



Deforestación en el municipio de Bacalar, Quintana Roo, México durante el período 1993-2017

Deforestation in the municipality of Bacalar, Quintana Roo, Mexico during the period 1993-2017

Saida Aglae Huchin Ochoa¹, Angélica Navarro-Martínez^{1*}, Edward Alan Ellis² e Irving Uriel Hernández Gómez²

¹ El Colegio de la Frontera Sur. Unidad Chetumal.
Chetumal, Quintana Roo, México.

* Autora de correspondencia. manava@ecosur.mx

² Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.

RESUMEN

La deforestación por cambios en el uso del suelo forestal a otro no forestal ha sido considerada una de las principales causas de pérdida de diversidad biológica, incremento de emisiones de bióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero. En las últimas décadas se han manifestado importantes cambios en la cobertura forestal del municipio de Bacalar. Con la finalidad de contribuir a la gestión sostenible de las selvas de dicho municipio, a través del análisis de imágenes de satélite y sistemas de información geográfica, se estudió la dinámica de cambio en la cobertura forestal durante el periodo 1993-2017; además se determinaron los principales impulsores de la deforestación con la integración de información ecológica, socioeconómica e institucional georreferenciadas a escala de comunidad y aplicando la prueba estadística ANOVA. Los resultados muestran que durante el periodo de estudio se perdió un total de 75 263 hectáreas de cobertura forestal, lo que representa una tasa anual de deforestación de 0.7%. La mayor deforestación ocurrió en la región suroeste de Bacalar. La deforestación en comunidades ejidales fue asociada con la urbanización, parcelación de tierras comunales, número de terrenos bajo producción, así como la antigüedad y población total. Ejidos con mayor porcentaje de vegetación secundaria y madura, y menor número de ejidatarios y *avecindados*, tienden a deforestar menos. Esta información es de gran utilidad para orientar las políticas públicas relacionadas con la planeación del territorio en la región.

PALABRAS CLAVE: análisis de comunidad, bosque tropical, impulsores de deforestación, dinámica forestal, imágenes de satélite, sistemas de información geográfica.

ABSTRACT

Deforestation due to land use change has been considered one of the leading causes of biological diversity loss, increasing carbon emissions, and other greenhouse gases. In recent decades there have been drastic changes in the forest cover of the municipality of Bacalar, Quintana Roo. To contribute to the sustainable management of the forests of Bacalar, forest cover change dynamics during the period 1993-2017 were studied through the analysis of satellite images and GIS; in addition, the main drivers of deforestation were identified with the integration of georeferenced ecological, socioeconomic, and institutional information at the community level, using ANOVA statistics. Results show that a total of 75 263 ha of forest cover was lost during the study period, representing an annual deforestation rate of 0.7%. Most deforestation occurred in the southwestern region of Bacalar. Deforestation in ejido communities was associated with urbanization, parcellation of communal lands, the number of parcels under production, as well as the age and total population. Communities with larger proportions of secondary and mature forests, and the number of ejido members (*ejidatarios*) or non-member residents (*avecindados*), tended to have lower deforestation. The results of this study are useful to guide public policies related to land use planning in the region.

KEYWORDS: community analysis, tropical forests, drivers of deforestation, forest dynamics, satellite images, geographic information systems.

INTRODUCCIÓN

Grandes extensiones forestales en el mundo sufren amenazas debido a las actividades antropogénicas que transforman su estructura y funcionamiento y ponen en riesgo la provisión de servicios ecosistémicos (Venegas-López, 2016). La dinámica de cobertura forestal generada por el proceso de deforestación y el cambio de uso del suelo, a menudo, reflejan alteraciones que afectan la capacidad de los bosques para proporcionar bienes y servicios importantes a escala mundial. La deforestación es considerada una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad, del incremento de gases de efecto invernadero (GEI) y de la disminución de los servicios ecosistémicos (Budiharta et al., 2014). Las tasas de deforestación registradas para México son variadas debido a los diferentes métodos, objetivos, escalas e insumos utilizados para su estimación (Vanegas-López, 2016). El monitoreo de la deforestación y la definición de sus determinantes son esenciales para la formulación de políticas públicas y la toma de decisiones sobre gestión forestal a escala regional, nacional y mundial (FAO, 2010b; Velázquez et al., 2002).

Existen diversos intentos por definir la deforestación. A escala general, se ha descrito como un proceso que implica el cambio permanente de la cobertura forestal a otro uso del suelo no forestal (agrícola, ganadero, urbano, etc.) por causas inducidas o naturales (Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos, 2018). De acuerdo con la (FAO, 2010a), la deforestación se considera como el cambio permanente de la cubierta forestal a una superficie con una cobertura de las copas de los árboles menor a 10%, con el consecuente cambio de uso del suelo.

Según datos de la FAO (2015; 2016), para 1990, a escala mundial existía un total de 4128 (31.6%) millones de hectáreas de bosque; en 2015, esa superficie disminuyó a 3999 (30.6%) millones de hectáreas; durante este periodo se registró una pérdida neta de alrededor de 129 millones de hectáreas de bosque, que representan una tasa anual de pérdida de 0.1%. Para el periodo 2000-2010, la región

tropical registró el mayor descenso de la superficie forestal con una disminución neta de 7 millones de hectáreas anuales en comparación con los climas boreal, templado y subtropical (FAO, 2018).

Para México, durante el periodo 2001-2018, se perdieron en promedio 212 070 ha al año, el valor mínimo de deforestación ocurrió en el año 2001 (79 672 ha) y el máximo en 2016 (350 298 ha). El comportamiento de la deforestación bruta muestra una tendencia general creciente desde 2001 hasta 2016, con el máximo en el último año del periodo; pero después de 2016 se observa una tendencia decreciente (Comisión Nacional Forestal [Conafor], 2018). Entre 1990 y 2000 se calcula que se perdieron 354 mil hectáreas anuales; esta cifra se redujo a 235 mil y 155 mil para los periodos 2000-2005 y 2005-2010, respectivamente (Sánchez-Colón et al., 2009).

En México se localiza la Selva Maya, que constituye uno de los últimos macizos compactos de bosque tropical en América central y del norte; se extiende por el sur de México en los estados de Quintana Roo y Campeche hasta el norte de Guatemala y Belice (Proyecto para la Consolidación del Corredor Biológico Mesoamericano, 2002; Pantoja-Campa, 2016). Quintana Roo cuenta con una extensión territorial de 4 455 627 ha, de las que 3 773 023 ha se consideran forestales; la superficie restante incluye otros usos de la tierra (agrícola, pastizal, asentamientos humanos, cuerpos de agua). Además, de los factores antropogénicos mencionados, la vegetación en la región muestra perturbaciones por la constante ocurrencia de huracanes e incendios forestales. A escala estatal, 37.8% de la vegetación se encuentra en una etapa madura; mientras que 62.2% corresponde a selvas secundarias jóvenes (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2014). Durante el periodo de 1993-2002, para Quintana Roo se registró una pérdida anual de cobertura forestal de 11 300 hectáreas, lo que representa una tasa de 0.3% (Céspedes-Flores y Moreno-Sánchez, 2010). Pero en las últimas dos décadas, la tasa anual de deforestación en el estado se ha reducido a 0.1% (Ellis, Romero-Montero y Hernández-Gómez, 2017).



De acuerdo con Ellis et al. (2015), durante el periodo de 2001-2013, uno de los municipios con mayor pérdida de cobertura forestal en Quintana Roo fue Bacalar, con una tasa de deforestación de 0.7%. Una de las posibles razones es que, en los últimos 15 años, la actividad turística en el municipio ha incrementado sustancialmente y ha contribuido significativamente a la pérdida de cobertura vegetal y a la transformación del territorio, debido al incremento en la construcción de infraestructura turística (Rosado y Medina, 2013). Por otro lado, la expansión agropecuaria en el municipio ha sido evidente en los últimos 20 años (Ellis et al., 2020).

Determinar las causas que originan la deforestación es complejo. No obstante, sobre este aspecto, en México se han llevado a cabo varios estudios, principalmente a escala nacional y generalmente con mucha incertidumbre, además de que, aunque casi siempre se atribuye la deforestación a cambios en el uso del suelo por agricultura y extracción maderable, en escasas ocasiones se han analizado los impulsores subyacentes de la deforestación (López, 2012; Rosete-Vergés et al., 2014). Para lograr una comprensión de este proceso, así como sus causas, se requiere de estudios a diferentes resoluciones espaciales y temporales (Magliocca et al., 2015; Ellis et al., 2021), además de la incorporación de metodologías que involucren los aspectos sociales y los integren con factores ecológicos y geoespaciales.

Sin embargo, aún son escasos los estudios que han evaluado los procesos de deforestación a escala de comunidad integrando los factores ambientales, socioeconómicos e institucionales que intervienen en el cambio de usos de suelo y cobertura forestal (Gómez Pech et al., 2018; Ellis et al., 2021).

OBJETIVOS

El objetivo de este estudio fue evaluar la dinámica de cambio en la cobertura forestal en el municipio de Bacalar, Quintana Roo, México durante los periodos 1993-2001, 2001-2011, 2011-2017 y 1993-2017 e identificar los principales determinantes ambientales, socioeconómicos e institucionales de la deforestación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El municipio de Bacalar fue constituido el 02 de febrero de 2011 mediante decreto del Congreso de Quintana Roo, segregando su territorio de Othón P. Blanco. Se ubica en el sur del estado de Quintana Roo, en las coordenadas geográficas 18°40'37" de latitud norte y 88°23'43" longitud oeste (Fig. 1), a una altitud de 20 m s.n.m. (Rodríguez-Alcalá y Fregoso-Lomas, 2015). El clima es de tipo *Aw* o cálido subhúmedo, con lluvias en verano y seco en invierno (García, 2004). La temperatura media anual del municipio varía entre 24 °C y 28 °C, con un intervalo de precipitación de 1100 mm a 1500 mm (Instituto nacional de Estadística, Geografía e Informática [Inegi], 2009). De acuerdo con el Inegi (2009), el suelo corresponde a los tipos Leptosol, Litosol, Redzina, Vertisol pélico, Gleysol, Regosol y Luvisol

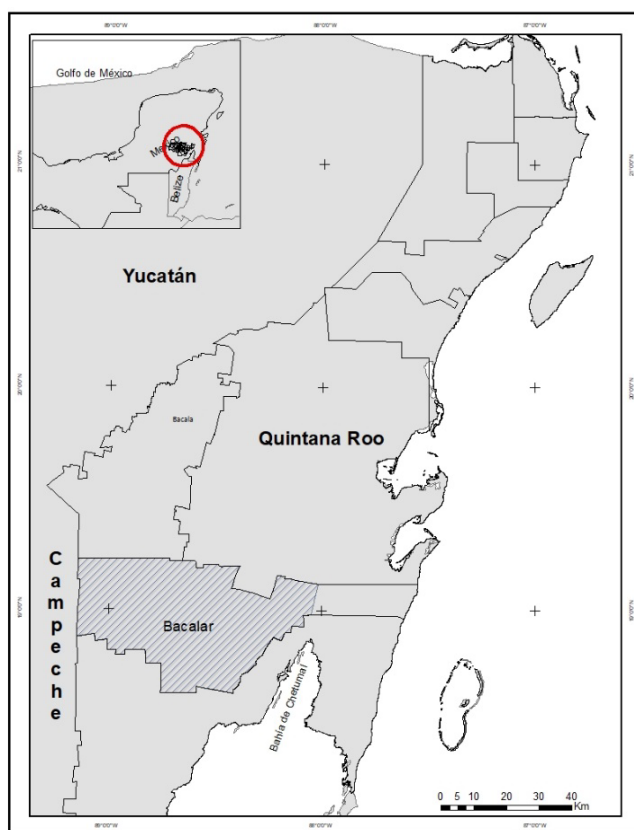


FIGURA 1. Ubicación del área de estudio.

crómico. El principal tipo vegetación corresponde predominantemente a la selva mediana subperennifolia en diferentes etapas sucesionales que cubren una superficie de 404 145 ha (56.6% del territorio municipal); seguida por la selva baja subperennifolia con una superficie de 175 087 ha (24.5%), el manglar (2.1%) y el tular (2.0%). Las selvas maduras cubren 81 691.52 ha (11.4% del territorio municipal; Gobierno del Estado de Quintana Roo (2011-2016), s. f.; Inegi, 2016). Dentro de esta gran matriz de vegetación están los usos agropecuarios con una superficie de 89 531.86 ha (12.5% de la superficie municipal). Los cuerpos de agua, principalmente lagunas y cenotes, cubren tan solo 1.1% de la superficie total del municipio (Inegi, 2009).

La superficie del municipio es de 7161 km² que representan 14% de la superficie estatal. El municipio está integrado por 54 ejidos (Municipio de Bacalar, 2016); De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda (Inegi, 2020), las principales características socioeconómicas del municipio son: 41 754 habitantes de los que alrededor de 37.1% nacieron en una entidad distinta (Veracruz, Tabasco, Chiapas, Campeche, Puebla, Michoacán, Toluca, Guerrero y Jalisco) o en el extranjero (Belice, Canadá); ocupa el primer lugar en analfabetismo con 12.9%; 26.6% de la población de tres o más años habla alguna lengua indígena (59.7%, principalmente maya). Las principales actividades económicas son la agricultura, la ganadería y el aprovechamiento forestal maderable (Inegi, 2016). La migración es un fenómeno que ha incrementado significativamente en los últimos años en Bacalar derivado de las oportunidades económicas y de empleo que representa el turismo; 4.18% de la población de cinco o más años son de reciente arribo (2010) al municipio; la atracción turística es mayor en hombres (4.39%) que en mujeres (3.97%) (Municipio de Bacalar, 2016). Además, a partir del año 2000, se han instalado en la región comunidades menonitas con grandes extensiones de terreno agrícola mecanizado y urbano, provenientes de Belice, Canadá, Chihuahua, Durango, Zacatecas y Campeche (Uh, 2013; Ellis et al., 2020). Huracanes e incendios forestales son fenómenos recurrentes en la región. Históricamente, estos

han tenido un papel fundamental en la regeneración y dinámica de las selvas quintanarroenses (Vester y Navarro, 2007; Pereira, 2013).

Clasificación supervisada

Para evaluar la dinámica de cambio en la cobertura forestal en cuatro periodos: 1993-2001, 2001-2011, 2011-2017 y 1993-2017, se usaron imágenes satelitales con una resolución espacial de 30 m del sensor Landsat en formato Nivel 2 el cual ya tiene procesada la corrección geométrica y atmosférica con valores de reflectancia y no de números digitales (DN) y con menos de 10% de nubosidad, obtenidas del sitio web United States Geological Survey [USGS] (s.f.). En total se utilizaron cuatro imágenes con las siguientes características: Patch 19 y Row 47 y 48 de las fechas siguientes: Landsat 8 OLI, 22 de noviembre de 2017; Landsat 7 ETM, 15 de febrero de 2011; Landsat 7 ETM, 7 de marzo de 2001 y Landsat 5 TM, 10 de abril de 1993. Se corrigió el error de escaneo Landsat 7 de la imagen 2011, utilizando la herramienta GapFill de ArcGIS 10.3. (Environmental Systems Research Institute, Inc. [ESRI], 2014) Todas las imágenes fueron seleccionadas para coincidir con el periodo seco (noviembre a abril).

Posteriormente, se realizó una clasificación supervisada, proceso en el que, de acuerdo con los valores de reflectancia de píxeles usados como firmas espectrales de clases de vegetación y uso de suelo, se clasifica la imagen del área de estudio con las clases consideradas (Chuvieco, 2008). Se utilizó el algoritmo de *Maximum Likelihood Classifier* (clasificador de máxima verisimilitud) en el software ArcGIS 10.3. Las firmas espectrales se crearon con base en puntos de validación georreferenciados de los diversos tipos de vegetación y usos del suelo. Los muestreos en campo se realizaron entre mayo y diciembre del 2019 y consistieron en transectos (caminos secundarios y terracerías por todo el territorio del municipio) en que se capturaron, a cada 5 km a 7 km del transecto, los datos sobre el tipo de vegetación, estado sucesional y uso de suelo a una distancia de 200 m a la derecha o izquierda del transecto determinado al azar; los puntos de registro fueron georreferenciados. Se obtuvo un total de 63 puntos de



validación dentro de siete transectos, utilizando el Garmin Etrex10 con un error de 5 m o menos. Las categorías o clases con la que se clasificó la vegetación y el uso del suelo son: 1) deforestado (agricultura, mecanizado, pasto); 2) vegetación secundaria; 3) selva mediana; 4) selva baja; 5) agua; 6) nubes y 7) sombras de nubes. Para determinar la presencia de áreas con cobertura forestal y deforestadas se categorizó la cobertura en 0 y 1, donde el 0 se consideró deforestado (agrícolas, ganadero) y el 1 forestado (vegetación secundaria, selva mediana y selva baja). El agua, las nubes y la sombra de nubes de cada periodo se consideró como “sin datos” y fueron agrupados en una sola clase que se enmascaró y eliminó de los análisis de cambio evitando sobreestimar las superficies forestales y deforestados.

Análisis de fiabilidad

Se utilizaron los puntos de validación para evaluar la fiabilidad del mapa de clasificación de vegetación y cobertura forestal generado para 2017. Se aplicó el método de análisis de fiabilidad propuesto por Olofsson et al. (2013) con el complemento AccurAssess del software QGIS 3.4 (Mas et al., 2014). Como tal, este proceso compara la certeza de la clasificación supervisada actual (2017) con los puntos de validación en campo, a su vez elabora la matriz de confusión la cual muestra la confusión de las clases clasificadas con las tomadas en campo (Chang Martínez et al., 2020).

Cálculo de la tasa de deforestación

Para calcular la tasa de cambio (TC; %) se utilizó la ecuación de Palacio-Prieto et al., 2004 (ecuación 1).

$$TC = \left(\left(\frac{T_2}{T_1} \right) \frac{1}{n-1} \right) * 100 \quad (1)$$

donde:

TC : Tasa de cambio

T1 : Cobertura en el año de inicio (con el que se quiere comparar)

T2 : Cobertura en el año actual o más reciente

n : Número de años entre T1 y T2

La TC es un indicador de presión que permite conocer la magnitud y velocidad con que se está presentando el proceso de deforestación; cuando el valor es negativo, se refiere a la pérdida de cobertura forestal de la clase; mientras que una TC positiva sugiere la recuperación o ganancia de cobertura forestal (Falcón, 2014). Sin embargo, para fines de presentar los resultados y para los análisis estadísticos, se invirtieron los signos de los valores, donde un signo positivo implica la pérdida de cobertura forestal y viceversa.

Selección de variables para la evaluación de impulsores de deforestación

Con la finalidad de identificar los posibles impulsores de la deforestación durante el periodo 1993-2017 a escala de comunidad (ejido), se recopiló información de una serie de variables ambientales, socioeconómicas e institucionales (consideradas como variables independientes) obtenidas de bases de datos de distintas instituciones de gobierno como el Inegi, la Comisión Nacional de Población (Conapo), la Conafor, la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI), la Semarnat y el Registro Agrario Nacional (RAN). Para seleccionar las variables que mejor explicaran el proceso de deforestación y evitaran redundancia entre las mismas, se realizó un análisis de correlación Pearson (Pineda et al., 2009). De todas las variables recopiladas para el estudio, se seleccionaron aquellas con valores de correlación debajo de 0.75. Luego se calculó el factor de inflación de la varianza (VIF) para las variables independientes seleccionadas, indicando valores inferiores a 5, considerados ligeramente a moderadamente correlacionados. Se utilizó el software XLSTAT 2020 versión 2020.1.1.6443 (Addinsoft, 2020) para las pruebas de correlación Pearson y el VIF. De un total de 32 variables independientes, se seleccionaron 22 relacionadas con aspectos demográficos, económicos y culturales: las variables ambientales incluyeron elevación, pendiente, número de incendios, y porcentaje de vegetación secundaria y madura; las variables socioeconómicas incluyeron

indicadores demográficos, productivos, y de urbanización y marginalización; mientras que, las variables institucionales correspondieron a aspectos de la tenencia de la tierra y apoyos de programas (Conafor y CDI) (Tabla 1).

Análisis estadístico

Se empleó la prueba de ANOVA para evaluar el efecto de las variables independientes en la tasa y porcentaje de

deforestación en los ejidos. Antes de realizar el ANOVA, se exploró la normalidad de los datos dependientes usando la prueba Kolmogórov-Smirnov. Los datos dependientes de tasa y porcentaje deforestación en 54 ejidos presentaron normalidad ($p > 0.5$). Se utilizó el software XLSTAT 2020 para las pruebas ANOVA usando la opción “*Best Model*” para que seleccionara entre 5 y 8 variables que mejor se ajustaran al modelo.

TABLA 1. Variables utilizadas para análisis de impulsores de deforestación en el Municipio de Bacalar en el periodo 1993 a 2017.

<i>Variable</i>	<i>Tipo de variable</i>	<i>Descripción</i>	<i>Fuente</i>
Incendios		Número de incendios	Conafor
%Mad		Porcentaje de vegetación madura	Inegi
%Sec	Ambiental	Porcentaje de vegetación secundaria	Inegi
proeleva		Promedios de elevación	Inegi
pro_pen		Promedio de la pendiente	Inegi
C_IM95_10		Cambio neto del índice de marginación 1995-2010	Conapo
IML_10		Índice de marginación 2010	Conapo
tcp95_10	Socioeconómica	Tasa de cambio poblacional 1995-2010	Inegi
Pob_Tot10		Población total 2010	Inegi
supprod		Superficie de terrenos bajo producción	RAN
terrprod		Número de terrenos bajo producción	RAN
Ant		Antigüedad del ejido	RAN
Avec		Numero de vecindados	RAN
CDI		Apoyo económico de Comisión Nacional para el desarrollo de pueblos indígenas	CDI
dinconafor		Apoyo económico de la Comisión Nacional Forestal	Conafor
disturb		Distancia a zonas urbanas	RAN
Dot	Institucional	Año de dotación del ejido	RAN
ejidohectares		Tamaño del ejido	RAN
Ejioco		Número de ejidatarios	RAN
proconaf		Número de proyectos Comisión Nacional Forestal	Conafor
z_par		Zona parcelada	RAN
zona_ur		Zona urbana	RAN



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dinámica de cambio

El análisis de fiabilidad de la clasificación original de vegetación y usos de suelo del 2017 arrojó una certeza general de 0.73%, los errores principales se deben a la confusión entre la vegetación secundaria y selva mediana, así como entre vegetación secundaria y selva baja. La fiabilidad de los datos reclasificados a forestal y deforestado se incrementó a 0.96% indicando su aptitud para evaluar los cambios en la cobertura forestal (i.e. deforestación y recuperación). Los resultados sugieren que, durante un periodo de 24 años, el municipio de Bacalar perdió 75 263 ha de cobertura forestal, lo que representa una tasa anual de deforestación de 0.7% y un promedio anual de pérdida de cobertura forestal de 3136 ha (Tabla 2). La mayor deforestación se observó en la región suroeste del municipio (Fig. 2). Ellis et al. (2021) encontraron que, en un periodo de 18 años (2000-2018), el municipio de Bacalar perdió casi la mitad de esta superficie (38 358 ha) y ocupó el segundo lugar en deforestación a escala estatal; por otro lado, representa el municipio con mayor degradación (102 648 ha, 17.05%) dentro de la Selva Maya de Quintana Roo. Por su parte, el Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A. C. (CCMSS) y el CentroGeo estimaron que, durante un periodo de 15 años (2003-2018), en el sur del estado de Quintana Roo, se perdieron un total de 194 006 ha de selva debido al incremento de la frontera agroindustrial (caña de azúcar, sorgo, soya y plantaciones de limón), la ganadera y al desarrollo urbano y turístico (CCMSS, 2020).

Durante el periodo 1993-2001, la pérdida fue de 37 608 ha de selva, que representan una tasa anual de deforestación de 1.0%; mientras que la pérdida de cobertura forestal promedio anual fue de 4701 ha. Para el periodo 2001-2011, hubo una leve recuperación neta de cobertura forestal (-0.1%). Sin embargo, en el periodo más reciente (2011-2017) se vio una mayor pérdida de cobertura forestal en el municipio, alcanzando una tasa anual de deforestación de 1.7% o 7363 ha anuales. La mayor deforestación se observó en el ejido Salamanca (comunidad menonita), creado en el año 2006. Al respecto, Piedra (2016) encontró que, entre 2002 y 2013, Salamanca perdió 66% de su territorio y que, para el año 2011, el índice de deforestación fue el más alto debido a la siembra de soya, cuya superficie osciló entre 1320 ha y 1800 ha, dedicadas exclusivamente al cultivo de dicho producto.

Estos resultados concuerdan con las estimaciones de Madrid Zuribán et al. (2021) y muestran un aumento en la pérdida de cobertura forestal en la última década comparando con los resultados de otros autores en regiones aledañas al área de estudio en la década de los ochenta. Por ejemplo, Cortina-Villar et al. (1999) encontraron que, para el periodo de 1984-1990, la vegetación del sur de Quintana Roo tuvo una ganancia de cobertura forestal de 6746 ha (0.33%). Por otro lado, en la década de los noventa, García et al. (2005) estimaron, para el periodo de 1990-2000, una recuperación de selvas con una tasa de 0.6% en tres ejidos cercanos al área de estudio; en este caso, la recuperación de la selva se atribuyó al abandono de apoyos de gobierno para el campo en los años 1970 y 1980.

TABLA 2. Cambio de cobertura forestal en el municipio de Bacalar durante periodo 1993-2017.

<i>Periodo</i>	<i>Cambio de cobertura forestal (ha)</i>	<i>Cambio de cobertura forestal promedio anual (ha)</i>	<i>Tasa de deforestación anual promedio (%)</i>
1993-2001	-37 608.0	-4 701.0	1.0
2001-2011	+6 520.0	+652.0	-0.1
2011-2017	-44 175.0	-7 363.0	1.7
1993-2017	-75 263.0	-3 136.0	0.7

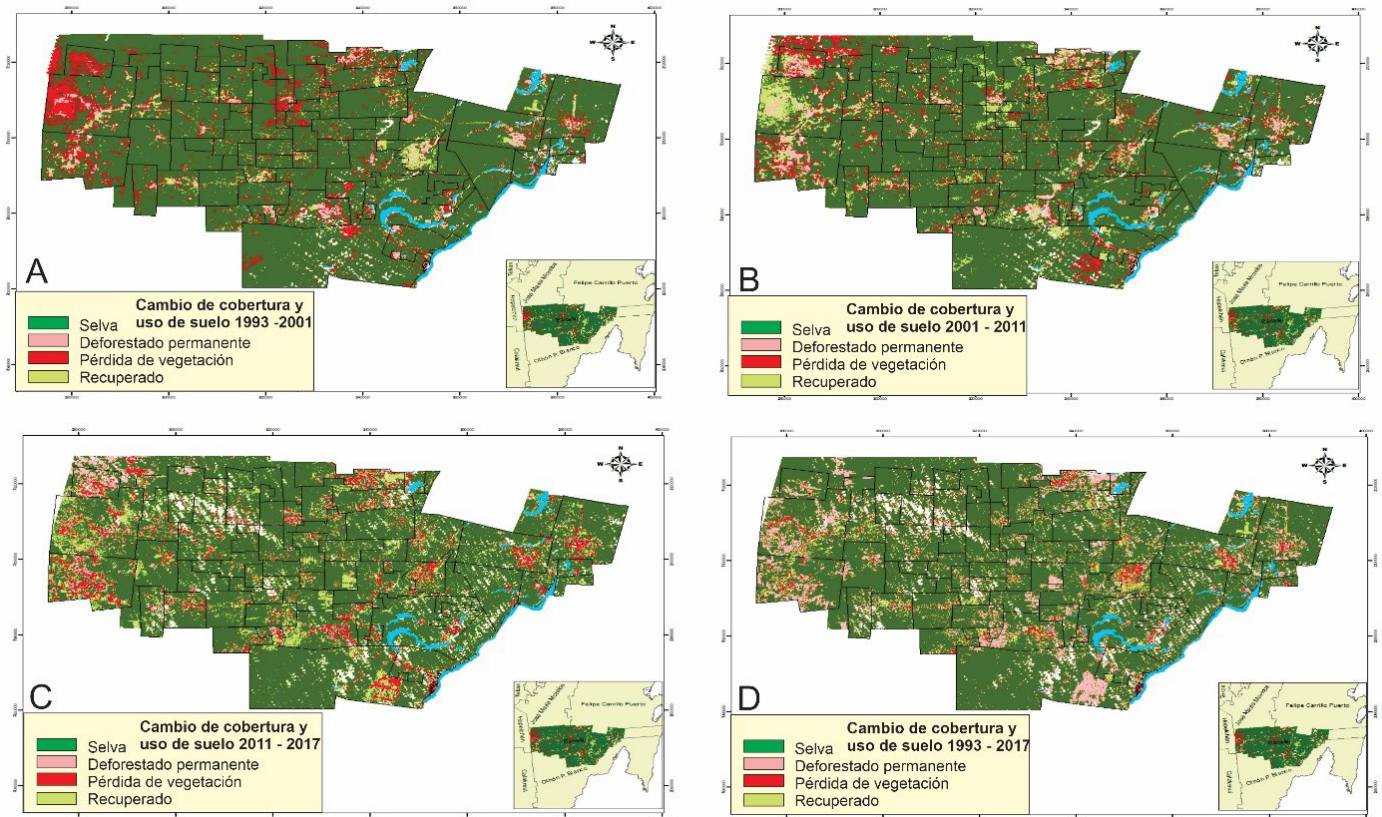


FIGURA 2. Dinámica de la cobertura forestal en el municipio de Bacalar en los períodos A) 1993-2001; B) 2001- 2011; C) 2011-2017 D) 1993-2017.

Por su parte, Falcón (2014) señala, para 10 ejidos en el municipio de Bacalar (Manuel Ávila Camacho, Divorciados, Plan de Noria, Kuchumatán, Maya Balam, Lázaro Cárdenas, Emiliano Zapata, Valle Hermoso, Gustavo Díaz Ordaz y Reforma Agraria), una pérdida de selva mediana de entre 10 000 ha y 13 000 ha del año 1984 al 2012, y cerca de 4000 ha de selva baja; por otro lado, la cobertura de vegetación secundaria se incrementó de 5072 ha a 30 222 ha, indicando una degradación en la cobertura forestal. En este mismo estudio, se menciona un aumento de 200 ha en zonas urbanas y residenciales en los 10 ejidos de Bacalar. Entre sus hallazgos, este autor concluye que los principales factores de la deforestación son los subsidios otorgados por el gobierno para la agricultura y la ganadería.

Romero-Montero (2014) estimó que, para el periodo de 1988-2010, el municipio de Othón P. Blanco en Quintana Roo presentó una tasa de deforestación anual de 0.6%, siendo los ejidos Valle Hermoso, Lázaro Cárdenas,

Miguel Alemán y Río Verde, pertenecientes al actual municipio de Bacalar, los que presentaron la mayor pérdida de superficie forestal; mientras que los ejidos con mayor recuperación forestal fueron Tierra Negra, Buena Esperanza, Río Escondido, Manuel Ávila Camacho, Gregorio Méndez Magaña. La principal causa de deforestación fue el acelerado cambio de uso de suelo para ganadería, cultivo de caña de azúcar y la construcción de vías de comunicación.

Ellis et al. (2020) evaluaron los cambios en la cobertura forestal durante el periodo de 1993-2018 para dos regiones de la península de Yucatán, incluido el municipio de Bacalar. Encontraron que la degradación fue superior a la deforestación (tasa anual de 1.6%) en el área de estudio y fue mayor en Bacalar-Río-Hondo; mientras que, en la Zona Maya, al norte del municipio de Bacalar hubo una recuperación de cobertura forestal (1.4%). Otro hallazgo, fue que los cambios fueron más intensos durante en el



periodo 2011-2018. Los resultados del presente estudio confirman las mismas tendencias y patrones en la dinámica de la cobertura forestal registrados en previas investigaciones, sin embargo, este estudio también demuestra una reciente tendencia en el aumento de la tasa y los procesos de deforestación en el municipio de Bacalar.

Determinantes de deforestación

La prueba ANOVA aplicando la variable dependiente de tasa anual de deforestación para el periodo 1993-2017, fue

significativa y presentó un ajuste adecuado ($R^2 = 0.91$, $p < 0.0001$) (Tabla 3). Las variables significativas seleccionados por el “*Best Model*” que fueron asociadas con una mayor tasa de deforestación anual en los ejidos fueron la superficie de zona urbana, el número de terrenos en producción y la población total del ejido (2010). Un mayor porcentaje de superficie con vegetación secundaria y madura y superficie sembrada en el ejido, así como el número de ejidatarios y avocados, fueron asociados con una menor tasa de deforestación.

TABLA 3. Resultado de la prueba ANOVA para la evaluación de impulsores asociados con la tasa de deforestación del 1993 al 2017 en comunidades del Municipio Bacalar, Quintana Roo.

<i>Variables</i>	<i>Valor</i>	<i>Error estándar</i>	<i>t</i>	<i>Pr > t </i>	<i>Límite inferior (90%)</i>	<i>Límite superior (90%)</i>
ejidohectares	0.000	0.000				
ejioco	-0.367	0.054	-6.830	<0.0001	-0.457	-0.277
Avec	-0.555	0.102	-5.415	<0.0001	-0.727	-0.383
z_par	0.000	0.000				
zona_ur	0.229	0.060	3.799	0.000	0.128	0.330
CDI	0.000	0.000				
proconaf	0.000	0.000				
dinconafor	0.000	0.000				
INCENDIOS	0.000	0.000				
disturb	0.000	0.000				
terrprod	0.485	0.067	7.239	<0.0001	0.373	0.598
supprod	-0.247	0.058	-4.258	0.000	-0.344	-0.149
proeleva	0.000	0.000				
pro_pen	0.000	0.000				
dot	0.000	0.000				
ant	0.000	0.000				
%SEC	-0.900	0.063	-14.335	<0.0001	-1.005	-0.795
%MAD	-1.087	0.064	-16.903	<0.0001	-1.195	-0.979
POB_TOT10	0.645	0.093	6.923	<0.0001	0.489	0.801
tcp95_10	0.000	0.000				
IML_10	0.000	0.000				
C_IM95_10	0.000	0.000				

La prueba ANOVA aplicando la variable dependiente de porcentaje deforestado en el periodo 1993-2017 fue significativa y presentó un ajuste adecuado ($R^2 = 0.92$, $p < 0.0001$), mostrando resultados similares a la prueba anterior. Las variables asociadas con la deforestación en los ejidos fueron la superficie de tierras comunales parceladas, la urbanización, el número de terrenos bajo producción y la antigüedad del ejido. Adicionalmente, el modelo también indicó que ejidos grandes con un mayor porcentaje de vegetación secundaria y madura y número de ejidatarios y avendados tendieron a tener menor deforestación.

Ellis et al. (2021) encontraron que los principales impulsores de la deforestación en ejidos de la Selva Maya son la mayor población inmigrante, menos actividades comerciales (no- agrícolas) por hogares, más hogares con ganado, menos apoyo gubernamental y menor dependencia forestal. En este estudio, la integración de una mayor variedad de variables explicativas y pruebas de estadística espacial pudo determinar impulsores de deforestación adicionales a los que fueron evaluados por Ellis et al. (2021). Adicionalmente, Ellis et al. (2015; 2020) y Ellis, Hernández-Gómez y Romero-Montero (2017), en estudios de cambio de uso de suelo en la Península Yucatán, encontraron que entre los principales impulsores de deforestación para la zona sur de Quintana Roo (Bacalar y Othón P. Blanco) estaban el incremento en la superficie agroindustrial (particularmente para caña de azúcar y agricultura mecanizada) y la ganadería; además de los apoyos de Procampo, el crecimiento poblacional y la migración; aunque, como en este estudio, el incremento en la superficie de vegetación secundaria fue significativo durante el periodo de 1993-2018 y tuvo una importante influencia en la dinámica de la cobertura forestal en la región (Ellis et al., 2020). En un área relativamente cercana a Bacalar, Chowdhury (2006) encontró que la elevación y la proximidad a caminos incrementan la probabilidad de deforestación; mientras que la forestería comunitaria ha contribuido a la conservación de las selvas en el municipio y en general en la Selva Maya (Bray et al., 2004; Ellis y Porter-Bolland, 2008).

De acuerdo con un estudio reciente realizado por la Conafor en colaboración con Madrid Zuribán et al. (2021), Bacalar es el segundo municipio con la deforestación más elevada debido al incremento en la superficie para la siembra de soya, caña de azúcar y sorgo. Otros de los impulsores más importantes fueron la distancia a unidades económicas agropecuarias (negocios de comercialización o industrialización de productos agropecuarios) y el aumento en la actividad porcícola.

CONCLUSIONES

Durante un periodo de 24 años, en el municipio de Bacalar se perdió un total de 75 263 ha de cobertura forestal, lo que representa una tasa de deforestación de 0.7%. La mayor tasa de deforestación se presentó en el periodo 2011-2017 debido a la expansión ganadera y de la agricultura mecanizada. La mayor deforestación ocurrió en la región suroeste del municipio. Los principales impulsores de la deforestación identificados en los modelos ANOVA fueron la urbanización, la población total, la superficie parcelada y el número de terrenos bajo producción. Esta información es de gran utilidad para orientar las políticas públicas relacionadas con la planeación del territorio y conservación de ecosistemas tropicales en la región.

RECONOCIMIENTOS

Al proyecto “Assessing Current Barriers to the Long-Term Viability and Competitive Position of Sustainably Managed Community Forests on the Yucatan Peninsula” por el apoyo financiero otorgado para el trabajo de campo.

REFERENCIAS

- Addinsoft (2020). *XLSTAT by Addinsoft A complete statistical add-in for Microsoft Excel*. Versión 2020.1.1.6443.
- Bray, D. B., Ellis, E. A., Armijo-Canto, N., & Beck, C. (2004). The institutional drivers of sustainable landscapes: A case study of the ‘Mayan Zone’ in Quintana Roo, Mexico. *Land Use Policy*, 21, 333-346. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2003.11.001>
- Budiharta, S., Meijaard, E., Erskine, P. D., Rondinini, C., Pacifici, M., & Kerrie, A. W. (2014). Restoring degraded tropical forests for carbon and biodiversity. *Environmental Research Letters*, 9, 1-12. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/11/114020>.



- Céspedes-Flores, S., & Moreno-Sánchez, E. (2010). Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México. *Investigación Ambiental*, 2(2), 5-13.
- Chowdhury, R. R. (2006). Driving forces of tropical deforestation: The role of remote sensing and spatial models. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 27(1), 82-101. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9493.2006.00241.x>
- Comisión Forestal Nacional [Conafor] (2020). *Estimación de la tasa de deforestación bruta en México para el periodo 2001-2018 mediante el método de muestreo*. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/1/7767Resumen%20Ejecutivo%20Deforestaci%C3%B3n%202001-2018%20M%C3%A9xico.pdf>
- Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos (2018). *Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5525247&fecha=05/06/2018#gsc.tab=0
- Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible [CCMSS] (2020). *Análisis de los procesos de deforestación en Quintana Roo 2003 - 2018*. CCMSS y CentroGeo.
- Cortina-Villar, S., Mendoza, P. M., & Ogneva-Himmelberger, Y. (1999). Cambios en el uso del suelo y deforestación en el sur de los estados de Campeche y Quintana Roo, México. *Investigaciones geográficas*, 1(38), 41-55. <https://doi.org/10.14350/rig.59077>
- Environmental Systems Research Institute, Inc. [ESRI] (2014). ArcGIS Desktop. Versión 10.3.
- Ellis, E. A., & Porter-Bolland, L. (2008). Is community-based forest management more effective than protected areas? a comparison of land use/-land cover change in two neighboring study areas of the Central Yucatan Peninsula, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 256(11), 1971-1983. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.07.036>
- Ellis, E. A., Romero-Montero, A., & Hernández-Gómez, I. U. (2015). *Evaluación y mapeo de los determinantes de deforestación en la Península Yucatán*. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) - The Nature Conservancy (TNC) - Alianza México REDD+. <http://www.monitoreoforestal.gob.mx/repositorioidigital/files/original/5b9a8610cae3663df664b78a0ff2490a.pdf>
- Ellis, E. A., Romero-Montero, J. A. & Hernández-Gómez, I. U. (2017). Deforestation Processes in the State of Quintana Roo, Mexico: The Role of Land Use and Community Forestry. *Tropical Conservation Science*, 10, 1-12. <https://doi.org/10.1177/1940082917697259>
- Ellis, E. A., Hernández-Gómez, I. U., & Romero-Montero, J. A. (2017). Los procesos y causas del cambio en la cobertura forestal de la Península Yucatán, México. *Ecosistemas*, 26(1), 101-111. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2017.26-1.16>
- Ellis, E. A., Navarro-Martínez, A., García-Ortega, M., Hernández-Gómez, I. U., & Chacón-Castillo, D. (2020). Forest cover dynamics in the Selva Maya of Central and Southern Quintana Roo, Mexico: deforestation or degradation?. *Journal of Land Use Science*, 15(1), 25-51. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2020.1732489>
- Ellis, E. A., Navarro-Martínez, A., & García-Ortega, M. (2021). Drivers Of Forest Cover Transitions In The Selva Maya, Mexico: Integrating Regional And Community Scales For Landscape Assessment. *Land Degradation & Development*, 32(10), 3122-3141. <https://doi.org/10.1002/ldr.3972>
- Romero-Montero, G. O. (2014). *Dinámica de cambio en la cobertura/uso del suelo, en una región del Estado de Quintana Roo, México. El impacto de las políticas gubernamentales sobre el manejo forestal comunitario*. [Tesis maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2014/enero/0707773/0707773.pdf>
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (5a ed.). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/83>
- García, R. G., Schmook, B., & Espejel, C. I. (2005). Dinámica en el uso del suelo en tres ejidos cercanos a la ciudad de Chetumal, Quintana Roo. *Investigaciones Geográficas*, 58, 122-139.
- Gobierno del Estado de Quintana Roo (2011-2016) (s.f.). *Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Bacalar, Q. Roo*. Gobierno del Estado de Quintana Roo.
- Gómez Pech, E., Barrasa García, S., & García de Fuentes, A. (2018). Paisaje litoral de la Laguna de Bacalar (Quintana Roo, México): ocupación del suelo y producción del imaginario por el turismo. *Investigaciones Geográficas*, 95, 1-18. <https://doi.org/10.14350/rig.59594>
- Instituto Nacional Estadística y Geografía [Inegi] (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Otbón P. Blanco, Quintana Roo. Clave geoestadística 23004*. Inegi.
- Instituto nacional Estadística y Geografía [Inegi] (2016). *Actualización del marco censal agropecuario 2016, números de terrenos y superficie total según tenencia de la tierra por entidad federativa y municipio*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía- México. Inegi.
- Instituto nacional Estadística y Geografía [Inegi] (2020). *El Censo de Población y Vivienda*.

- <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#Tabulados>
Última actualización: 16 de marzo de 2021.
- López, A. (2012). *Deforestación en México: Un análisis preliminar*. CIDE. https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Deforestacion_en_Mexico_un_analisis_preliminar.pdf
- Madrid Zuribán, S., Galeana Pizaña, J. M., & Navarro Duarte, C. L. (2021). *Análisis de los procesos de deforestación en Quintana Roo. Con información de los mapas del Sistema Satelital de Monitoreo Forestal de la CONAFOR. 2003-2018*. CCMSS A. C. - Conafor - Centro Geo. <https://www.ccmss.org.mx/acervo/analisis-de-los-procesos-de-deforestacion-en-quintana-roo-2003-2018/#:~:text=Los%20resultados%20del%20an%C3%A1lisis%20arrojan,de%20superficie%20cubierta%20por%20selvas>
- Magliocca, N. R., Rudel, T. K., Verburg, P. H., McConnell, W. J., Mertz, O., Gerstner, K., Heinemann, A., & Ellis, E. C. (2015). Synthesis in land change science: methodological patterns, challenges, and guidelines. *Regional Environmental Change*, 15, 211-226. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0626-8>
- Municipio de Bacalar (2016). *Plan Municipal de Desarrollo de Bacalar (2016-2018)*. Municipio de Bacalar, Quintana Roo, México.
- Olofsson, P., Foody, G. M., Stehman, S. V., & Woodcock, C. E. (2013). Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment*, 129, 122-131. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.031>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2010a). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010 - términos y definiciones*. FAO. <https://www.fao.org/publications/card/es/c/e46ead9f-ca7d-5157-ac1d-9bfc2ba8b959/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2010b). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010 - Informe principal*. FAO. <https://www.fao.org/publications/card/es/c/a4606b30-24e7-506d-9a10-5815d9f2b18c/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2015). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015 - ¿Cómo están cambiando los bosques del mundo?* (2ª ed.). FAO. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/4cf5b726-1b41-4935-ac3c-eab671a3f5d8/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2016). *El estado de los bosques del mundo - los bosques y la agricultura: desafío y oportunidades en relación con el uso de la tierra* FAO. <https://www.fao.org/publications/card/es/c/1e91a569-65b1-451b-9099-bc10caa357e8/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2018). *El estado de los bosques del mundo - las vías forestales hacia el desarrollo sostenible*. FAO. <https://www.fao.org/publications/card/es/c/I9535ES/>
- Palacio-Prieto, J. L., Sánchez-Salazar, M. T., Casado Izquierdo, J. M., Propin, Frejomil, E., Delgado Campos, J., Velázquez Montes, A., & Chias Becerril, L. Ortiz Álvarez, M. I., González Sánchez, J., Negrete Fernández, G., Gabriel Morales, J., & Márquez Hitzil, R. (2004). *Indicadores para la caracterización y el ordenamiento del territorio*. UNAM-Sedesol-Semarnat-INE.
- Pantoja-Campa, V. (2016). *Mapeo Analítico de la problemática del manejo del fuego en la región de la selva maya*. Convenio de Cooperación Técnica Regional No Reembolsable No. ATN/OC-10166-RG. CATIE/BID. Proyecto Fomento del Manejo del Ecosistema Trinacional de la Selva Maya (Belice-México-Guatemala).
- Pereira C., A., Prezas H., B., Olivares M., J. A., Frago S., F., & Niño T., C. A. (2013). *Programa Estatal de Acción ante el cambio Climático (Estado de Quintana Roo)*. Gobierno de Quintana Roo - INECC-AECID - Universidad de Quintana Roo. <https://cambioclimatico.gob.mx/wp-content/uploads/2018/11/Documento-4-Programa-Estatal-de-Acci%C3%B3n-Quintana-Roo-PEACCQROO-2013.pdf>
- Piedra G., M. (2016). *El cultivo de soya transgénica en Quintana Roo Estudio de caso Ejido Salamanca, Bacalar*. [Tesis de Maestría, El Colegio de la Frontera Sur]. <https://biblioteca.ecosur.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=000056929>
- Pineda, J., Noel, B., Bosque, S., Gómez D., M., & Plata R., W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes: Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones geográficas*, 69, 33-52.
- Proyecto para la Consolidación del Corredor Biológico Mesoamericano (2002). *El Corredor Biológico Mesoamericano: Una plataforma para el desarrollo sostenible regional* (1a ed.). Proyecto Corredor Biológico Mesoamericano. <http://www.bionica.info/Biblioteca/CBM2002PlataformaDesarrolloSostenible.pdf>
- Rodríguez-Alcalá, A., & Fregoso-Lomas, S. C. (2015). El centro histórico de Bacalar, México. Criterios y lineamientos para un escenario futuro. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 11(19), 121-134.
- Romero-Montero, J. A. (2014). *Evaluación de los factores ambientales, socioeconómicos e institucionales que intervienen la dinámica del cambio de cobertura forestal en ejidos de Campeche y Quintana Roo, México*. [Tesis de Maestría, Universidad Veracruzana]. <https://cdigital.uv.mx/handle/123456789/46380>



- Rosado V., A. A., & Medina, A. G. (2013). Ciclo de vida turístico de Bacalar, pueblo mágico, Quintana Roo. *Teoría y Praxis*, (15), 96-120. <https://doi.org/10.22403/uqroomx/typ15/04>
- Rosete-Vergés, F. A., Pérez-Damián, J. L., Villalobos-Delgado, M., Navarro-Salas, E. N., Salinas-Chávez, E., & Remond-Noa, R. (2014). El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera y Bosques*, 20(1), 21-35.
- Sánchez-Colón, S., Flores-Martínez, A., Cruz-Leyva, I. A., & Velázquez, A. (2009). Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. En Conabio (Ed.), *Capital natural de México* (Vol. 2, pp. 75-129). CONABIO.
http://www2.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20II/II02_Estado%20y%20transformacion%20de%20los%20ecosistemas%20terrestres.pdf
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] (2014). *Programa Institucional de la Comisión Nacional Forestal 2014-2018*. Diario Oficial de la Federación. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/4/5381Programa%20Institucional%20de%20la%20CONAFOR%202014-2018.pdf>
- Uh V., J. S. (2013). *Organización Social de los menonitas de Salamanca, Quintana Roo*. [Tesis de licenciatura, Universidad de Quintana Roo].
- United States Geological Survey [USGS] (s.f.). *Earth Explorer*. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Vanegas-López, M. (2016). Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias. Informe final dentro del proyecto GEF 00089333 Aumentar las capacidades de México para manejar especies exóticas invasoras a través de la implementación de la Estrategia Nacional de Especies Invasoras. CONAFOR - CONABIO - GEF-PNUD.
- Velázquez, A., Mas, J. F., Mayorga-Saucedo, R., Díaz, J. R., Alcántara, C., Castro, R., Fernández, T., Palacio, J. L., Bocco, G., Gómez-Rodríguez, G., Luna-González, L., Trejo, I., López García, J., Palma, M., Peralta, A., Prado-Molina, J., & González-Medrano, F. (2002). Estado actual y dinámica de los recursos forestales de México. *Biodiversitas*, 41, 8-12.
- Vester, H., & Navarro, M. A. (2007). *Fichas ecológicas árboles maderables de Quintana Roo*. ECOSUR-CONACYT - Gobierno del Estado de Quintana Roo.

Manuscrito recibido el 24 de junio de 2021

Aceptado el 27 de septiembre de 2022

Publicado el 12 de diciembre de 2022

Este documento se debe citar como:

Huchin Ochoa, S. A., Navarro-Martínez, A., Ellis, E. A., & Hernández Gómez, I. U. (2022). Deforestación en el municipio de Bacalar, Quintana Roo, México durante el período 1993-2017. *Madera y Bosques*, 28(3), e2832396. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2832396>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.