

Capítulo 1

Los bosques tropicales caducifolios de Sinaloa: pasado y presente

The Sinaloan tropical deciduous forest: past and present

Jesús Adrián Bojórquez-Valdez¹

<https://doi.org/10.61728/AE20258962>



¹ Laboratorio de Ecología Terrestre y Macrosistemas, Departamento de Ciencias del Agua y Medio ambiente, Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Sonora. C.P. 85000. Jesus.bojorquez@itson.edu.mx.

Resumen

Los bosques tropicales caducifolios (BTC) neotropicales alcanzan su distribución más norteña en el noroeste de México, en particular en los estados de Sinaloa, Chihuahua y Sonora. Quizás es en esta región en la que se presenta el bastión más norteño y continuo del BTC en México. Este tipo de vegetación se define como el tipo de bosque que pierde sus hojas en la época seca y su importancia radica en la alta diversidad y endemismos que presenta. A pesar de lo anterior, una de las principales causas de pérdida de cobertura del BTC es el cambio de uso de suelo para realizar actividades agrícolas y ganaderas. En este estudio se analizó la pérdida de BTC en el estado de Sinaloa para el periodo 1993-2021, comparando su distribución potencial con base en lo reportado para 1993 por la serie I de uso de suelo y vegetación de INEGI, así como su relación con el cambio del área de uso agrícola. A nivel del estado, el BTC ha perdido el 10.1 %, y ocupa actualmente el 32.4 % (24.8 de bosque maduro y 8.2 de bosques secundarios) con una tasa de pérdida anual de 0.4 %. La pérdida de cobertura forestal presenta una elevada relación ($R^2 = 0.98$) con el incremento en el área de uso agrícola. Si las tendencias continúan, es probable que en las próximas décadas el bosque restante presente una fuerte reducción y fragmentación, por lo que se recomienda urgentemente promover acciones para asegurar su conservación.

Introducción

Actualmente, los bosques tropicales secos o bosques tropicales caducifolios (BTC) son considerados como uno de los ecosistemas tropicales más amenazados a nivel mundial (Hoekstra et al., 2005; Janzen, 1988). Este tipo de bosque se distribuye generalmente entre los 20 y 10° de latitud a ambos lados del Ecuador y por debajo de 1,200 msnm (Miles et al. 2006; Ocón et al. 2021). Su principal característica es que se desarrollan

en sitios de clima cálido, con lluvias entre 500 y 1500 mm anuales y con una temporada de sequía que va de 5 a 6 meses. Estos bosques son definidos como aquellos que pierden entre el 50 y el 100 % del follaje en la época seca, y presentan una cobertura de dosel mayor al 30 % con predominancia de especies de hoja ancha, las cuales cubren más del 75 % del dosel (Bezaury, 2010). Aunque los BTC son menos diversos que los bosques tropicales húmedos, estos concentran una gran variedad de especies de flora y fauna que muestran extraordinarias adaptaciones a la estacionalidad de la precipitación (Olson y Dinerstein, 2002). Además, estos bosques tienen la capacidad de almacenar grandes cantidades de biomasa aérea, y se ha reportado que en su faceta de bosques maduros (~100 años) puede variar desde 39 hasta 334 Mg ha⁻¹ (Becknell et al., 2012), mientras que en su estado de regeneración o de sucesión secundaria pueden alcanzar rangos de biomasa aérea que van desde 20 hasta 225 Mg ha⁻¹ después de 20 años de recuperación (Poorter et al. 2016).

En las últimas décadas, el BTC ha perdido grandes extensiones de bosque debido al crecimiento poblacional y el incremento en la demanda global de productos agrícolas (FAO 2012). En cuanto a su cobertura actual a nivel mundial, el BTC en estado maduro ocupa solamente el 44 % (Jaramillo y Murray-Tortarolo 2019), y dentro de las causas de la pérdida de cobertura se encuentran el cambio climático, la fragmentación de bosque, el fuego, la conversión de tierras a uso agrícola y el aumento de la población humana (Miles et al., 2006; Sánchez-Azofeifa et al., 2005). En cuanto al Pacífico mexicano, algunas de las causas de pérdida de BTC se le atribuyen mayormente a la agricultura y ganadería (Burgos y Maass, 2004; Miles et al. 2006), quizás por el fácil manejo, las bajas alturas de dosel y que se pueden quemar con mayor facilidad que los bosques lluviosos (Murphy y Lugo, 1986). El abandono de áreas donde se desarrollaba agricultura y ganadería ha permitido una recuperación gradual de la masa forestal del BTC, tanto de la estructura como de los servicios ecosistémicos que este provee (Brown y Lugo, 1990; Martínez-Ramos y García-Orth, 2007; Uhl et al., 1987), así como la diversidad y el almacén de biomasa/carbono (Becknell et al., 2012; Chazdon et al., 2016; Mora et al., 2017). Debido a lo anterior, es común que en los paisajes del trópico seco se observen parches de bosques en proceso de sucesión secundaria, bosques maduros, áreas agrícolas y ganaderas (Chazdon, 2003).

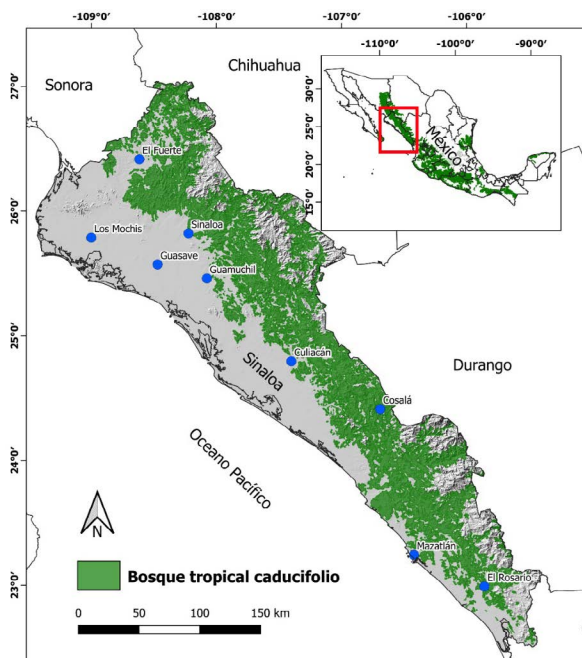
En México, en cuanto a extensión, al bosque tropical caducifolio se le considera el tipo de vegetación tropical más extenso (Rzedowski, 2006), alcanzando su distribución más norteña en el noroeste, en los estados de Sonora, Sinaloa y Chihuahua (Búrquez y Martínez-Yrizar, 2010; Dirzo et al., 2011). En esta región se presenta quizás el bastión más norteño y continuo de toda la distribución en el país (INEGI, 2021), posiblemente debido a que este ecosistema se encuentra confinado en los declives occidentales de la Sierra Madre Occidental, principalmente en las porciones inferiores de los macizos montañosos (300-1200 msnm) (Rzedowski, 2006), lo que hace poco accesibles las áreas para el desarrollo tecnificado de actividades agrícolas y ganaderas. Sin embargo, en esta región y en particular para el estado de Sinaloa, es probable que el cambio de uso de suelo también haya ejercido un papel preponderante en la distribución del BTC en las últimas cinco décadas, sobre todo a partir de los setenta, cuando el gobierno promovió el reparto de tierras incentivando el cambio de uso de suelo para desarrollar actividades agrícolas y ganaderas en todo el país. Así, para los noventa, Flores y Gerez (1994) reportaron para Sinaloa una pérdida de BTC de 35 %, siendo bosques maduros el 42.8 % y bosque secundario el 14.4 %. En cuanto a la agricultura de riego y de temporal, el área que cubrían en el estado era de 18.3 y 8.6 %, respectivamente (Flores y Gerez, 1994).

En la actualidad, existen herramientas muy sofisticadas para evaluar la pérdida de bosques o cambios en las coberturas de vegetación en cualquier parte del mundo. En México se cuenta con los conjuntos de datos de uso de suelo y vegetación que han sido publicados cada cierto periodo a partir de 1985 (INEGI, 2023). Esto permite monitorear la pérdida o recuperación de los ecosistemas forestales en cualquier parte del país, así como determinar los factores que podrían estar asociados a dichos cambios. Así, en este estudio se analizaron las siete series (I-VII) de uso de suelo y vegetación de INEGI para las últimas tres décadas (1985-2021) para conocer a) el estado actual de la distribución del BTC en el estado de Sinaloa, b) la fluctuación de este en las últimas dos décadas, así como c) la relación que presenta la pérdida de cobertura de BTC con el aumento o disminución de la actividad agrícola.

Metodología

El área de estudio comprende la región del bosque tropical caducifolio (BTC) del estado de Sinaloa (Figura 1). Este tipo de vegetación incluye bosques maduros y bosques secundarios en regeneración (INEGI, 2021). Este tipo de bosque se caracteriza por ser un tipo de vegetación en el que aproximadamente el 70% de las especies de plantas pierden sus hojas en la época de estiaje (Rzedowski, 2006). Climáticamente, el BTC sinaloense se distribuye mayormente en climas cálidos subhúmedos (Aw0) y semiáridos (BS1) (Trejo-Vázquez, 1999). De acuerdo a Trejo-Vázquez (1999), la precipitación y temperatura anual que caracterizan el área de distribución del BTC en la región son de 742.9 mm y 24 °C, respectivamente. La distribución del BTC en el estado ocurre sobre los valles, lomeríos y montañas de la Sierra Madre, principalmente entre los 0 y 800 metros sobre el nivel del mar (msnm), y el 90% se encuentra en elevaciones menores a los 400 msnm (INEGI 2021). Los tipos de suelos en los que se distribuye el BTC en el estado son, principalmente, de mayor a menor proporción (%): Regosoles (32.9), Litosoles (28) y Feozems (21.2) (INEGI 2019). Los paisajes del BTC en la región se encuentran mayormente compuestos por BTC en estado maduro, secundario, áreas de uso agrícola y ganadero (Bojórquez Valdez, 2009; INEGI, 2021).

Figura 1. Distribución del bosque tropical caducifolio (BTC) en el estado de Sinaloa (INEGI, 2021). Escala 1:250 000



En cuanto a la flora de estas comunidades, se pueden identificar especies como amapa (*Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.), sinónimo de *Tabebuia palmeri* Rose), palo blanco (*Ipomoea arborescens* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) G. Don.), mauto (*Lysiloma divaricatum* (Jacq.) J.F. Macbr.), sangregado (*Jatropha cordata* (Ortega) Müll.Arg.) y varias especies de papelillo (*Bursera fagaroides* (Kunth) Engl.) (Márquez-Salazar et al., 2019; Rubio et al., 2010a; Rubio et al., 2010b). En su faceta de bosques secundarios podemos observar huinolos (*Acacia cochliacantha* Willd.), uña de gato (*Mimosa* spp.) (Bojórquez-Valdez, 2009).

Obtención y procesamiento de datos de INEGI

Para analizar el cambio en la cobertura de bosque tropical caducifolio en el estado de Sinaloa, se descargaron y analizaron todas las siete series

(I-VII, Tabla 1) de uso de suelo y vegetación disponibles en el portal del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (INEGI, 2023).

La información contenida en las series es obtenida a partir de la aplicación de técnicas que han evolucionado conforme ha avanzado la tecnología, desde fotointerpretación de imágenes aéreas hasta el análisis de imágenes geomedianas de la constelación satelital Landsat, procesadas en Cubo de Datos Geográficos. Esta interpretación está apoyada con trabajos de campo y son conjuntos de datos que contienen la ubicación, distribución y extensión de diferentes comunidades vegetales y usos agrícolas con sus respectivas variantes en tipos de vegetación, cultivos e información ecológica relevante. Dicha información geográfica digital contiene datos estructurados en forma vectorial codificados de acuerdo con el Diccionario de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación para la Escala 1:250 000, aplicables a las diferentes unidades ecológicas (comunidades vegetales y usos antrópicos) contenidas en el conjunto de datos. Se descargaron todas las series disponibles desde 1985 hasta 2021 (Tabla 1) para ser incorporadas en un sistema de información geográfica Quantum GIS (QGIS, 2022).

Tabla 1. Número de serie y año de referencia de cada una de las series de uso de suelo y vegetación publicadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2023)

Serie	Año de publicación
I	1991
II	2000
III	2005
IV	2010
V	2014
VI	2017
VII	2021

Análisis de datos

El análisis de los datos incluyó el procesamiento de los datos vectoriales de las coberturas de vegetación del bosque tropical caducifolio del estado de Sinaloa de cada una de las series de INEGI (Tabla 1), así como

la cobertura de uso agrícola de riego y de temporal. En este proceso, las capas se cortaron a nivel de estado, para posteriormente obtener el área y porcentaje que correspondía a cada una de las coberturas en cada serie de INEGI (I-VII). Posteriormente, todos estos datos se pasaron a una hoja de Excel, donde fueron procesados y graficados. Además, se relacionó el porcentaje de cobertura de bosque con el porcentaje de áreas de uso agrícola para cada uno de los años en los que fueron publicadas las series de INEGI. Esta relación se realizó ajustando un modelo lineal simple (Eq. 1), donde y es la variable respuesta (% de área perdida, x es la variable predictora (% de área con uso agrícola, y α (ordenada al origen) y β (pendiente) son los coeficientes del modelo.

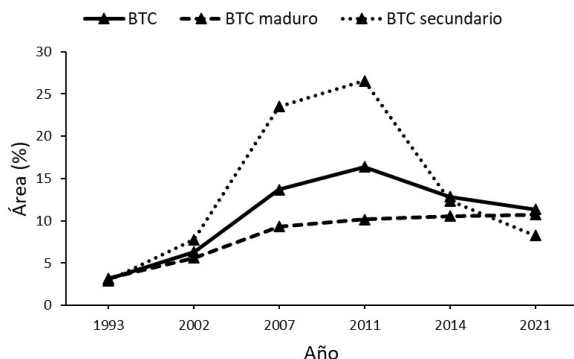
$$\text{Eq. 1} \quad y = \alpha + \beta x$$

Resultados y análisis

Cambios en la cobertura del BTC y áreas de uso agrícola

En este estudio se analizó el cambio de cobertura tanto del bosque tropical caducifolio (BTC) como de las áreas de uso agrícola para el estado de Sinaloa, usando las series de uso de suelo y vegetación de INEGI (I-VII) para el periodo 1991-2021. Se encontró que, en referencia a la cobertura del BTC de la primera serie de uso de suelo y vegetación publicada en 1991, este bosque sigue perdiendo su cobertura, alcanzando su pico más alto en el año 2011 (línea continua, Figura 2) y disminuyendo su pérdida hasta 11.3 % para el año 2021. Se puede observar que, de mantenerse esta tendencia, disminuirá la pérdida en las próximas décadas. Sin embargo, al analizar el BTC por tipo de bosque maduro y secundario, es notable que los bosques maduros presentan un aumento constante en la pérdida de cobertura con un máximo de hasta 10.7 % para el año 2021 (Figura 2).

Figura 2. Porcentaje (%) de pérdida de cobertura del bosque tropical caducifolio (BTC) para el periodo 1993-2021 con respecto a la serie I de INEGI. La línea continua representa el conjunto del BTC maduro y del BTC secundario

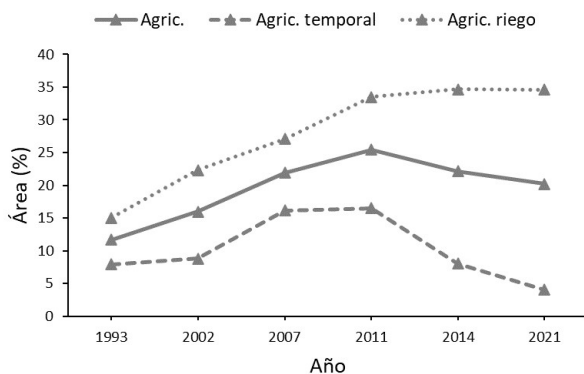


Esta situación es preocupante porque este tipo de bosques son más diversos comparados con los bosques secundarios (Álvarez-Yépiz et al., 2008; Bojórquez-Valdez, 2009), ya que en general almacenan mayor biomasa aérea (Becknell et al., 2012; Mora et al., 2017), y al continuar en disminución, implicaría una pérdida de la biodiversidad, servicios ecosistémicos y, en última instancia, pérdida del carbono aéreo almacenado, contribuyendo con esto al calentamiento global.

En el caso de los bosques secundarios (BTC secundario, Figura 2), la pérdida de cobertura se incrementó exponencialmente hasta 2011, alcanzando un pico máximo de 26.5 % y posteriormente una disminución abrupta de hasta 8.3 % para el año 2021. Este hallazgo es importante porque, aunque estos bosques son menos diversos que los bosques en estado maduro (Álvarez-Yépiz et al., 2008; Bojórquez Valdez, 2009), estos se encuentran en crecimiento, incrementando relativamente rápido la biomasa/carbono aéreo al aumentar el tiempo de abandono (Chazdon et al., 2016; Mora et al., 2017), contribuyendo con esto a la disminución del calentamiento global a través de la captación de carbono desde la atmósfera. Además, con el tiempo, estos bosques también tienen la capacidad de recuperar la diversidad y estructura (Álvarez-Yépiz et al., 2008; Bojórquez-Valdez, 2009; Gordillo-Ruiz et al., 2020), así como los servicios ecosistémicos que estos proveen a las sociedades.

En cuanto a la cobertura de tierras donde se realizan actividades agrícolas en el estado, se encontró que a nivel global la proporción de área de uso agrícola iba en aumento hasta 2011, observándose un decremento sutil y sostenido para el año 2021 con hasta 20.2 % (línea continua, Figura 3). Sin embargo, cuando evaluamos el cambio por tipo de actividad agrícola (de riego o de temporal), la situación se vuelve más dramática porque se puede observar un incremento mayor y constante de la agricultura de riego (Figura 3) respecto a la agricultura de temporal, con una pérdida máxima de 34 % para 2021. Esto se puede deber a que, en las últimas dos décadas, ha ocurrido un avance en las tecnologías de uso agrícola, pero también un mayor acceso a mejores maquinarias. Esto probablemente ha facilitado la conversión de áreas de bosques maduros y secundarios a áreas de actividad agrícola tecnificada para cubrir la demanda de alimentos de las poblaciones humanas tanto a nivel local, regional y nacional (CIEGSIN, 2023) a costa de la preservación del BTC. Por otro lado, en el caso de la agricultura de temporal (Figura 3), esta presentó una tendencia positiva y similar a la de la agricultura de riego hasta 2011, pero en menor magnitud, seguida por una disminución de 8.1 y 4.1 % para 2014 y 2021, respectivamente. Este hallazgo es importante, ya que esta actividad agrícola se desarrolla comúnmente en los valles de las partes altas de los lomeríos durante la temporada de lluvias, y aunque cubre menor extensión de tierra (14.3 % respecto al estado), esta presenta el menor porcentaje de pérdida para el año 2021 (INEGI, 2023). Probablemente una de las causas de la disminución de esta actividad en el estado es la migración de personas desde las áreas rurales hacia las grandes ciudades, ya sea por falta de oportunidades de trabajo o pérdida de fertilidad de los suelos (Murphy y Lugo, 1986), disminuyendo así el cambio de uso de suelo para desarrollar este tipo de actividad productiva.

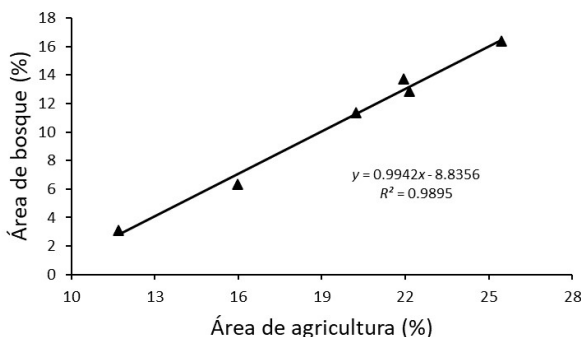
Figura 3. Cambio de cobertura de áreas de uso agrícola (temporal y de riego) en el estado de Sinaloa para el periodo de 1993-2021 con respecto a la serie I de INEGI. Línea continua: incluye el total de área que cubren en conjunto la agricultura (agric.) de riego y de temporal



Relación de la pérdida de BTC con áreas de uso agrícola

En cuanto a las causas de pérdida de BTC en México, se ha reportado que las actividades agrícolas son una de las principales causas del cambio de uso de suelo (Maass et al., 1995; Trejo y Dirzo, 2000). En el caso de este estudio, se analizó la relación entre la pérdida de cobertura (%) del BTC y áreas de uso agrícola, encontrándose una relación positiva ($R^2 = 0.99$, Figura 4) en la que el aumento del área de uso agrícola aumenta la pérdida de cobertura del BTC.

Figura 4. Relación entre la pérdida (%) del área de cobertura de BTC (incluye bosque maduro y secundario) y la cobertura de áreas (%) de uso agrícola (riego y de temporal) durante el periodo 1993-2021 con respecto a la serie I de INEGI. En la fórmula, y es el porcentaje de área perdida de BTC y x es el porcentaje de área con actividad agrícola. 0.9942 y 8.8356 son los coeficientes del modelo β y α . R^2 es el coeficiente de determinación del modelo

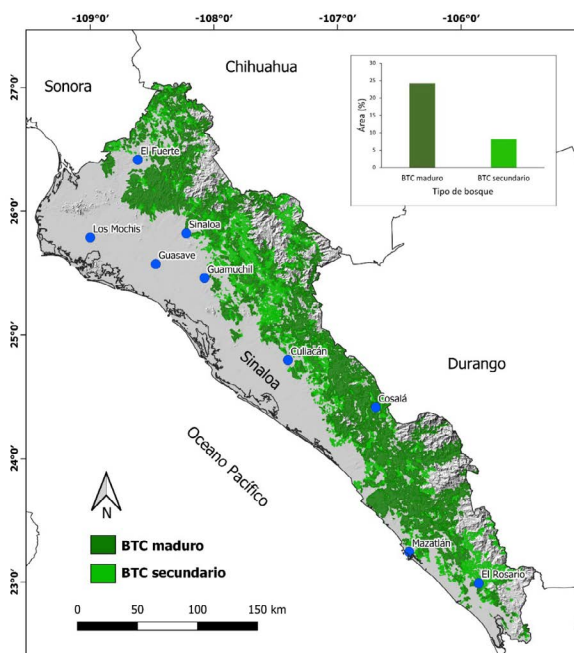


Este patrón ya ha sido reportado para muchas otras regiones del neotrópico, donde grandes áreas de bosques de BTC son taladas y convertidas a áreas de uso agrícola (Burgos y Maass, 2004; Maass et al., 2010). Otro factor que probablemente contribuye a que este bosque sea transformado respecto a bosques tropicales húmedos es la baja altura de dosel, la facilidad de quema y la alta fertilidad de los suelos (Maass et al., 1995; Murphy y Lugo, 1986).

Estado actual y conservación del BTC en el estado de Sinaloa

En cuanto a la distribución actual del BTC en el estado de Sinaloa, se encontró que en general este bosque cubre el 32.3 % de la superficie estatal (Figura 5), 10.1 y 24.8 % menos de cobertura respecto a lo reportado en la serie I de INEGI y Flores y Gerez (1994). En cuanto al área que cubre en su fase de BTC maduro y BTC secundario, esta fue de 24.1 y 8.2 %, respectivamente (Figuras 5 y 6).

Figura 5. Distribución del bosque tropical caducifolio (BTC) en el estado de Sinaloa (INEGI 2021). El porcentaje de cobertura estimado en la gráfica es con respecto al área estatal



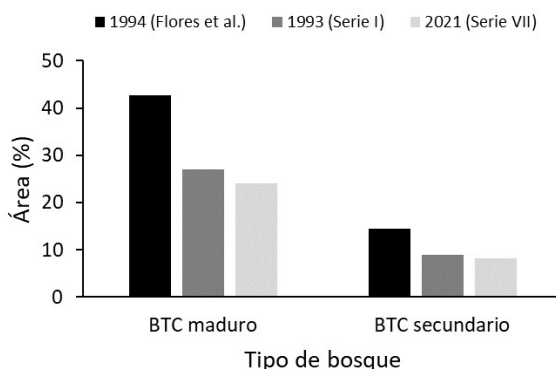
Estos valores son 2.9 y 0.7 % más bajos respecto a la serie I de INEGI (1993) (Figura 6) y mucho más bajos que la extensión de bosque reportada por Flores y Gerez (1995) con 18.7 y 6.2 % para BTC maduro y BTC secundario, respectivamente (Figura 6). Es importante resaltar las diferencias de pérdida de BTC que se obtienen usando como base diferentes fuentes; sin embargo, hasta 2021 fue notable que la cobertura del BTC a nivel estatal y en estado maduro presenta una tendencia a disminuir con una tasa de 0.8 y 0.2 % anual con respecto a Flores y Gerez (1994) y la Serie I de INEGI, respectivamente.

Lo anterior resalta la importancia de este estudio, ya que muestra la necesidad de tomar acciones rigurosas y radicales para desarrollar mejores prácticas de manejo y conservación de este tipo de bosque en el estado. Algunas de las acciones o mecanismos con los cuales se puede coadyuvar o detener la pérdida de bosque son por medio del estableci-

miento o decreto de áreas naturales protegidas. En cuanto a esto, en las últimas dos décadas solo se ha establecido en Sinaloa una reserva federal (SEMARNAT 2015), una zona sujeta a conservación ecológica (Rubio et al. 2010a) y recientemente dos áreas destinadas voluntariamente a la conservación (CONANP 2017).

En conjunto, estas cuatro áreas representan solo el 1.8 % de la distribución actual del BTC (INEGI 2021). Por lo anterior, es de vital importancia aumentar la extensión de áreas de conservación, ya que con estas también se preserva la diversidad y estructura de este tipo de bosque (Márquez-Salazar et al., 2019; Rubio et al., 2010a; Rubio et al., 2010).

Figura 6. Porcentaje (%) de cobertura de bosque tropical caducifolio (BTC) de acuerdo a Flores y Gerez (1994) (barras negras), Serie I (barras grises) y Serie VII (barras grises claras) de INEGI (1993)



Sin embargo, es posible que estas áreas no sean suficientemente representativas y no aseguren la conectividad de los distintos parches del BTC a nivel de paisaje y de región, por lo que se enfatiza la urgencia de mayores acciones y esfuerzos de conservación donde se integren sociedad y gobierno, tanto estatal como federal, para aumentar las áreas de conservación del BTC y, con ello, detener y/o disminuir la pérdida de este bosque en la región.

Conclusiones

En este estudio se analizó el cambio y estado actual del bosque tropical caducifolio (BTC) para el estado de Sinaloa, así como su relación con el aumento del área con actividad agrícola en las tres últimas décadas. Se encontró que la mayor pérdida de bosque ocurrió en el periodo de 2007 a 2011, tanto global como de bosques secundarios. En cuanto al BTC maduro, este mostró un aumento constante en la pérdida de cobertura para el periodo 2014-2021. Es importante resaltar que la pérdida de bosques se asoció fuertemente con el aumento de la cobertura de áreas de uso agrícola, un patrón generalizado para muchas áreas del trópico seco. De acuerdo a nuestros hallazgos y si las tendencias continúan, es probable que en las próximas décadas el bosque restante presente una fuerte reducción y fragmentación en su distribución, por lo que se recomienda urgentemente promover acciones y mejores políticas públicas para asegurar la conservación de este significativo ecosistema.

Agradecimientos

Al Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) por brindarme un espacio en el cual he realizado este estudio. Al CONAHCYT, hoy SECIHTI, por otorgarme la beca posdoctoral. Al proyecto PROFAPI 2023_040 JABV otorgado por ITSON para el financiamiento para equipo de cómputo.

Bibliografía

- Álvarez-Yépiz, J.C., Martínez-Yrizar, A., Búrquez, A., Lindquist, C. (2008). Variation in vegetation structure and soil properties related to land use history of old-growth and secondary tropical dry forests in northwestern Mexico. *Forest Ecology and Management*, 256 (3): 355–366. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.04.049>
- Becknell, J.M., Kissing Kucek, L., Powers, J.S. (2012). Aboveground biomass in mature and secondary seasonally dry tropical forests: A literature review and global synthesis. *Forest Ecology and Management*, 276: 88–95. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.03.033>

- Beltrán, R.Y., y Bárcenas, H. (2010a). Meseta de Cacaxtla, Sinaloa. En: Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, E., Creel Bezaury, J., Dirzo, R. (Eds). *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México*. CONABIO, Ciudad de México. 405–409 pp.
- Beltrán, R.Y., y Bárcenas, H. (2010b). El Mineral de Nuestra Señora, Cosalá, Sinaloa. En: Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, E., Creel Bezaury, J., Dirzo, R. (Eds). *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México*. CONABIO. Pp. 410–414.
- Bezaury, J., (2010). Las selvas secas del Pacífico mexicano en el contexto mundial. En: Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, E., Bezaury C., J., Dirzo, R. (Eds). *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico Mexicano*. Comisión Nacional para el Estudio de la Biodiversidad (CONABIO). Pp. 21–41.
- Bojórquez Valdez, J.A. (2009). *Cambios sucesionales en la vegetación del cerro del Realito, municipio de Sinaloa, Sinaloa, México*. Universidad Autónoma de Sinaloa. Tesis de licenciatura.
- Brown, S., y Lugo, A.E. 1990. Tropical secondary forests. *Journal of Tropical Ecology*, 6 (1): 1–32.
- Burgos, A., y Maass, J.M. (2004). Vegetation change associated with land-use in tropical dry forest areas of Western Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104 (3): 475–481. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2004.01.038>
- Búrquez, A., Martínez-Yrizar, A. (2010). Límites geográficos entre selvas secas y matorrales espinosos y xerófilos: ¿que conservar? En: Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, G., Bezaury C., J., Dirzo, R. (Eds). *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México*. Pp. 53–63.
- Chazdon, R.L. (2003). Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbances. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 6 (1): 51–71. <https://doi.org/10.1078/1433-8319-00042>
- Chazdon, R.L., Broadbent, E.N., Rozendaal, D.M.A., Bongers, F., Zambrano, A.M.A., Aide, T.M. (2016). Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in *the Latin American tropics*.

- Science Advances*, 2 (5). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501639>
- CIEGSIN, (2023). *Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica del Estado de Sinaloa* [WWW Document]. URL https://estadisticas.sinaloa.gob.mx/EE_Sinaloav2.aspx#. Consultado julio 02, 2023.
- CONANP, (2023). *Información espacial de las Áreas Naturales Protegidas* [WWW Document]. URL http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/info_shape.htm. Consultado julio 03, 2023.
- CONANP (2017). CONANP y el gobierno de Sinaloa fortalecen las áreas naturales protegidas [WWW Document]. URL <https://www.gob.mx/conanp/prensa/conanp-y-el-gobierno-de-sinaloa-fortalecen-las-areas-naturales-protegidas>. Consultado julio 03, 2023.
- Dirzo, R., Young, H.S., Mooney, H.A., Ceballos, G., (2011). Introduction. En: Dirzo, R., Young, H.S., Mooney, H.A., Ceballos, G. (Eds). *Seasonally Dry Tropical Forests: Ecology and Conservation*. Island Press.
- FAO, 2012. El estado de los bosques del mundo 2012, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma.
- Flores, O., y Gerez, P. (1994). Sinaloa. En: Flores Villela, O., Gerez, P. (Eds). *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso de suelo*. Universidad Nacional Autónoma de México, D.F. 223–228, pp.
- Gordillo Ruiz, M.C., Pérez Farrera, M.Á., Castillo Santiago, M.Á. (2020). Estructura y composición arbórea del bosque tropical caducifolio secundario en la Depresión Central, Chiapas, México. *Madera y Bosques*, 26 (3): 1–15. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2632055>
- Hoekstra, J.M., Boucher, T.M., Ricketts, T.H., Roberts, C. (2005). Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection. *Ecology Letters*, 8: 23–29. <https://doi.org/10.1111/J.1461-0248.2004.00686.X>
- INEGI (2023). Uso de suelo y vegetación [WWW Document]. URL <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>. Consultado julio 01, 2023.
- INEGI (2021). *Conjunto de datos vectoriales del uso de suelo y vegetación escala 1:250 000*. Serie VII [WWW Document]. Inst. Nac. Estadística y Geogr.
- INEGI (2019). *Edafología* [WWW Document]. URL <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/>. Consultado junio 12, 2019.
- Janzen, D.H. (1988). Tropical dry forests: The most endangered major

- tropical ecosystem. En: Wilson, E.O., Peter, F.M. (Eds). *Biodiversity. National Academies Press (US)*, 130–137 pp.
- Jaramillo, V.J., y Murray-Tortarolo, G.N. (2019). Tropical dry forest soils: global change and local-scale consequences for soil biogeochemical processes. En: Busse, M., Giardina, C.P., Morris, D.M., Page-Dumroese, D.S. (Eds). *Global Change and Forest soils: cultivating stewardship of a finite natural resource. Elsevier, Amsterdam*. 109–130 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63998-1.00007-0>
- Maass, J.M., Vose, J.M., Swank, W.T., Martínez-Yrizar, A. (1995). Seasonal changes of leaf area index (LAI) in a tropical deciduous forest in west Mexico. *Forest Ecology and Management*, 74 (1-3): 171–180. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(94\)03485-F](https://doi.org/10.1016/0378-1127(94)03485-F)
- Maass, M., Búrquez, A., Trejo, I., Valenzuela, D., González, M.A., Rodríguez, M. (2010). Amenazas. En: Ceballos, G., Martínez, L., García, A., Espinoza, E., Bezaury-Creel, J., Dirzo, R. (Eds). *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México*. Fondo de Cultura Económica. 321–349 pp.
- Márquez-Salazar, G., Salomón-Montijo, B., Reyes-Olivas, Á., Amador-Medina, M., Millán-Otero, G. (2019). Composición y diversidad florística de bosques secos en la Meseta de Cacaxtla, Sinaloa, México. *Gayana Botánica*, 76 (2): 176–188. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432019000200176>
- Martínez-Ramos, M., y García-Orth, X. (2007). Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Boletín la Sociedad Botánica de México*, 80: 69–84. DOI: 10.17129/botsoci.1758
- Miles, L., Newton, A.C., DeFries, R.S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S. (2006). A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33 (3): 491–505. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01424.x>
- Mora, F., Jaramillo, V.J., Bhaskar, R., Gavito, M., Siddique, I., Byrnes, J.E.K. (2017). Carbon accumulation in Neotropical dry secondary forests: the roles of forest age and tree dominance and diversity. *Ecosystems*, 21: 536–550. <https://doi.org/10.1007/s10021-017-0168-2>
- Murphy, P.G., y Lugo, A. E. (1986). Ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17: 67–88.
- Ocón, J.P., Ibanez, T., Franklin, J., Pau, S., Keppel, G., Rivas-Torres, G.

- (2021). Global tropical dry forest extent and cover: A comparative study of bioclimatic definitions using two climatic data sets. *PLoS One*, 16 (5): e0252063. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0252063>
- Olson, D.M., y Dinerstein, E. (2002). The global 200: Priority ecoregions for global conservation. *Annals Of the Missouri Botanical Garden*, 89: 199–224. <https://doi.org/10.2307/3298564>
- Poorter, L., Bongers, F., Aide, T.M., Almeyda Zambrano, A.M., Balvanera, P., Becknell, J.M. (2016). Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature*, 530: 211–214. <https://doi.org/10.1038/nature16512>
- QGIS, (2022). *Quantum Geographic Information System* (3.16.5-Hannover).
- Rzedowski, J. (2006). Bosque tropical caducifolio. En: Rzedowski, J. (Ed). *Vegetación de México. Comisión Nacional para el Estudio de la Biodiversidad* (CONABIO). 200–214 pp.
- Sánchez-Azofeifa, G.A., Kalacska, M., Quesada, M., Calvo-Alvarado, J.C., Nassar, J.M., Rodriguez, J.P. (2005). Need for integrated research for a sustainable future in tropical dry forests. *Conservation Biology*, 19 (2): 285–286. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.s01_1.x
- SEMARNAT, (2015). *Acuerdo por el que se da a conocer el resumen del programa de manejo del área de protección de flora y fauna Meseta de Cacaxtla*.
- Trejo, I., y Dirzo, R. (2000). Deforestation of seasonally dry tropical forest: A national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation*, 94 (2):133–142. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(99\)00188-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00188-3)
- Trejo-Vázquez, I. 1999. El clima de la selva baja caducifolia en México. *Boletín de Investigaciones Geográficas*, 39:40–52.
- Uhl, C., Journal, S., Jun, N. (1987). Factors Controlling Succession Following Slash-and-Burn Agriculture in Amazonia. *Journal of Ecology*, 75 (2): 377–407.

Cochlospermum vitifolium (Rosa amarilla) en el bosque seco del Cerro del Tule, Concordia (J. Díaz)

