación del área de interés en Chiapas con proyecciones al 2030 y 2050 con influencia del Tren Maya.

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	1986 (%)	2018 (%)	2030 (%)	2050 (%)
Asentamientos humanos	0.2	0.7	3.1	3.4
Cuerpo de agua	0.1	0.2	0.1	0.1
Sabana	3.2	1.3	0.0	0.0
Selva Perennifolia	22.5	28.5	0.0	0.0
Tierra agrícola anual	74.1	62.9	96.7	96.5
Tierra agrícola perenne	0.0	6.2	0.0	0.0
Vegetación hidrófila	0.0	0.3	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia.

b. Consideraciones para detener la deforestación

Las proyecciones de cambio de uso de la tierra y vegetación al 2030 y 2050 estiman que la deforestación en Chiapas se concentrará en dos zonas del área de interés: al sur de la ciudad de Palenque y en la frontera con el estado de Tabasco, ya que en estas dos zonas se encuentran los dos principales remanentes de «Selva perennifolia». En el territorio restante la deforestación se registrará de manera fragmentada.

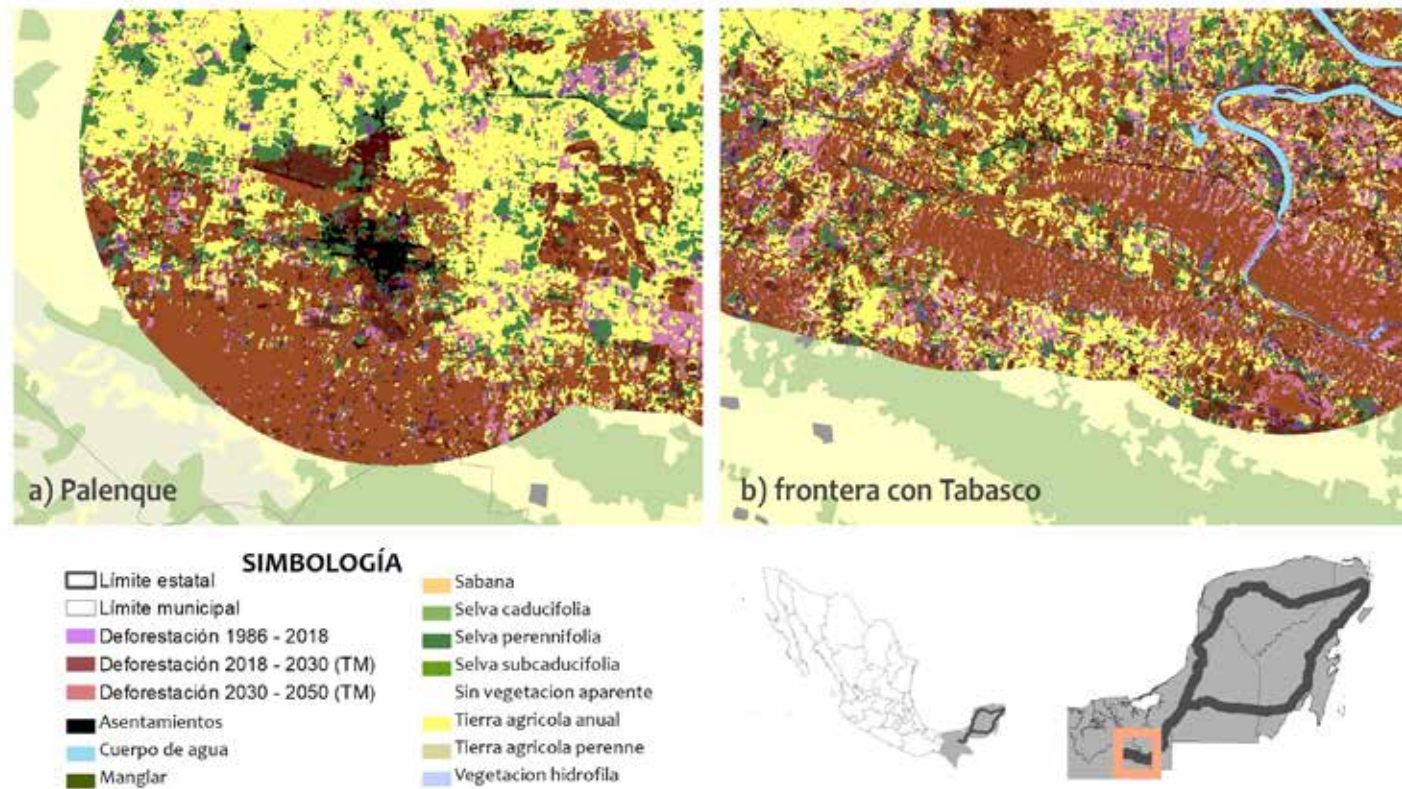
La desaparición de la categoría «Selva perennifolia» en el área de interés provocará que el potencial de secuestro por permanencia de las tierras forestales llegue a un promedio cercano a 0.0 MtCO₂/año, donde «Tierra agrícola anual» es la única

categoría que contribuye al secuestro. De la misma manera, la estimación de las emisiones por cambio de contenido de carbono será de 0.0 MtCO₂/año al 2050, debido a que no existe cobertura forestal y no se registran procesos de revegetación en el área de interés (Figura 20).

Con las tendencias por la consolidación del Tren Maya en el área de interés, reconociendo las principales actividades económicas y siendo la transición de tierras forestales a «Tierra agrícola anual» la más frecuente, algunas medidas para prevenir la deforestación en Chiapas son:

i. Incrementar la superficie de tierras forestales y plantaciones bajo manejo sostenible en tierras degradadas.

Figura 19. Zonas de deforestación en el área de interés de Chiapas con influencia del Tren Maya.

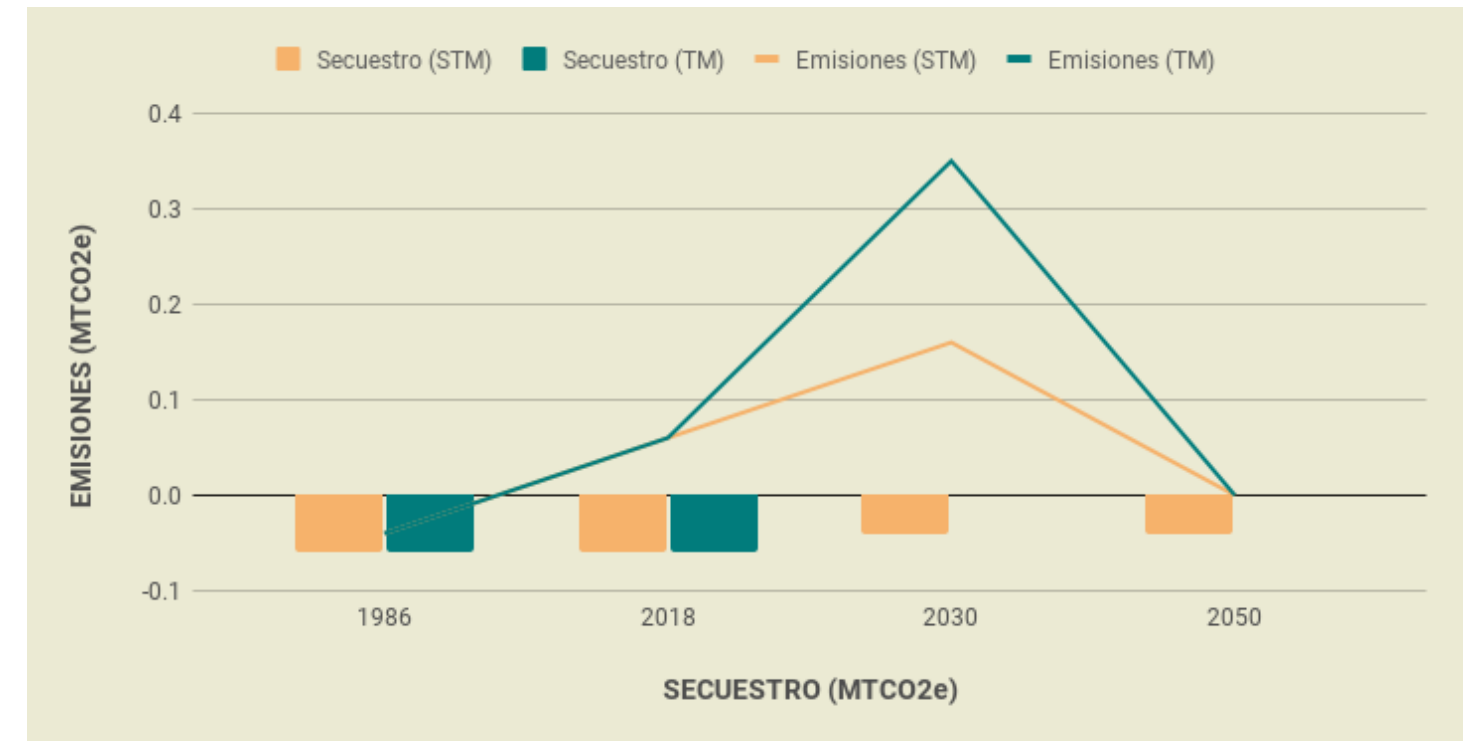


Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el análisis de cambio de uso de la tierra y vegetación, la meta estatal de esta medida podría establecerse en 11,176.6 hectáreas en el área de interés para el periodo de 2018 a 2030, la cual contempla la superficie de «Selva perennifolia» que cambió a «Tierra agrícola anual» en el periodo de 1986 a 2018. La producción de madera en las plantaciones de restauración podría compensar potencialmente los costos de oportunidad de

la menor disponibilidad de las tierras ganaderas y podría desempeñar un papel fundamental en la intensificación de los esfuerzos tendientes a la restauración de paisajes tropicales (Brancaion et al., 2012). Sin embargo, para evitar los impactos negativos que genera la homogeneidad en el paisaje forestal, una parte importante de la restauración mediante plantaciones forestales debe tener como objetivo la diversificación de especies vegetales presentes en las plantaciones (Vilagrosa et al., 1997).

Figura 20. Potencial de secuestro y emisiones por cambio de uso de la tierra y vegetación en el área de interés en Chiapas con influencia del Tren Maya.



Fuente: Elaboración propia.

TM: con Tren Maya; STM: sin Tren Maya

ii. Incrementar la superficie bajo agricultura de conservación.

De acuerdo con el análisis de cambio de uso de la tierra y vegetación, la meta estatal de esta medida podría establecerse en 3,125.2 hectáreas en el área de interés para el periodo de 2018 a 2030, la cual contempla la producción estimada que demanda el incremento de la superficie de «Tierra agrícola anual» dedicada a actividades agrícolas en ese periodo. La agricultura de conservación facilita los procesos de producción

e incrementa el rendimiento de los cultivos, fomentando el abandono de tierras dedicadas a la actividad agrícola y evitando su desplazamiento. La agricultura de conservación tiene tres pilares: 1) la diversificación de cultivos, que permite una mejor distribución de los nutrientes en el suelo y el control de la producción de residuos; 2) el movimiento mínimo del suelo o labranza mínima, que aumenta su fertilidad e impide la erosión, y; 3) la cobertura permanente del suelo, que aumenta la infiltración de agua, disminuye la erosión ocasionada por agua y viento,

estimula la actividad biológica de la materia orgánica del suelo y además se refleja en la reducción de quemas de los residuos de los cultivos resultantes después de la cosecha (Donovan, 2020; SADER, 2019).

iii. Incrementar la superficie bajo sistemas agroforestales

De acuerdo con el análisis de cambio de uso de la tierra y vegetación, la meta estatal de esta medida podría establecerse en 3,125.2 hectáreas en el área de interés para el periodo de 2018 a 2030, la cual contempla la producción estimada que demanda el incremento de la superficie de «Tierra agrícola anual» dedicada a actividades agrícolas en ese periodo. Los sistemas convencionales de producción agrícola enfrentan los retos de producir alimentos suficientes y nutritivos de manera equitativa para una población en continuo crecimiento, al tiempo que detienen la pérdida de biodiversidad, la degradación de la tierra y el agotamiento del agua dulce asociada a la producción agrícola (FAO, 2021). Los sistemas agroforestales integran diversidad silvestre o forestal en coexistencia con cultivos y animales domésticos en formas de manejo de la tierra predominantemente agrícolas (Moreno et al., 2021). La transición a estos sistemas genera en promedio 2.2 veces

mayores beneficios que las prácticas convencionales (FAO, 2019).

iv. Incrementar la superficie bajo sistemas silvopastoriles.

De acuerdo con el análisis de cambio de uso de la tierra y vegetación, la meta estatal de esta medida podría establecerse en 2,301.8 hectáreas en el área de interés para el periodo de 2018 a 2030, la cual contempla la producción estimada que demanda el incremento de la superficie de «Tierra agrícola anual» dedicada a actividades pecuarias en ese periodo. Aumentar la productividad de la ganadería extensiva y con ello reducir las áreas utilizadas por el ganado es necesario para la recuperación de suelos y cobertura forestal de agostaderos, pastizales nativos, bosques y selvas. Los sistemas silvopastoriles son sistemas complejos y dinámicos, los cuales consisten en una serie de técnicas que son aplicables en función de una serie de características de suelo y vegetación de la región y localidad. Estos sistemas de producción al integrar especies leñosas forrajeras con beneficios en la alimentación de bovinos en comparación con gramíneas tropicales en monocultivo logran duplicar la capacidad de carga de los agostaderos, reduciendo la superficie necesaria para la producción animal (González, 2013).

v. Incrementar la superficie con mejores prácticas de pastoreo.

De acuerdo con el análisis de cambio de uso de la tierra y vegetación, la meta estatal de esta medida podría establecerse en 14,271.3 hectáreas en el área de interés para el periodo de 2018 a 2030, la cual contempla la producción estimada que demanda el incremento de la superficie de «Tierra agrícola anual» dedicada a actividades pecuarias en ese periodo. En los sistemas de producción extensivos el principal recurso para la alimentación del ganado es el forraje, sin embargo, el pastoreo continuo y excesivo ocasiona una serie de pérdidas ambientales y socioeconómicas. La intensificación del pastoreo, con prácticas que ajusten la presión y presencia del ganado, resulta en una mayor ganancia diaria de peso en becerros para carne y aumento en la producción de leche en las vacas. Entre las técnicas más comunes se encuentra la rotación del pastoreo, fertilización y manejo de nutrientes, introducción de especies (p. ej. leguminosas) e inoculación de plantas y movilidad mejorada de animales.

T A B A S C O

II. TABASCO

a. Cambio de uso de la tierra y vegetación

Con la consolidación del Tren Maya, en el área de interés en Tabasco se estima que para el periodo 2018-2030 la tasa de deforestación bruta aumente 27.3%, es decir de 4,447.2 en el paisaje sin Tren Maya a 5,659.6 ha/año. Sin embargo, el incremento para la tasa de deforestación neta se proyecta de un 97.3%, de 2,553.6 a 5,038.8 ha/año. Lo anterior debido a que en el paisaje con Tren Maya se reducen las ganancias registradas por nuevos establecimientos de tierras forestales.

En comparación con el paisaje sin Tren Maya, para el periodo 2018 - 2030 la categoría «Asentamientos humanos», en el paisaje con Tren Maya, tiene una ganancia mayor de 2,468.7 ha y el incremento en la superficie de «Tierra agrícola anual» es 73.3% mayor; la transición de tierras forestales a «Tierra agrícola anual» explica el 95.9% de la deforestación. La pérdida anual de la superficie con «Selva perennifolia» pasa de 2,551.5 a 5,038.3 ha/año. Al 2050 el 83.6% del paisaje de Tabasco en el área de interés es dedicado a «Tierra agrícola anual» y el 8.5% mantiene remanentes de «Selva perennifolia» (Tabla 11).

Tabla 11. Porcentaje de uso de la tierra y vegetación del área de interés en Tabasco con proyecciones al 2030 y 2050 con influencia del Tren Maya.

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	1986 (%)	2018 (%)	2030 (%)	2050 (%)
Asentamientos humanos	0.3	0.7	2.1	2.5
Cuerpo de agua	1.9	2.9	2.3	2.3
Manglar	0.3	0.0	0.0	0.0
Selva Perennifolia	41.3	45.1	11.1	8.5
Tierra agrícola anual	56.3	44.9	81.2	83.6
Tierra agrícola perenne	0.0	0.9	0.0	0.0
Vegetación hidrófila	0.0	5.6	3.2	3.2

Fuente: Elaboración propia.

b. Consideraciones para detener la deforestación

Las proyecciones de cambio de uso de la tierra y vegetación al 2030 y 2050 estiman que la deforestación en Tabasco se concentrará en una zona del área de interés: Tenosique - El Triunfo, ya que en esta zona se encuentran los principales remanentes de la «Selva perennifolia». En el territorio restante la deforestación se registrará de manera fragmentada (Figura 21).

La desaparición de la categoría «Selva perennifolia» en el área de interés provocará que el potencial de secuestro por permanencia de las tierras forestales llegue a un promedio cercano a 0.4 MtCO₂/año, donde los remanentes de «Selva perennifolia» son quienes contribuyen al secues-

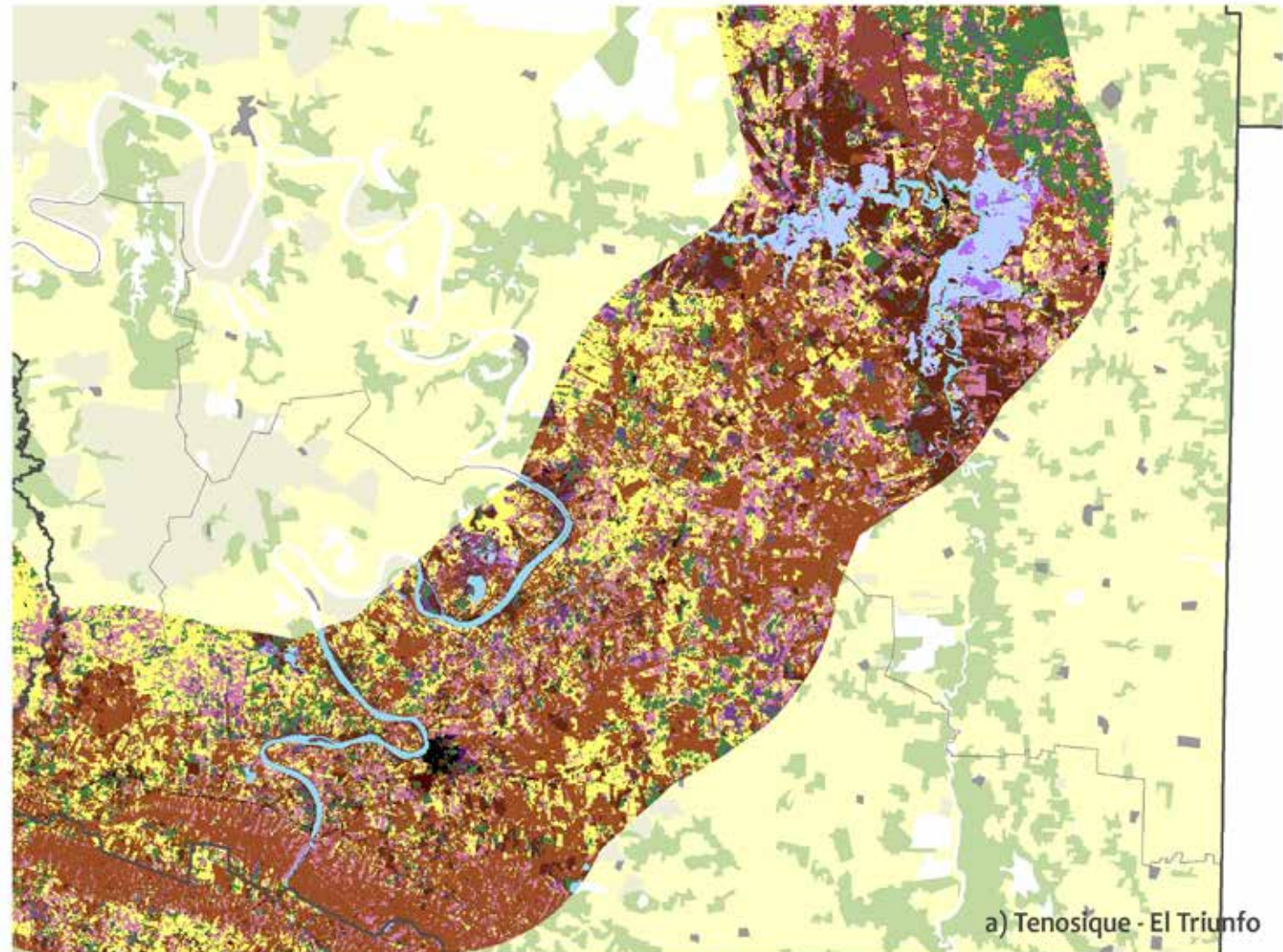
tro. La estimación de las emisiones por cambio de contenido de carbono será de 0.01 MtCO₂/año al 2050, debido a la continua tasa de cambio de «Selva perennifolia» a «Tierra agrícola anual» (Figura 22).

Con las tendencias por la consolidación del Tren Maya en el área de interés, reconociendo las principales actividades económicas y siendo la transición de tierras forestales a «Tierra agrícola anual» la más frecuente, algunas medidas para prevenir la deforestación en Tabasco son:

i. Incrementar la superficie de tierras forestales y plantaciones bajo manejo sostenible en tierras degradadas.

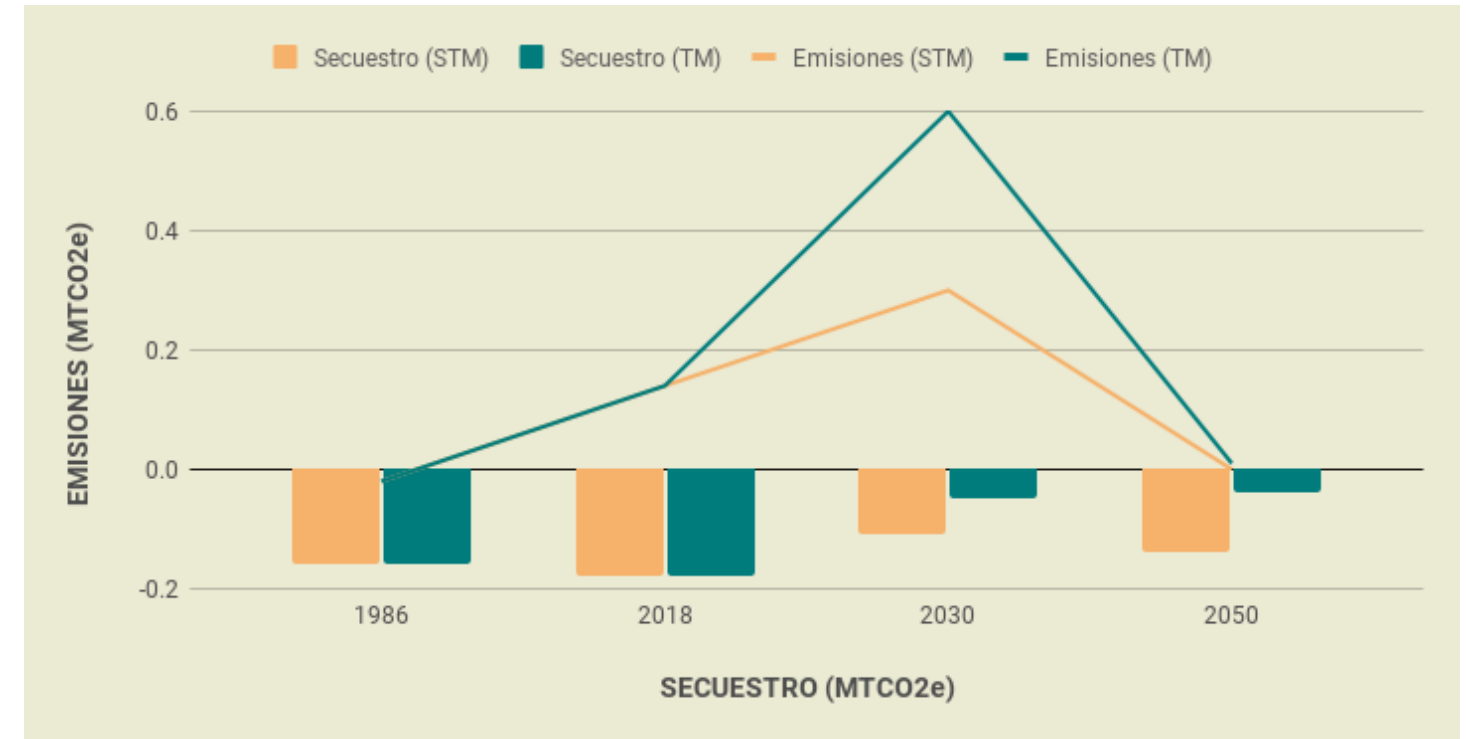
De acuerdo con el análisis de cam-

Figura 21. Zonas de deforestación en el área de interés de Tabasco con influencia del Tren Maya.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Potencial de secuestro y emisiones por cambio de uso de la tierra y vegetación en el área de interés en Tabasco con influencia del Tren Maya.



Fuente: Elaboración propia.

TM: con Tren Maya; STM: sin Tren Maya

bio de uso de la tierra y vegetación, la meta estatal de esta medida podría establecerse en 31,972.2 hectáreas en el área de interés para el periodo de 2018 a 2030, la cual contempla la superficie de «Selva perennifolia» que cambió a «Tierra agrícola anual» en el periodo de 1986 a 2018. La producción de madera en las plantaciones de restauración podría compensar potencialmente los costos de oportunidad de la menor disponibilidad de las tierras ganaderas y podría desempeñar un papel fundamental en la intensificación de los esfuerzos tendentes a la

restauración de paisajes tropicales (Brancaion et al., 2012). Sin embargo, para evitar los impactos negativos que genera la homogeneidad en el paisaje forestal, una parte importante de la restauración mediante plantaciones forestales debe tener como objetivo la diversificación de especies vegetales presentes en las plantaciones (Vilagrosa et al., 1997).

ii. Incrementar la superficie bajo sistemas silvopastoriles.

De acuerdo con el análisis de cambio

de uso de la tierra y vegetación, la meta estatal de esta medida podría establecerse en 4,838.4 hectáreas en el área de interés para el periodo de 2018 a 2030, la cual contempla la producción estimada que demanda el incremento de la superficie de «Tierra agrícola anual» dedicada a actividades pecuarias en ese periodo. Aumentar la productividad de la ganadería extensiva y con ello reducir las áreas utilizadas por el ganado es necesario para la recuperación de suelos y cobertura forestal de agostaderos, pastizales nativos, bosques y selvas. Los sistemas silvopastoriles son sistemas complejos y dinámicos, los cuales consisten en una serie de técnicas que son aplicables en función de una serie de características de suelo y vegetación de la región y localidad. Estos sistemas de producción al integrar especies leñosas forrajeras con beneficios en la alimentación de bovinos en comparación con gramíneas tropicales en monocultivo logran duplicar la capacidad de carga de los agostaderos, reduciendo la superficie necesaria para la producción animal (González, 2013).

iii. Incrementar la superficie con mejores prácticas de pastoreo.

De acuerdo con el análisis de cambio de uso de la tierra y vegetación, la meta estatal de esta medida podría

establecerse en 29,998.3 hectáreas en el área de interés para el periodo de 2018 a 2030, la cual contempla la producción estimada que demanda el incremento de la superficie de «Tierra agrícola anual» dedicada a actividades pecuarias en ese periodo. En los sistemas de producción extensivos el principal recurso para la alimentación del ganado es el forraje, sin embargo, el pastoreo continuo y excesivo ocasiona una serie de pérdidas ambientales y socioeconómicas. La intensificación del pastoreo, con prácticas que ajusten la presión y presencia del ganado, resulta en una mayor ganancia diaria de peso en becerros para carne y aumento en la producción de leche en las vacas. Entre las técnicas más comunes se encuentra la rotación del pastoreo, fertilización y manejo de nutrientes, introducción de especies (p. ej. leguminosas) e inoculación de plantas y movilidad mejorada de animales.



III. CAMPECHE

a. Cambio de uso de la tierra y vegetación

Con la consolidación del Tren Maya, en el área de interés en Campeche se estima que para el periodo 2018-2030 la tasa de deforestación bruta aumente 64.3%, es decir de 10,544.9 en el paisaje sin Tren Maya a 17,328.9 ha/año. Sin embargo, el incremento para la tasa de deforestación neta se proyecta en un 311.9%, de 690.7 a 2,845.2 ha/año. Lo anterior debido a que en el paisaje con Tren Maya, además de incrementar la tasa de deforestación bruta, las ganancias registradas por nuevos establecimientos de tierras forestales se reducen en 32.1%, cerca de 4,652.1 ha/año en promedio.

En comparación con el paisaje sin Tren Maya, para el periodo 2018 - 2030 el incremento de la superficie de la categoría «Tierra agrícola anual», en el paisaje con Tren Maya, es 70.7% mayor; la transición de tierras forestales a «Tierra agrícola anual» explica el 93.6% de la deforestación. En este periodo, el 70.5% de la revegetación o ganancias registradas por nuevos establecimientos de tierras forestales es en la categoría de «Selva perennifolia» y 21.7% en «Selva caducifolia». Al 2050 el 44.8% del paisaje de Campeche en el área de interés perma-

Tabla 12. Porcentaje de uso de la tierra y vegetación del área de interés en Campeche con proyecciones al 2030 y 2050 con influencia del Tren Maya.

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	1986 (%)	2018 (%)	2030 (%)	2050 (%)
Asentamientos humanos	0.5	2.6	2.6	3.3
Cuerpo de agua	1.1	1.6	1.2	1.2
Manglar	0.7	0.1	0.7	0.7
Sabana	0.1	0.1	0.0	0.0
Selva Caducifolia	23.8	10.8	15.0	17.2
Selva Perennifolia	53.8	42.5	44.2	44.8
Selva Subcaducifolia	3.2	17.3	8.1	8.0
Sin Vegetación aparente	0.2	0.4	0.0	0.0
Tierra agrícola anual	16.5	21.4	26.4	23.2
Tierra agrícola perenne	0.0	0.5	0.9	0.9
Vegetación hidrófila	0.2	1.9	0.8	0.7

Fuente: Elaboración propia.

necerá con «Selva perennifolia», el 23.2% dedicado a «Tierra agrícola anual» y el 17.2% mantiene remanentes de «Selva caducifolia» (Tabla 12).

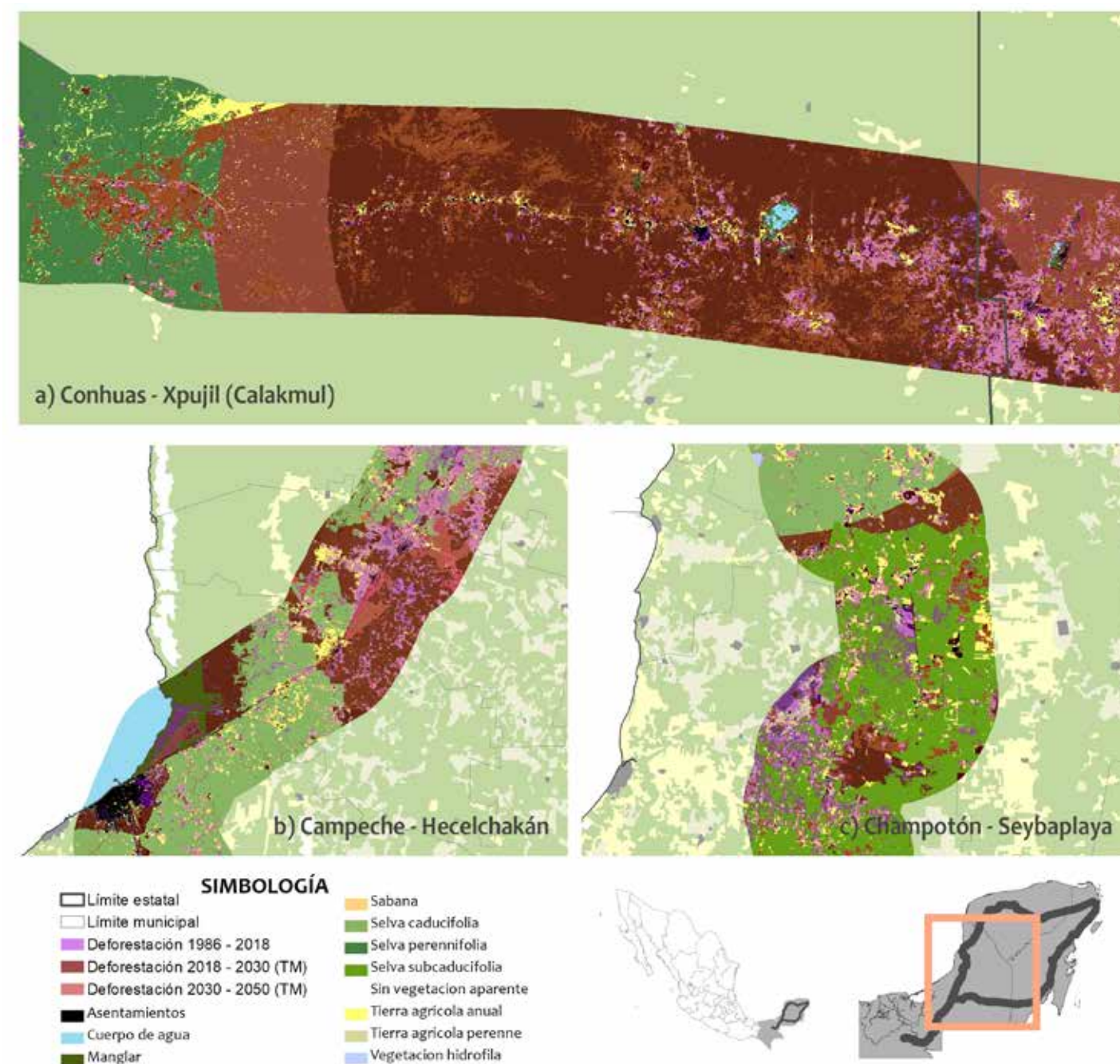
b. Consideraciones para detener la deforestación

Las proyecciones de cambio de uso de la tierra y vegetación al 2030 y 2050 estiman que la deforestación en Campeche se concentrará en tres zonas: Conhuas - Xpujil (Calakmul), Champotón - Seybaplaya y por último Campeche - Hecelchakán. Las superficies de las categorías de usos de la tierra y vegetación se

mantiene relativamente similares, esto debido a que aunque existe una reducción de la superficie en las tierras forestales mayor con el Tren Maya se mantiene un proceso de revegetación alto, 8,690.2 ha/año entre el 2018 - 2030 (Figura 23).

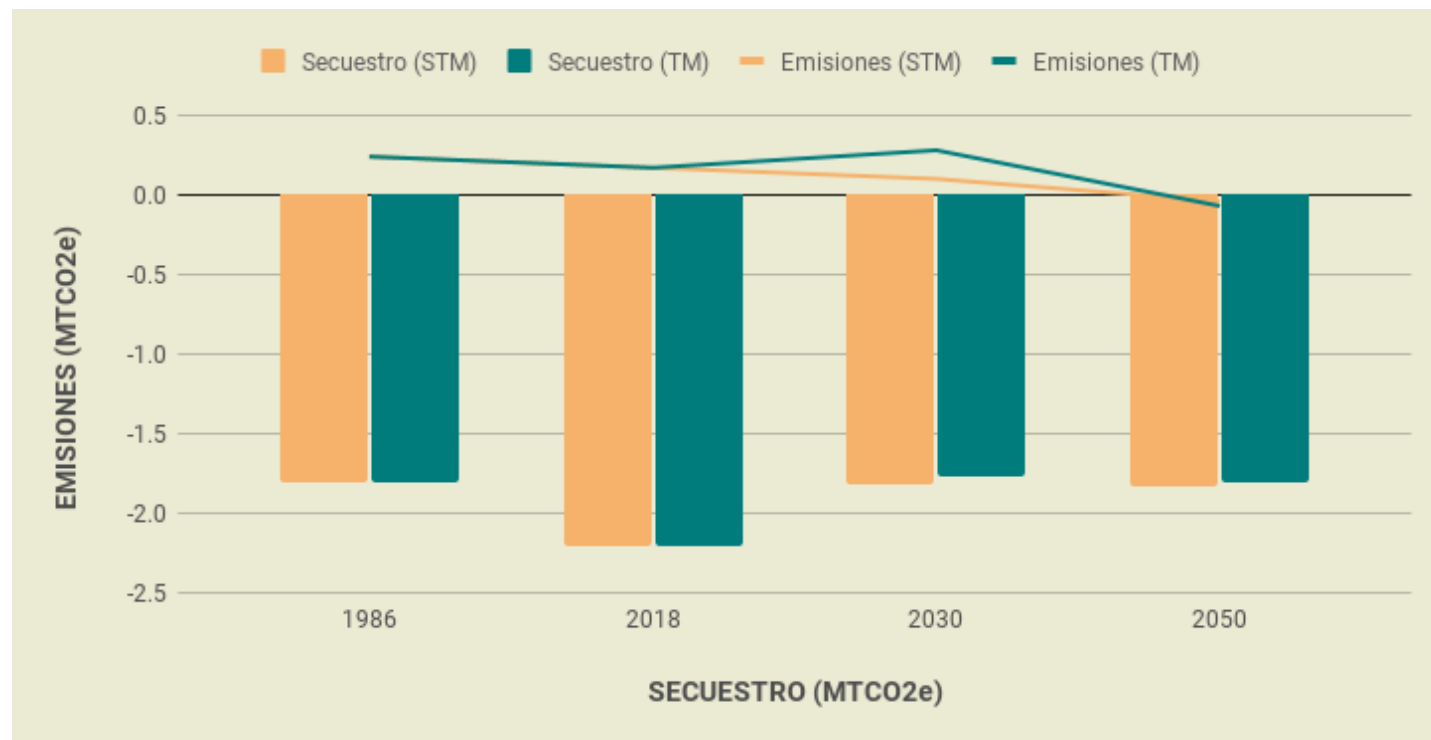
Esta dinámica en el área de interés provocará que el potencial de secuestro por permanencia de las tierras forestales llegue a un promedio cercano a $1.81 \pm 0.03 \text{ MtCO}_2/\text{año}$ al 2050. La estimación de las emisiones por cambio de contenido de carbono será de $-0.07 \pm 0.02 \text{ MtCO}_2/\text{año}$ al 2050, debido a la continua tasa de nueva superficie de tierras forestales (Figura 24).

Figura 23. Zonas de deforestación en el área de interés de Campeche con influencia del Tren Maya.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. Potencial de secuestro y emisiones por cambio de uso de la tierra y vegetación en el área de interés en Campeche con influencia del Tren Maya.



Fuente: Elaboración propia.

TM: con Tren Maya; STM: sin Tren Maya

Con las tendencias por la consolidación del Tren Maya en el área de interés, y reconociendo las principales actividades económicas, los procesos de revegetación y el incremento de la transición de ecosistemas forestales a «Asentamientos humanos», algunas medidas para prevenir la deforestación en Campeche son:

i. Detener el cambio de uso de suelo ilegal en las tierras forestales: asentamientos humanos

De acuerdo con el análisis de cambio de uso de la tierra y vegetación,

la meta estatal de esta medida podría establecerse en 7,917.8 hectáreas en el área de interés para el periodo de 2018 a 2030, la cual contempla el crecimiento urbano estimado en tierras forestales. En México, el marco regulatorio permite el cambio de uso de suelo en terrenos forestales siempre que se compense en la cantidad neta, la calidad y la densidad de carbono de los ecosistemas forestales. Las autorizaciones de cambio de uso de suelo en terrenos forestales han ido en aumento en las últimas dos décadas, pasando de 2,338 ha/año en

1999 a 17,501 ha/año en 2018 (SEMARNAT, 2022). Pese al aumento, el cambio de uso de suelo de terrenos forestales representa sólo el 8.3% de la tasa anual de deforestación bruta en México, de 212,070 ha/año (CONAFOR, 2020b). Las proyecciones indican una tendencia de incremento en la deforestación en las estaciones principales y paraderos en la ruta del Tren Maya. La falta de planeación urbana y ordenamiento territorial en zonas metropolitanas reduciría la calidad de vida de sus habitantes e incrementaría el número de nuevos asentamientos humanos irregulares.

ii. Incrementar o mantener superficie de tierras forestales bajo estrategias de conservación

De acuerdo con el análisis de cambio de uso de la tierra y vegetación, la meta estatal de esta medida podría establecerse en 89,830.8 hectáreas en el área de interés para el periodo de 2018 a 2030, la cual contempla la pérdida de superficie de tierras forestales al 2050. La pérdida de la diversidad biológica y los ecosistemas forestales, por causas antropogénicas, es un problema que se entrelaza con la mitigación al cambio climático en el sector forestal. Las estrategias de conservación han integrado en las últimas décadas objetivos orientados a la

reducción de la pobreza, la diversificación productiva y la cogestión de los recursos naturales en un intento por conciliar las necesidades de conservación con las de desarrollo (Pineda-Vázquez et al., 2019). La implementación de esta medida debe acompañarse del fortalecimiento e interconexión entre estrategias de conservación (áreas protegidas, ADVC, UMA, entre otras), donde no sólo se incremente la superficie de conservación, sino igual la efectividad en la operación, gestión y bienestar de las poblaciones humanas.

iii. Incrementar la superficie bajo agricultura de conservación.

Meta estatal en el área de interés (2018 - 2030): 19,631.1 hectáreas.

De acuerdo con el análisis de cambio de uso de la tierra y vegetación, la meta estatal de esta medida podría establecerse en 19,631.1 hectáreas en el área de interés para el periodo de 2018 a 2030, la cual contempla la producción estimada que demanda el incremento de la superficie de «Tierra agrícola anual» dedicada a actividades agrícolas en ese periodo. La agricultura de conservación facilita los procesos de producción e incrementa el rendimiento de los cultivos, fomentando el abandono de tierras dedicadas a la actividad agrícola y evitando su desplaza-

miento. La agricultura de conservación tiene tres pilares: 1) la diversificación de cultivos, que permite una mejor distribución de los nutrientes en el suelo y el control de la producción de residuos; 2) el movimiento mínimo del suelo o labranza mínima, que aumenta su fertilidad e impide la erosión, y; 3) la cobertura permanente del suelo, que aumenta la infiltración de agua, disminuye la erosión ocasionada por agua y viento, estimula la actividad biológica de la materia orgánica del suelo y además se refleja en la reducción de quemas de los residuos de los cultivos resultantes después de la cosecha (Donovan, 2020; SADER, 2019).

iv. Incrementar la superficie bajo sistemas agroforestales

De acuerdo con el análisis de cambio de uso de la tierra y vegetación, la meta estatal de esta medida podría establecerse en 19,631.1 hectáreas en el área de interés para el periodo de 2018 a 2030, la cual contempla la producción estimada que demanda el incremento de la superficie de «Tierra agrícola anual» dedicada a actividades agrícolas en ese periodo. Los sistemas convencionales de producción agrícola enfrentan los retos de producir alimentos suficientes y nutritivos de manera equitativa para una población en continuo crecimiento, al tiempo que

detienen la pérdida de biodiversidad, la degradación de la tierra y el agotamiento del agua dulce asociada a la producción agrícola (FAO, 2021). Los sistemas agroforestales integran diversidad silvestre o forestal en coexistencia con cultivos y animales domésticos en formas de manejo de la tierra predominantemente agrícolas (Moreno et al., 2021). La transición a estos sistemas genera en promedio 2.2 veces mayores beneficios que las prácticas convencionales (FAO, 2019).

Q U I N T A N A R O O

IV. QUINTANA ROO

a. Cambio de uso de la tierra y vegetación

Con la consolidación del Tren Maya, en el área de interés en Quintana Roo se estima que para el periodo 2018-2030 la tasa de deforestación bruta disminuya en 7.7%, es decir de 8,245.6 ha/año en el paisaje sin Tren Maya a 7,612.3 ha/año. De la misma manera, se proyecta una reducción en la tasa de deforestación neta en un 22.7%, de 3,430.32 a 2,653.09 ha/año. Lo anterior debido a que en el paisaje con Tren Maya, además de reducir la tasa de deforestación bruta, las ganancias registradas por nuevos establecimientos de tierras forestales se incrementa en 16.4%, cerca de 788.5 ha/año en promedio. En Quintana Roo la presión en el paisaje con el Tren Maya se espera se concentre en los principales centros poblacionales y una transición entre categorías de usos de la tierra antropogénicas, por ejemplo de «Tierra agrícola anual» a «Asentamientos humanos».

En comparación con el paisaje sin Tren Maya, para el periodo 2018 - 2030 el incremento de la superficie de la categoría «Asentamientos humanos», en el paisaje con Tren Maya, es 41.3% mayor; la transición de tierras forestales a «Tierra agrícola anual» explica el 55.2% de la

Tabla 13. Porcentaje de uso de la tierra y vegetación del área de interés en Quintana Roo con proyecciones al 2030 y 2050 con influencia del Tren Maya.

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	1986 (%)	2018 (%)	2030 (%)	2050 (%)
Asentamientos humanos	0.6	3.6	5.4	6.1
Cuerpo de agua	11.7	12.1	12.2	12.2
Manglar	2.9	3.4	3.2	3.2
Selva Caducifolia	0.0	0.4	0.1	0.0
Selva Perennifolia	76.0	68.9	66.4	60.7
Selva Subcaducifolia	0.3	0.2	0.1	0.1
Sin Vegetación aparente	0.2	2.1	0.0	0.0
Tierra agrícola anual	5.7	5.0	11.4	16.3
Tierra agrícola perenne	1.3	0.1	0.0	0.0
Vegetación hidrófila	1.3	4.2	1.3	1.3

Fuente: Elaboración propia.

deforestación y a «Asentamientos humanos» el 28.2%. En este periodo, el 73.9% de la revegetación o ganancias registradas por nuevos establecimientos de tierras forestales es en la categoría de «Selva perennifolia» y 25.8% en «Manglar». Al 2050 el 60.7% del paisaje de Quintana Roo en el área de interés permanecerá con «Selva perennifolia», el 16.3% dedicado a «Tierra agrícola anual» y el 6.1% a «Asentamientos humanos» (Tabla 13).

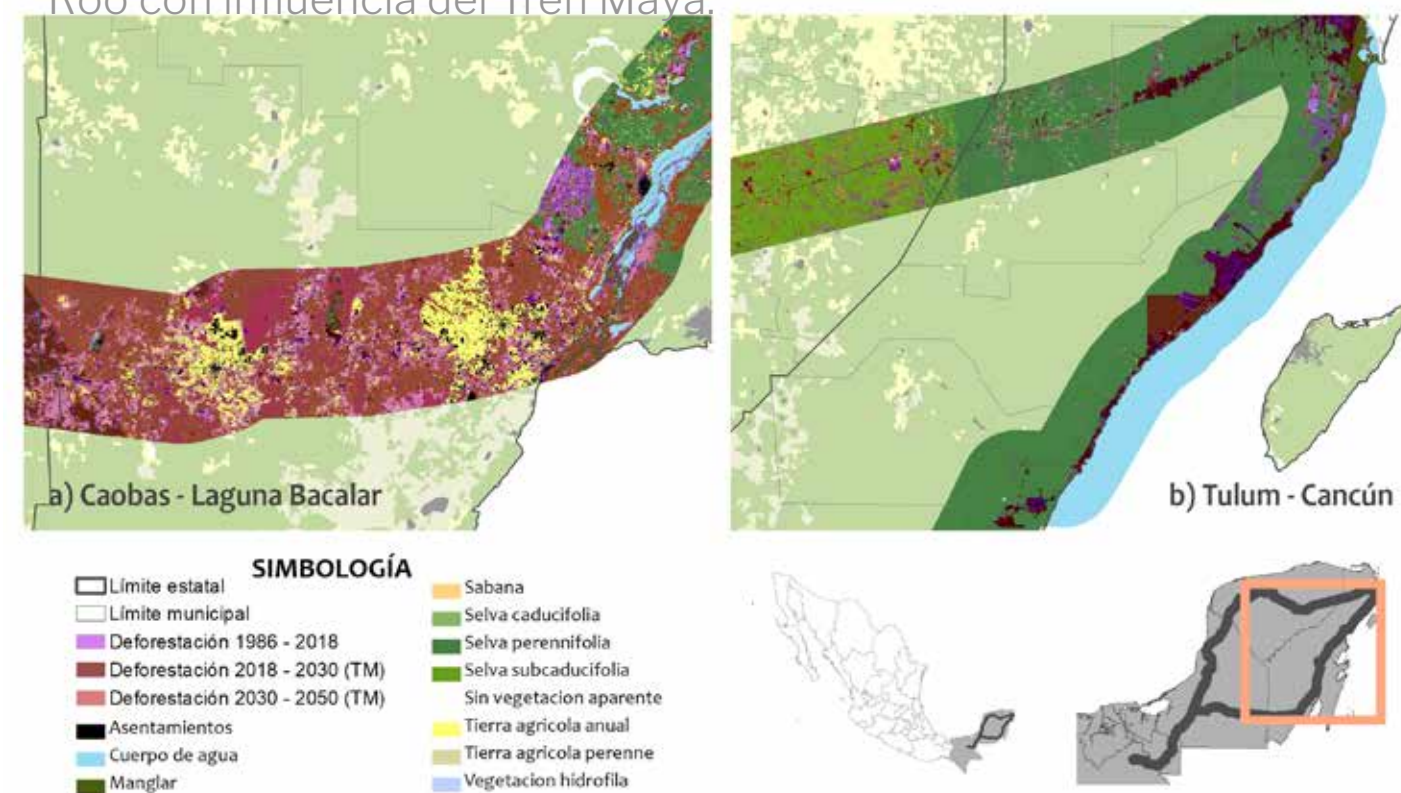
b. Consideraciones para detener la deforestación

Las proyecciones de cambio de uso de la tierra y vegetación al 2030 y

2050 estiman que la deforestación en Quintana Roo se concentrará en dos zonas: Caobas - Laguna Bacalar y en la línea de costa Tulum - Cancún. Las superficies de las categorías de usos de la tierra y vegetación se mantienen relativamente estables en el periodo 2018 - 2030, sin embargo, para el periodo 2030 - 2050 la deforestación incrementa en la «Selva perennifolia». Además, gran parte de la deforestación se concentra en las dos zonas del área de interés, asociadas a los principales centros poblacionales, y reduce la presión sobre los ecosistemas forestales fuera de ellas (Figura 25).

Esta dinámica en el área de interés

Figura 25. Zonas de deforestación en el área de interés de Quintana Roo con influencia del Tren Maya.



Fuente: Elaboración propia.

provocará que el potencial de secuestro por permanencia de las tierras forestales llegue a un promedio cercano a 1.45 ± 0.08 MtCO₂/año al 2050. La estimación de las emisiones por cambio de contenido de carbono será de 0.33 ± 0.1 MtCO₂/año al 2050, debido a la continua deforestación de la «Selva perennifolia», categoría con alto contenido de carbono (Figura 26).

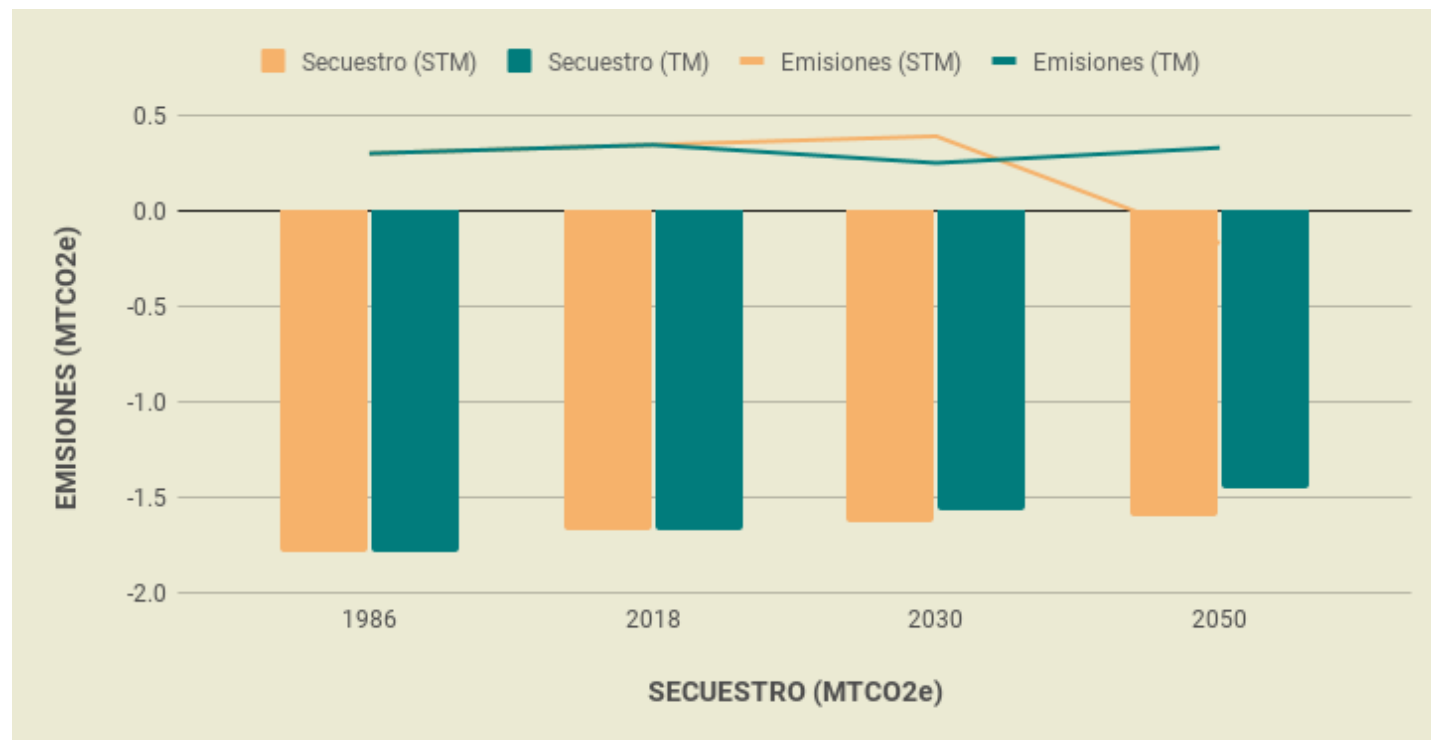
De acuerdo con las tendencias por la consolidación del Tren Maya en

el área de interés, reconociendo las principales actividades económicas, los procesos de revegetación y el incremento de la transición de ecosistemas forestales a «Asentamientos humanos», algunas medidas para prevenir la deforestación en Quintana Roo son:

i. Detener el cambio de uso de suelo ilegal en las tierras forestales: asentamientos humanos

De acuerdo con el análisis de cam-

Figura 26. Potencial de secuestro y emisiones por cambio de uso de la tierra y vegetación en el área de interés en Quintana Roo con influencia del Tren Maya.



Fuente: Elaboración propia.

TM: con Tren Maya; STM: sin Tren Maya

bio de uso de la tierra y vegetación, la meta estatal de esta medida podría establecerse en 25,763.3 hectáreas en el área de interés para el periodo de 2018 a 2030, la cual contempla el crecimiento urbano estimado en tierras forestales. En México, el marco regulatorio permite el cambio de uso de suelo en terrenos forestales siempre que se compense en la cantidad neta, la calidad y la densidad de carbono de los ecosistemas forestales. Las autorizaciones de cambio de uso de suelo en terrenos forestales han ido en aumento en las últimas dos dé-

cadadas, pasando de 2,338 ha/año en 1999 a 17,501 ha/año en 2018 (SEMARNAT, 2022). Pese al aumento, el cambio de uso de suelo de terrenos forestales representa sólo el 8.3% de la tasa anual de deforestación bruta en México, de 212,070 ha/año (CONAFOR, 2020b). Las proyecciones indican una tendencia de incremento en la deforestación en las estaciones principales y paraderos en la ruta del Tren Maya. La falta de planeación urbana y ordenamiento territorial en zonas metropolitanas reduciría la calidad de vida de sus habitantes e incrementaría el núme-

ro de nuevos asentamientos humanos irregulares.

ii. Incrementar o mantener superficie de tierras forestales bajo estrategias de conservación

De acuerdo con el análisis de cambio de uso de la tierra y vegetación, la meta estatal de esta medida podría establecerse en 25,502.9 hectáreas en el área de interés para el periodo de 2018 a 2030, la cual contempla la pérdida de superficie de tierras forestales al 2050. La pérdida de la diversidad biológica y los ecosistemas forestales, por causas antropogénicas, es un problema que se entrelaza con la mitigación al cambio climático en el sector forestal. Las estrategias de conservación han integrado en las últimas décadas objetivos orientados a la reducción de la pobreza, la diversificación productiva y la cogestión de los recursos naturales en un intento por conciliar las necesidades de conservación con las de desarrollo (Pineda-Vázquez et al., 2019). La implementación de esta medida debe acompañarse del fortalecimiento e interconexión entre estrategias de conservación (áreas protegidas, ADVC, UMA, entre otras), donde no sólo se incremente la superficie de conservación, sino igual la efectividad en la operación, gestión y bienestar de las poblaciones humanas.

iii. Incrementar la superficie bajo agricultura de conservación.

De acuerdo con el análisis de cambio de uso de la tierra y vegetación, la meta estatal de esta medida podría establecerse en 55,683.5 hectáreas en el área de interés para el periodo de 2018 a 2030, la cual contempla la ganancia de nuevas tierras forestales, en particular de la categoría «Selva perennifolia» al 2030. El manejo forestal comprende las decisiones y actividades encaminadas al aprovechamiento de los recursos forestales de manera ordenada, procurando satisfacer las necesidades de la sociedad actual, sin comprometer las funciones ecosistémicas para las generaciones futuras. La función del manejo forestal es administrar la capacidad productiva del bosque para mantener las diversas funciones ecosistémicas que proveen de bienes y servicios a la sociedad humana. El impacto del manejo forestal sobre las funciones ecosistémicas está relacionado con la intensidad del manejo, temporalidad y calidad productiva del bosque (Aguirre-Calderón, 2015). Para la implementación de esta medida es imprescindible que existan las instituciones y las reglas claras para hacer cumplir las restricciones en el aprovechamiento de los ecosistemas forestales (Torres-Rojo et al.,

2022).

iv. Reducir la superficie forestal afectada por incendios

De acuerdo con la plataforma Global Forest Watch, la meta estatal de esta medida podría establecerse en una reducción de 1,658.7 hectáreas anuales de tierras forestales afectadas por incendios, este es el promedio, entre 2014 y 2020, de la superficie con pérdida de cobertura arbórea por incendios. Los incendios forestales son una de las principales causas de disturbio que modifican la estructura, composición y funciones de los ecosistemas (Pérez-Salicrup et al., 2018; Pérez-Salicrup et al., 2020). En el periodo de 1998-2019, el 98% de los incendios forestales que se registraron en México tuvieron por origen actividades antropogénicas (CONAFOR, 2020a), siendo las quemadas agropecuarias las principales causas de los incendios forestales (Martínez-Torres y Pérez-Salicrup, 2018). Actualmente se busca transitar hacia una visión del manejo del fuego, integrando factores ecológicos y sociales para entender y atender los incendios (Martínez-Torres y Pérez-Salicrup, 2018), las líneas de acción basadas en los principales aspectos que inciden en el origen y propagación de los incendios forestales son: 1. acumulación y disponibilidad de combus-

tibles; 2. uso inadecuado del fuego; 3. limitada cultura de la prevención de incendios forestales; 4. capacidad de respuesta limitada para la atención de los incendios forestales dañinos, y; 5. limitada información técnica y científica para la toma de decisiones (CONAFOR, 2021).

II. YUCATÁN

a. Cambio de uso de la tierra y vegetación

Con la consolidación del Tren Maya, en el área de interés en Yucatán se estima que para el periodo 2018-2030 la tasa de deforestación bruta disminuya en 69.9%, es decir de 7,438.4 en el paisaje sin Tren Maya a 2,238.5 ha/año con el Tren Maya. De la misma manera, se proyecta una reducción en la tasa de deforestación neta de 2,304.24 a -3,365.23 ha/año, es decir, un proceso de revegetación mayor a la deforestación anual. Lo anterior debido a que en el paisaje con Tren Maya, además de reducir la tasa de deforestación bruta, las ganancias registradas por nuevos establecimientos de tierras forestales se incrementan en 9.1%, cerca de 469.5 ha/año en promedio. En Yucatán la presión en el paisaje con el Tren Maya se espera se concentre en los principales centros poblacionales y una transición entre categorías de usos de la tierra antropogénicas, por ejemplo, de «Tierra agrícola anual» a «Asentamientos humanos».

En comparación con el paisaje sin Tren Maya, para el periodo 2018 - 2030 el incremento de la superficie de la categoría «Asentamientos humanos», en el paisaje con Tren Maya, es 50.3% mayor; la transición

Y
U
C
A
T
Á
N

Tabla 14. Porcentaje de uso de la tierra y vegetación del área de interés en Yucatán con proyecciones al 2030 y 2050 con influencia del Tren Maya.

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	1986 (%)	2018 (%)	2030 (%)	2050 (%)
Asentamientos humanos	1.6	2.9	7.8	8.6
Cuerpo de agua	0.1	0.0	0.1	0.1
Manglar	0.0	0.0	0.0	0.0
Selva Caducifolia	37.9	30.0	42.1	38.1
Selva Perennifolia	10.7	20.2	1.7	1.7
Selva Subcaducifolia	31.9	32.9	40.8	38.8
Sin Vegetación aparente	0.8	0.0	0.0	0.0
Tierra agrícola anual	17.0	8.0	6.9	11.6
Tierra agrícola perenne	0.0	5.2	0.5	0.9
Vegetación hidrófila	0.0	0.6	0.1	0.3

Fuente: Elaboración propia.

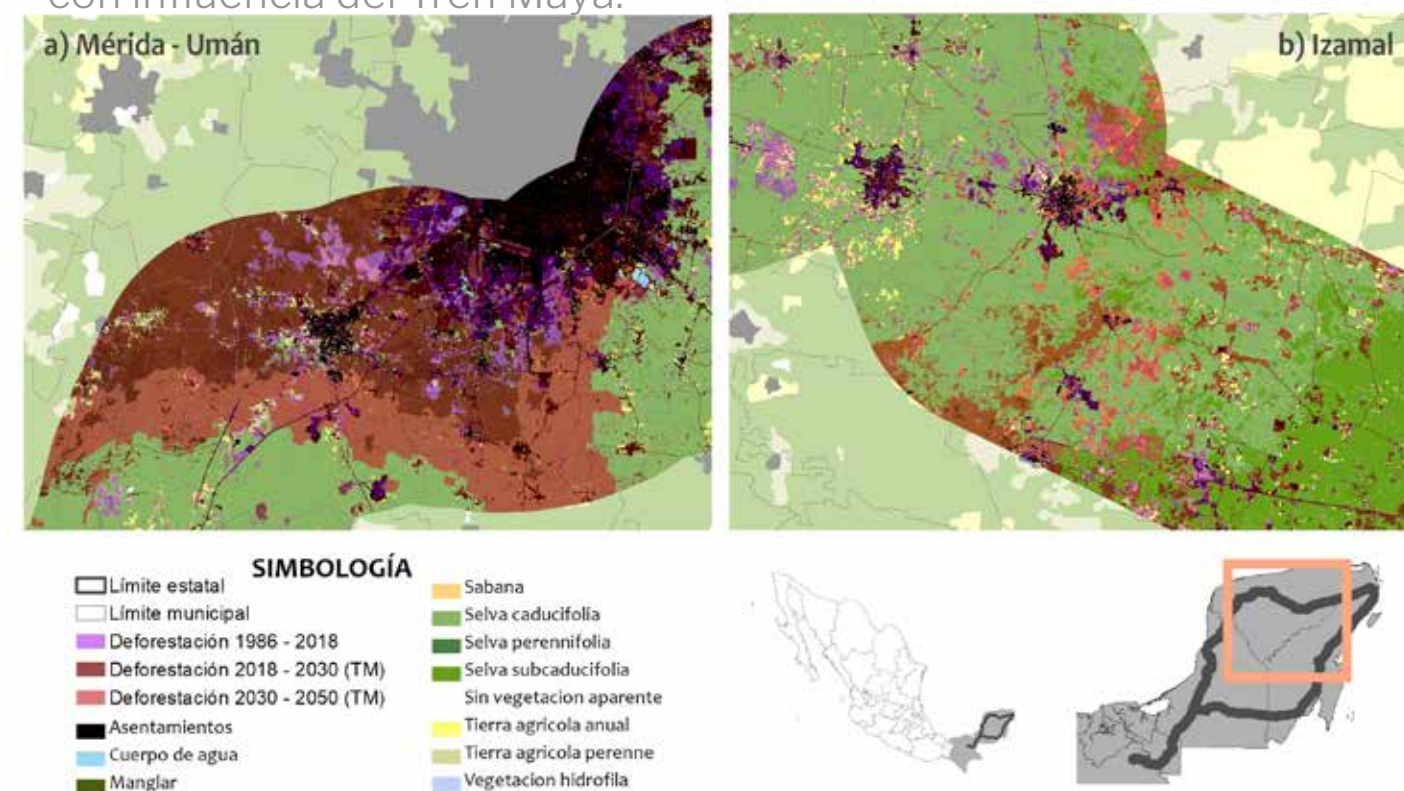
de tierras forestales a «Asentamientos humanos» explica el 84.9% de la deforestación y a «Tierra agrícola anual» el 5.9%. En este periodo, el 62.7% de la revegetación o ganancias registradas por nuevos establecimientos de tierras forestales es en la categoría de «Selva caducifolia» y 36.8% en «Selva subcaducifolia». Al 2050 el 38.8% del paisaje de Yucatán en el área de interés permanecerá con «Selva caducifolia, el 38.1% con «Selva subcaducifolia», el 11.6% dedicado a «Tierra agrícola anual» y el 8.6% a «Asentamientos humanos» (Tabla 14).

b. Consideraciones para detener la

deforestación

Las proyecciones de cambio de uso de la tierra y vegetación al 2030 y 2050 estiman que la deforestación en Yucatán se concentrará en tres zonas: Mérida - Umán y por último Izamal. Las proyecciones indican una reducción en la presión en los ecosistemas forestales por abandono de la «Tierra agrícola anual», estableciéndose vegetación de «Selva caducifolia» en esta superficie. Además, gran parte de la deforestación se concentra en las dos zonas del área de interés, asociada a los principales centros poblacionales (Figura 27).

Figura 27. Zonas de deforestación en el área de interés de Yucatán con influencia del Tren Maya.



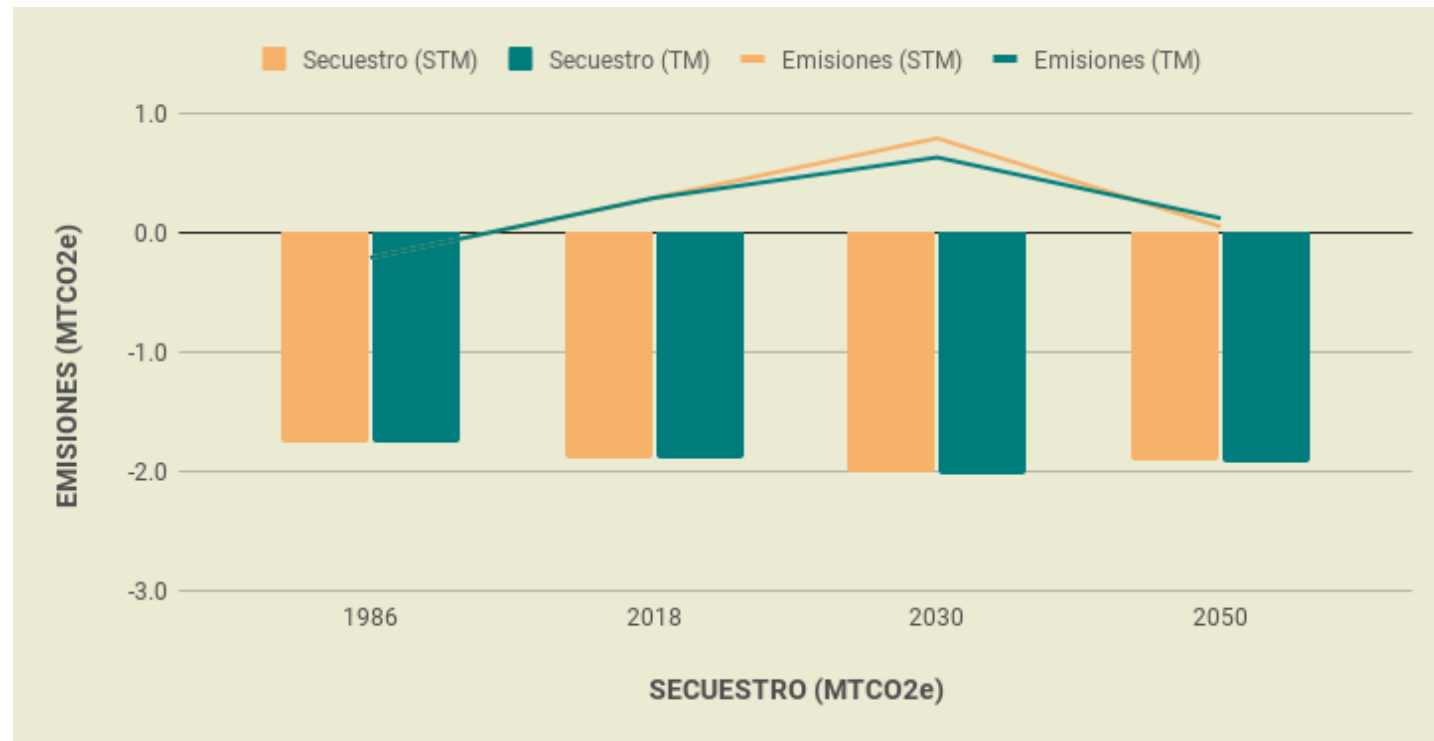
Fuente: Elaboración propia.

Esta dinámica en el área de interés provocará que el potencial de secuestro por permanencia de las tierras forestales llegue a un promedio cercano a $1.92 \pm 0.08 \text{ MtCO}_2/\text{año}$ al 2050. La estimación de las emisiones por cambio de contenido de carbono será de $0.12 \pm 0.03 \text{ MtCO}_2/\text{año}$ al 2050, debido a la continua deforestación de la «Selva perennifolia» y «Selva subcaducifolia», categorías con alto contenido de carbono (Figura 28).

Con las tendencias por la consolidación del Tren Maya en el área de interés, reconociendo las principales actividades económicas, los procesos de revegetación y el incremento de la transición de ecosistemas forestales a «Asentamientos humanos», algunas medidas para prevenir la deforestación en Quintana Roo son:

i. Detener el cambio de uso de suelo ilegal en las tierras forestales: asen-

Figura 28. Potencial de secuestro y emisiones por cambio de uso de la tierra y vegetación en el área de interés en Yucatán con influencia del Tren Maya.



Fuente: Elaboración propia.

TM: con Tren Maya; STM: sin Tren Maya

amientos humanos

De acuerdo con el análisis de cambio de uso de la tierra y vegetación, la meta estatal de esta medida podría establecerse en 22,807.6 hectáreas en el área de interés para el periodo de 2018 a 2030, la cual contempla el crecimiento urbano estimado en tierras forestales. En México, el marco regulatorio permite el cambio de uso de suelo en terrenos forestales siempre que se compense en la cantidad neta, la calidad y la densidad de carbono de los ecosistemas forestales. Las au-

torizaciones de cambio de uso de suelo en terrenos forestales han ido en aumento en las últimas dos décadas, pasando de 2,338 ha/año en 1999 a 17,501 ha/año en 2018 (SEMARNAT, 2022). Pese al aumento, el cambio de uso de suelo de terrenos forestales representa sólo el 8.3% de la tasa anual de deforestación bruta en México, de 212,070 ha/año (CONAFOR, 2020b). Las proyecciones indican una tendencia de incremento en la deforestación en las estaciones principales y paraderos en la ruta del Tren Maya. La falta de planeación urbana y ordenamiento

territorial en zonas metropolitanas reduciría la calidad de vida de sus habitantes e incrementaría el número de nuevos asentamientos humanos irregulares.

ii. Incrementar o mantener superficie de tierras forestales bajo estrategias de conservación

De acuerdo con el análisis de cambio de uso de la tierra y vegetación, la meta estatal de esta medida podría establecerse en 112,838.27 hectáreas en el área de interés para el periodo de 2018 a 2030, la cual contempla la pérdida de superficie de tierras forestales al 2050. La pérdida de la diversidad biológica y los ecosistemas forestales, por causas antropogénicas, es un problema que se entrelaza con la mitigación al cambio climático en el sector forestal. Las estrategias de conservación han integrado en las últimas décadas objetivos orientados a la reducción de la pobreza, la diversificación productiva y la cogestión de los recursos naturales en un intento por conciliar las necesidades de conservación con las de desarrollo (Pineda-Vázquez et al., 2019). La implementación de esta medida debe acompañarse del fortalecimiento e interconexión entre estrategias de conservación (áreas protegidas, ADVC, UMA, entre otras), donde no sólo se incremente la superficie de

conservación, sino igual la efectividad en la operación, gestión y bienestar de las poblaciones humanas.

iii. Reducir la superficie forestal afectada por incendios

De acuerdo con la plataforma Global Forest Watch, la meta estatal de esta medida podría establecerse en una reducción de 175.3 hectáreas anuales de tierras forestales afectadas por incendios, este es el promedio, entre 2014 y 2020, de la superficie con pérdida de cobertura arbórea por incendios. Los incendios forestales son una de las principales causas de disturbio que modifican la estructura, composición y funciones de los ecosistemas (Pérez-Salicrup et al., 2018; Pérez-Salicrup et al., 2020). En el periodo de 1998-2019, el 98% de los incendios forestales que se registraron en México tuvieron por origen actividades antropogénicas (CONAFOR, 2021), siendo las quemadas agropecuarias las principales causas de los incendios forestales (Martínez-Torres y Pérez-Salicrup, 2018). Actualmente se busca transitar hacia una visión del manejo del fuego, integrando factores ecológicos y sociales para entender y atender los incendios (Martínez-Torres y Pérez-Salicrup, 2018), las líneas de acción basadas en los principales aspectos que inciden en el origen y propagación de los

incendios forestales son: 1. acumulación y disponibilidad de combustibles; 2. uso inadecuado del fuego; 3. limitada cultura de la prevención de incendios forestales; 4. capacidad de respuesta limitada para la atención de los incendios forestales dañinos, y; 5. limitada información técnica y científica para la toma de decisiones (CONAFOR, 2021).



El área de interés en Yucatán y Quintana Roo alcanza una tasa de 0% de deforestación neta entre 2018 - 2030, sin embargo siguen generando emisiones por degradación de ecosistemas.

Los resultados del análisis de cambio de uso de la tierra y vegetación en el área interés, con y sin Tren Maya, dejan en evidencia que los esfuerzos tendenciales por frenar la deforestación antes del 2018 no eran suficientes para atender las principales presiones hacia los ecosistemas forestales: actividad agropecuaria y asentamientos humanos. La consolidación del proyecto de desarrollo denominado Tren Maya modifica la dinámica de la deforestación en el área de interés al incrementar la tasa anual de deforestación y modifica las zonas críticas de deforestación. Este análisis, relativo al compromiso en la Contribución Nacional Determinada: tasa de 0% de deforestación neta, concluye que el área de interés no alcanzará esta meta al 2030 y no se proyecta que lo logre al 2050. Además, es clara la ausencia de estrategias, políticas, medidas y acciones que faciliten la transición a una economía regional con una tasa de 0% de pérdida de carbono en los ecosistemas originales (Congreso de la Unión, 2022b).

Pese a que el área de interés en los estados de Yucatán y Quintana Roo alcanza una tasa de 0% de deforestación neta, para el periodo 2018 - 2030, siguen generando emisiones por degradación de ecosistemas con altas existencias de carbono en la biomasa viva, ej. «Selva perennifolia». Los ecosistemas en la Península de Yucatán presentan

CONCLUSIONES



Los esfuerzos tendenciales por frenar la deforestación antes del 2018 no eran suficientes.

una alta capacidad de regeneración, característica que debe ser integrada en los esfuerzos de restauración, los cuales pueden dirigirse a acciones de regeneración natural asistida y controlar las presiones en el territorio. Sin embargo, los ecosistemas que se están estableciendo en la nueva superficie forestal cuentan con menor contenido de carbono, ej. «Selva caducifolia».

En los tres estados de la Península de Yucatán —Campeche, Yucatán y Quintana Roo— es clara la presión que tendrá el crecimiento de los asentamientos humanos sobre los ecosistemas forestales cercanos a los principales centros de población. La transición hacia asentamientos humanos no siempre será directa, en la Península Yucatán se ha registrado la transición de tierras forestales a «Tierra agrícola anual» para luego establecer «Asentamientos humanos». Esta transición detiene el proceso de revegetación por abandono de tierras dedicadas a actividades agropecuarias y desplaza la frontera agropecuaria. El desplazamiento de frontera agropecuaria, la deforestación y de una parte de la población hacia las urbes generará un compromiso sobre los Municipios para lograr una planeación territorial que provea una calidad de vida digna a sus habitantes, puesto que los Municipios tienen la atribución de formular, aprobar, administrar y ejecutar los planes o programas municipales de desarrollo

urbano, así como de regular, controlar y vigilar las reservas, usos del suelo y destinos de áreas y predios.

Como todo análisis, hay elementos que pueden mejorar la comprensión y precisión de los resultados, entre estos se encuentran: 1) Efecto dona, por el objetivo del análisis, la modelación del cambio de uso de la tierra y vegetación no abarca la dinámica; 2) Puntos de control, para ajustar la precisión entre las categorías de uso de la tierra y vegetación son indispensables los puntos de control que corroboren la vegetación presente en territorio, un número mayor de puntos de control puede mejorar la precisión; 3) Actualización, las proyecciones al 2030 y 2050 asumen que las tendencias históricas y el Tren Maya son los únicos factores que modifican la deforestación, sin embargo, el establecimiento de nuevos proyectos de desarrollo —agrícolas, urbanos o de infraestructura— modificarán los resultados de este análisis. Si la federación, entidades federativas y municipios pretenden alcanzar una tasa de 0% de deforestación neta junto a una tasa de 0% de pérdida de carbono en los ecosistemas originales será necesario establecer un sistema de monitoreo y seguimiento del uso de la tierra y vegetación que mantenga actualizadas las proyecciones de deforestación.



Este análisis concluye que el área de interés **no alcanzará** la tasa de 0% de deforestación neta al 2030.

REFERENCIAS

Aguirre-Calderón, O. A. 2015. Manejo Forestal en el Siglo XXI. Madera y bosques, 21(spe): 17-28.

Brançalion, P.H.S., Viani, R.A.G., Strassburg, B.B.N. y R.R. Rodrigues. 2012. Cómo financiar la restauración de los bosques tropicales. *Unasylva* 239 (63).

CEMDA. 2020. Postura del Centro Mexicano de Derecho Ambiental respecto al Proyecto Tren Maya. Disponible en: <https://www.cemda.org.mx/nuestra-opinion-postura-del-centro-mexicano-de-derecho-ambiental-respecto-al-proyecto-tren-maya/>

CONAFOR. 2015. Propuesta del nivel de referencia de las emisiones forestales de México.

CONAFOR. 2020a. El sector forestal mexicano en cifras 2019. Documento Técnico. Recuperado el 17 de septiembre de 2022.

CONAFOR. 2020b. Estimación de la tasa de deforestación en México para el periodo 2001-2018 mediante el método de muestreo. Documento Técnico. Jalisco, México.

CONAFOR. 2021. Programa de manejo del fuego 2020-2024. Documento Técnico. Recuperado el 17 de septiembre de 2022.

CONANP. 2007. Protocolo para la evaluación del Uso del Suelo y Vegetación en Áreas Naturales Protegidas Federales de México. Dirección de Evaluación y Seguimiento – Subdirección de análisis de Información Espacial. México.

Congreso de la Unión. 2022a. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (última reforma 11/04/2022). México. Disponible en: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>

Congreso de la Unión. 2022b. Ley General de Cambio Climático (última reforma 11/05/2022). México. Disponible en: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/>

LGCC.pdf

Donovan, M. 2020. ¿Qué es la agricultura de conservación?. Sitio web. Consultado el 12 de septiembre de 2022.

Eastman, J. R. (2016). IDRISI Terrset Gis analysis and Land change modeler. Version 18.31. Clark University. Worcester, MA, USA

FAO. 2019. Disaster risk reduction at farm level: Multiple benefits, no regrets: Results from cost-benefit analyses conducted in a multi-country study, 2016–2018. Disponible en: <https://www.fao.org/publications/card/en/c/CA4429EN/>.

FAO. 2021. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2021. Lograr que los sistemas agroalimentarios sean más resilientes a las perturbaciones y tensiones. Disponible en: <https://www.fao.org/3/cb4476es/cb4476es.pdf>.

Figueroa, F. y V. Sánchez-Cordero. 2008. Effectiveness of natural protected areas to prevent land use and land cover change in Mexico. *Biodivers Conserv* (2008) 17:3223–3240.

González, J. M. 2013. Costos y beneficios de un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), con base en *Leucaena leucocephala* (Estudio de caso en el municipio de Tepalcatepec, Michoacán, México). *Avances en Investigación Agropecuaria*. 17(3): 35-50. Disponible en <http://www.ucol.mx/reviaia/portal/pdf/2013/sept/3.pdf>

INECC-PNUD México. 2017. Rutas de instrumentación de las contribuciones nacionalmente determinadas en materia de absorción y mitigación de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (GYCEI) en el sector de uso del suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (USCUSS) en México. Proyecto 85488 “Sexta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”, *Climate Change Atelier*, S.L, 196 pp. México.

INECC-SEMARNAT. 2018. México: Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, se produjo con financiamiento del Fondo para el Medio

Ambiente Mundial (FMAM) implementado por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

IPCC. 2018. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)].

IPCC. 2019. Summary for Policymakers. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendía, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.

Martínez-Torres, H. L., Pérez-Salicrup, D. R. 2018. El papel del campesinado ante la regulación de los incendios forestales en México: Consecuencias inesperadas. *Perspectivas rurales nueva época*. 16(31): 51-89. Disponible en: <http://doi.org/10.15359/prne.16-31.5>.

Moreno Calles, A. I., Soto Pinto, M. L., Cariño Olvera, M. M., et. al. 2020. Los sistemas agroforestales de México: avances, experiencias, acciones y temas emergentes. *Red Temática de Sistemas Agroforestales de México*. Disponible en: <https://ru.crim.unam.mx/handle/123456789/940>.

Pacheco, P., Mo, K., Dudley, N., Shapiro, A., Aguilar-Amuchastegui, N., Ling, P.Y., Anderson, C. and Marx, A. 2021. Deforestation fronts: Drivers and responses in a changing world. *WWF, Gland, Switzerland*.

Paegelow, M., Olmedo, M. C. y Toribio, J. M. (2003). Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje. *GeoFocus*

(3), 22-44.

Pérez-Salicrup, D. R., Ortíz Mendoza, R., Garduño Mendoza, E., et. al. 2018. Coordinación institucional para la realización de quemas prescritas y quemas controladas en México. *Revista mexicana de ciencias forestales*. 9(49): 252-270. Disponible en: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.169>.

Pérez-Salicrup, D. R., Garduño-Mendoza, E., Martínez-Torres, H. L., et. al. 2020. Plan Integral del Manejo del Fuego en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca: acción e investigación participativa y adaptable. *Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza-CONANP- Alternare, A.C-IIES-UNAM*, 71 pp.

Pineda-Vázquez, M., Ortega-Argueta, M. A., Mesa-Jurado, G., et. al. 2019. Evaluating the sustainability of conservation and development strategies: The case of management units for wildlife conservation in Tabasco, Mexico. *Journal of Environmental Management*. Disponible en: doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109260.

SADER. 2019. Agricultura de conservación, una práctica sustentable. Sitio web. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/colima/articulos/agricultura-de-conservacion-una-practica-sustentable-235466?idiom=es>.

SEDATU. 2019. Tren Maya. Disponible en: <https://ide.sedatu.gob.mx/layers/geonode:-TrenMaya3#/>

SEMARNAT. 2022. Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/mce_index.html.

Subedi, P., Subedi, K., y Thapa, B. 2013. Application of a hybrid cellular automaton-Markov (CA_Markov) Model in land-use change prediction: a case study of saddle creek drainage Basin, Florida. *Appl Ecol Environ Sci* 1(6):126–132

Torres-Mazuera, G., Madrid, S. y R. Benet. 2021. Tres décadas de privatización y despojo de la propiedad social en la Península de Yuca-

tán. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, México.

Torres-Rojo, J. M., Carrillo Anzures, F., Acosta Mireles, M., et. al. 2022. Características de los productores forestales particulares de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 13(5).

Velasco, T. 2010. Tasa de Transformación del Hábitat en el Área Natural Protegida: "Bosque La Primavera", México, provocada por actividades antropogénicas (incendios) en el periodo: 2005 al 2009. Tesis de Máster en Tecnologías de la Información Geográfica. CONANP-Universidad de Alcalá de Henares.

Vilagrosa, A., Seva, JP., Valdecantos, A., Cortina, J., Alloza, JA., Serrasolsas, I., Diego, V., Abril, M., Ferran, A., Bellot, J. 1997. Plantaciones para la restauración forestal en la Comunidad Valenciana. La restauración de la cubierta vegetal en la Comunidad Valenciana, pp 435 -546.

