

Degradación de suelos, pérdida superficie forestal, cambio de uso de suelo vs Manejo y recuperación de suelos en la región Sur-Sureste

José Mauricio Galeana Pizaña y Aldo Daniel Jiménez Ortega

Las preocupaciones sobre el cambio en el uso del suelo surgieron en la agenda de investigación sobre el cambio ambiental global hace varias décadas con la comprensión de que los procesos de la superficie terrestre influyen en el clima. A mediados de la década de 1970, se reconoció que el cambio de la cubierta terrestre modifica el albedo de la superficie y, por lo tanto, los intercambios de energía entre la superficie y la atmósfera, que tienen un impacto en el clima regional (Otterman, 1974; Charney & Stone, 1975; Sagan et al., 1979). Con el cambio de siglo, se identificó una gama mucho más amplia de impactos del cambio de uso del suelo sobre los bienes y servicios de los ecosistemas, los impactos sobre la diversidad biótica en todo el mundo (Sala et al., 2000), la degradación del suelo (Trimble & Crosson, 2000) y la capacidad de los sistemas biológicos para satisfacer las necesidades humanas (MEA, 2005). Los cambios de uso del suelo también determinan, en parte, la vulnerabilidad de los lugares y las personas a las perturbaciones climáticas, económicas o sociopolíticas (Kasperson et al., 1995; Turner et al., 2003; Kasperson et al. 2005).

No todos los impactos son negativos, aunque muchas formas de cambios en el uso del suelo están asociadas con continuos aumentos en la producción de alimentos y fibras, en la eficiencia del uso de los recursos y en la riqueza y el bienestar. El cambio contemporáneo de la cubierta terrestre se genera principalmente por la actividad humana, actividad dirigida a manipular la superficie de la Tierra para satisfacer alguna necesidad o deseo individual o social, como la agricultura (Turner et al., 1990; Cassman et al., 2005). El uso de la tierra ha sido definido como los propósitos para los cuales los humanos explotan la cubierta terrestre. Implica tanto la manera en que se manipulan los atributos biofísicos de la tierra como la intención que subyace a dicha manipulación, es decir, el propósito para el que se utiliza la tierra. Ejemplos que denotan intención o propósito son la silvicultura, los parques, el pastoreo de ganado, la urbanización y las tierras de cultivo (Lambin & Geist, 2006).

El cambio de uso del suelo aumentó notablemente en el Siglo XX, tanto en términos de extensión como de intensidad. Entre 1950 y 1980 se talaron más bosques que a principios de

los Siglos XVIII y XIX juntos. Sin embargo, a finales del Siglo XX también se produjo un cambio en la agricultura, que pasó de la expansión a la intensificación. Cada vez más, la producción mundial de alimentos proviene de la intensificación de la producción en las tierras de cultivo existentes, en lugar de la expansión de las tierras de cultivo en muchas partes del planeta, con excepción de ello en algunos países latinoamericanos.

En México, la conceptualización del espacio rural ha sido abordada como el espacio multidimensional en el que convergen los ámbitos sociales, económicos y ambientales, y que se delimita por el tamaño de su población. Se consideran rurales aquellas localidades con menos de 2,500 habitantes (inegi, 2014). El medio rural concentra el 23% de la población del país y el 98.8% de la superficie total del territorio (inegi, 2015). Por un lado, es proveedor de la mayor parte de los productos agroalimentarios, de mano de obra y de un importante acervo cultural derivado de los procesos históricos de la co-evolución entre las personas y los ecosistemas, además de que constituye un aliado en la conservación de los recursos naturales (Balvanera y Cotler, 2009). Por otra parte, constituye el espacio donde se generan un conjunto de servicios ecosistémicos y agroecosistémicos que dan soporte natural a las actividades del medio urbano y periurbano (Lee, Ahern y Yeh, 2015). En México, las causas de la deforestación son múltiples y muchas veces sinérgicas. Por ejemplo, el cambio de usos de suelo realizado intencionalmente en la frontera agrícola puede tener el fin de obtener mayores ingresos o el de consolidar derechos de propiedad. No obstante, estos cambios también pueden estar sujetos a las presiones de la tala ilegal, los incendios provocados o la poca rentabilidad de las actividades forestales en predios pequeños (Munoz-Pina et al., 2008).

México, por su ubicación geográfica, posee tres grandes ecosistemas forestales: bosques, selvas y zonas áridas (Varela & Aguilera, 1999). Si bien el interés público por estos ecosistemas forestales actualmente parece estar centrado en la deforestación y degradación de suelos, los ecosistemas forestales han cobrado importancia y reconocimiento debido a los servicios ecosistémicos, múltiples productos que generan y numerosos beneficios no materiales a las poblaciones humanas que los habitan o visitan, así como por su biodiversidad y aportaciones a las estrategias de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático (Balvanera, 2012; Hagerman & Pelai, 2018). Desde inicios de la década del 1990, la deforestación se ha convertido en un tema crucial en la agenda de gestión ambiental para el

país, debido al reconocimiento de las autoridades y la sociedad del papel de las áreas forestales en la generación de beneficios ambientales (Torres-Rojo & Flores-Xolocotzi, 2001). Por ello, un objetivo importante de la política de uso de suelo del país en las últimas tres décadas ha sido reducir las actividades que contribuyen al cambio global (por ejemplo, Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección del Medio Ambiente, 1988). Sin embargo, aún queda mucho debate respecto a la racionalidad y veracidad de subsidiar algunos de los principales sistemas de producción de alimentos y seguir afirmando que se protege con estos a los principales reservorios de biodiversidad (Muñoz-Piña et al., 2008; Schmook y Vance, 2009; Sarukhán et al., 2009), sabiendo ampliamente que la expansión agropecuaria en las últimas cuatro décadas ha impactado negativamente en grandes magnitudes a las regiones altamente biodiversas de México (Mas et al., 2004; Bonilla-Moheno et al., 2013; Moreno-Sánchez et al., 2014).

Se han efectuado diversas investigaciones de procesos de cambio de uso del suelo (Mas et al., 2004; Bonilla-Moheno et al., 2013; Moreno-Sánchez et al., 2014; Galeana et al., 2018) a nivel nacional, predominantemente asociados con métodos de álgebra de mapas, relacionadas con diversos fenómenos. Un ejemplo es de estos estudios es el de Bonilla-Moheno et al. (2013), quienes realizaron un análisis de la asociación entre los procesos de deforestación y recuperación, y el tipo de tenencia de la tierra. Moreno-Sánchez et al. (2014) modelaron los procesos de fragmentación de bosques en México. Galeana et al. (2018) integraron el cambio de uso de suelo con aproximaciones de seguridad alimentaria en México por ecorregión. Los estudios se han orientado a escalas regionales, donde el análisis se ha enfocado a diversos propósitos como es el caso de la cuantificación de procesos de cambio (Kolb & Galicia, 2012); cambio de uso de suelo y su impacto en las relaciones urbano-rural (Jiménez Ortega & Galeana, 2016); impacto en las áreas naturales protegidas (Bray et al., 2008), análisis de procesos de fragmentación (Galicia et al., 2008) y, evaluación cartográfica de los análisis de cambio de uso de suelo (Couturier y Mas, 2009).

Uso de suelo y vegetación en el Sur-sureste

La región Sur-Sureste de México cuenta con 50,246,825 de hectáreas y está compuesta por los estados Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán, lo que representa el 25.7% de la superficie total del territorio nacional. De acuerdo con la última Serie de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI VI (2014), esta superficie está conformada en un 35.3% de selvas, 20.3% de pastizales inducidos o cultivados, 18.9% de tierras agrícolas, 16.5% de bosques y el resto asociado a cuerpos de agua, asentamientos humanos y otros tipos de uso de suelo y vegetación (e.g. matorrales) (figura 1).

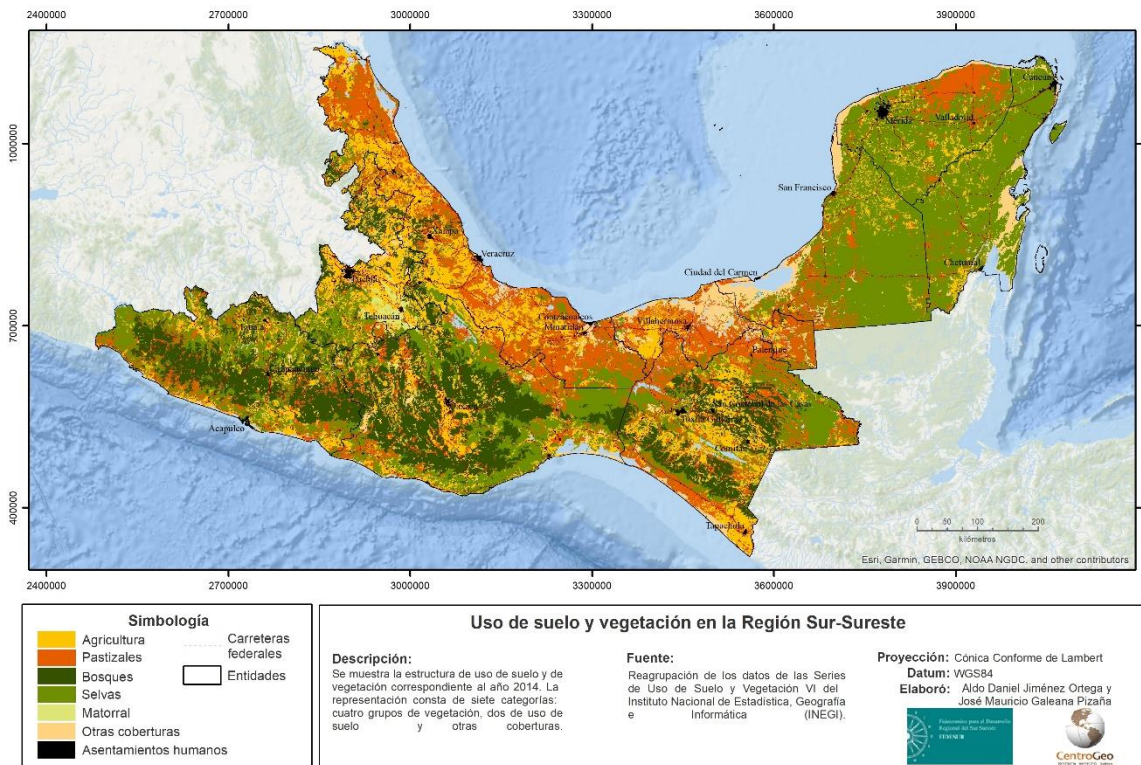


Figura 1. Usos de suelo y vegetación del Sur-sureste

Segmentando la información según los estados, la agricultura se concentra principalmente en las entidades de Oaxaca, Veracruz y Chiapas, con el 58.6% de la agricultura total de la región, mientras que en lo referente a los pastizales inducidos y cultivados, el 66.5% se concentra en Chiapas, Veracruz y Campeche. Respecto a los tipos de vegetación, las selvas se distribuyen

principalmente en Campeche, Oaxaca y Guerrero, mientras que los bosques en Oaxaca, Guerrero y Chiapas (cuadro 1).

Cuadro 1. Distribución de usos de suelo y vegetación por entidad federativa

Entidad Federativa	Agricultura	Asentamientos humanos	Bosques	Cuerpos de agua	Matorral	Otros	Pastizal	Selvas	Total
Campeche	3.8	5.1	0.2	52.1	-	25.6	10.6	37.1	18.5
Chiapas	18.4	12.0	19.8	20.3	-	8.3	38.7	10.4	19.3
Guerrero	10.2	8.5	28.4	4.2	-	3.7	8.8	12.7	13.3
Oaxaca	20.5	14.8	40.8	5.5	30.9	7.1	8.5	15.0	18.5
Puebla	17.6	14.1	7.3	0.5	67.7	2.3	3.1	2.6	6.8
Quintana Roo	2.6	9.3	-	3.1	-	17.9	1.4	12.6	6.3
Tabasco	3.0	4.3	0.1	6.3	-	21.5	4.1	1.0	3.0
Veracruz	19.7	18.3	3.3	6.7	1.4	8.8	17.2	3.8	9.9
Yucatán	4.2	13.5	-	1.3	-	4.9	7.6	4.9	4.5
Total general	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Cambio de uso de suelo en el sur-sureste durante el periodo 2007-2014

Mediante el análisis de los procesos de cambio de la expansión y contracción de la frontera agropecuaria y su relación con el capital natural, así como la transición de vegetación primaria a secundaria, es posible entender la evolución de las redes de interacción en la vinculación de estados sucesivos de los sistemas productivos y la vegetación en un respectivo intervalo temporal; información que puede influir en la orientación de las pautas de desarrollo regionales en las tendencias de vulnerabilidad al cambio ambiental global. Un insumo por su dimensión temporal son las Series de Uso de Suelo y Vegetación, generadas en por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), las cuales brindan información espacio-temporal a escala 1:250,000, en cinco tiempos distintos: 1976, 1993, 2002, 2007, 2011 y 2014, de acuerdo con la temporalidad de los recursos fotográficos y satelitales (cuadro 2).

Cuadro 2. Características de las Usos de Suelo y Vegetación de INEGI

Series de uso de suelo y vegetación	Año de insumos satelitales	Fuente de datos espaciales	Método
Serie I	1976	Fotografía aéreas	Fotointerpretación y trabajo de campo
Serie II	1993	Imágenes Landsat TM	Actualización de 1976 con base en interpretación de las imágenes de satélite y trabajo de campo
Serie III	2002	Imágenes Landsat ETM	Interpretación de las imágenes de satélite y trabajo de campo
Serie IV	2007	Imágenes SPOT-V	Interpretación de las imágenes de satélite y trabajo de campo
Serie VI	2014	Imágenes Landsat OLI	Actualización con base Serie V (2011) en interpretación de las imágenes de satélite y trabajo de campo

Por lo que, para analizar los procesos de cambio de la expansión y contracción de la frontera agropecuaria (recuperación de vegetación) y su relación con el capital natural, así como la transición de vegetación primaria a secundaria se empleó la siguiente tipología de combinaciones entre las series de uso de suelo y vegetación IV y VI:

- 1) Expansión de los sistemas agrícolas y ganaderos (vía pastizales inducidos) a costa de capital natural, siendo todos aquellos casos donde hubo un cambio de capital natural a superficie agrícola o pastizales inducidos en un intervalo de tiempo, los cuales se segmentaron en función del sistema productivo y del tipo de cobertura vegetal, como es el caso de matorrales, vegetación primaria y vegetación secundaria.
- 2) Recuperación de vegetación a costa de sistemas productivos, donde se clasificaron aquellos procesos donde en el tiempo 1 se tenía sistema productivo que pasó a ser una cobertura vegetal en el tiempo 2, dividiéndose de igual forma en función del sistema productivo y del tipo de cobertura vegetal.
- 3) Degradación de vegetación, todos aquellos cambios de vegetación primaria vegetación secundaria.

Expansión de los sistemas agropecuarios

A nivel de la región Sur-Sureste, se expandieron los sistemas productivos agropecuarios aproximadamente 1,637,104.6 ha, con una tasa anual de 233,872 ha. Donde la agricultura ocupa con el 50.2% y los pastizales inducidos y cultivados el 49.8%, mientras que los

bosques y selvas secundarios son los principales tipos de vegetación afectados (figura 2). Chiapas y Yucatán fueron los estados donde se concentraron predominantemente, ambos procesos con el 49.5% de la expansión agrícola total y el 39.3% de la expansión ganadera (cuadro 3).

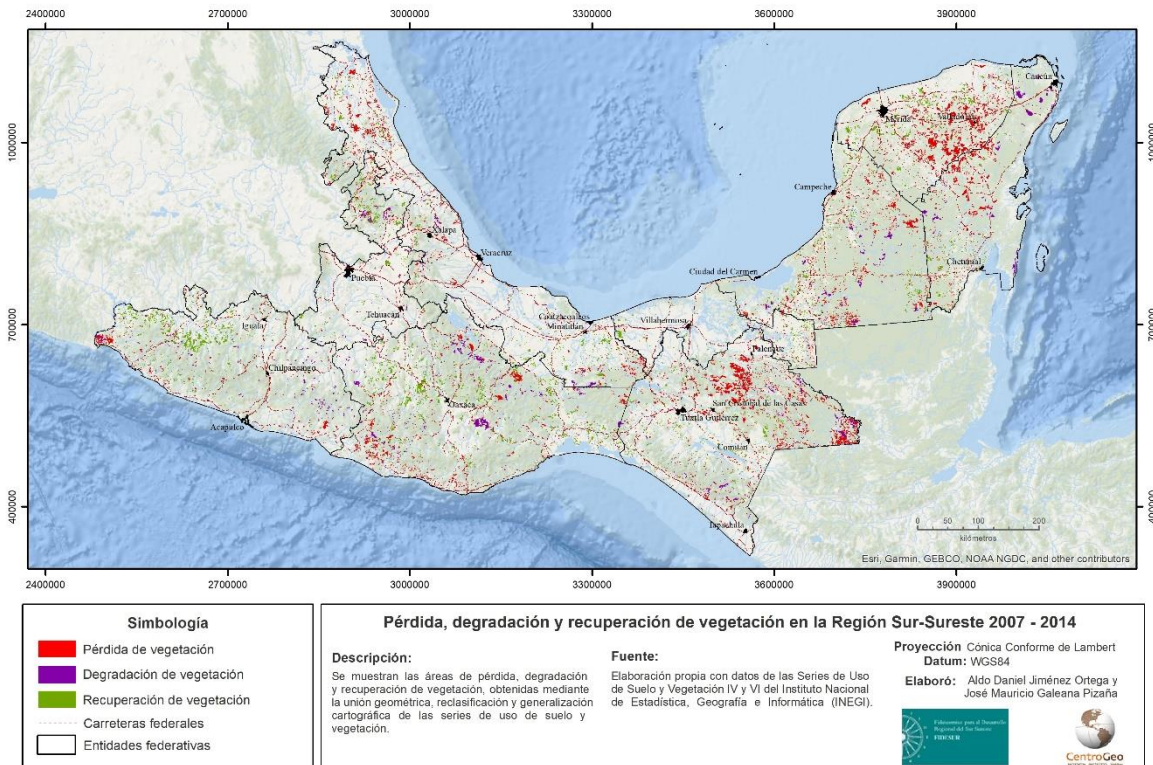


Figura 2. Pérdida, degradación y recuperación de vegetación en la región Sur-sureste 2007 - 2014

Cuadro 3. Expansión de sistemas agropecuario (porcentaje) y tasas anuales de expansión según entidad federativa 2007-2014.

Entidad Federativa	Expansión agrícola (%)	Expansión ganadera (%)	Tasa anual agrícola	Tasa anual ganadera	Superficie total
Campeche	10.3	14.7	12,127.2	17,117.7	204,713.8
Chiapas	26.6	22.2	31,272.0	25,884.4	400,094.2
Gerrero	0.9	9.3	1,061.9	10,873.1	83,545.0
Oaxaca	15.4	11.8	18,091.7	13,766.4	223,006.4
Puebla	3.5	1.6	4,070.5	1,820.9	41,239.8
Quintana Roo	14.6	3.5	17,096.1	4,133.1	148,604.1
Tabasco	0.2	3.1	290.2	3,565.5	26,990.0
Veracruz	5.6	16.6	6,611.2	19,344.7	181,691.2
Yucatán	22.8	17.1	26,817.5	19,928.2	327,220.2

Recuperación de vegetación

Respecto al proceso de recuperación de vegetación, a nivel de la región Sur-sureste, se contrajeron los sistemas productivos agropecuarios a favor de vegetación aproximadamente 1,112,424.9 ha, con una tasa anual de 158,917 ha. La agricultura ocupó el 32.2% y los pastizales inducidos y cultivados el 67.8% (figura 2). Oaxaca y Yucatán fueron los estados donde se concentraron predominantemente la recuperación de vegetación a costa de la vegetación, mientras que Guerrero y Oaxaca para el caso de la recuperación a costa de pastizales inducidos y cultivados, con el 49.2% y 43% respectivamente (cuadro 4).

Cuadro 4. Recuperación de vegetación (porcentaje) y tasas anuales de recuperación según entidad federativa 2007-2014.

Entidad Federativa	Recuperación a costa de agricultura (%)	Recuperación a costa de pastizales (%)	Tasa anual agrícola	Tasa anual ganadera	Superficie total
Campeche	8.5	12.2	4,355.1	13,202.3	122,901.8
Chiapas	11.4	10.2	5,853.3	10,971.1	117,770.8
Guerrero	6.2	21.8	3,192.8	23,513.6	186,944.3
Oaxaca	33.2	21.2	16,963.4	22,842.9	278,644.4
Puebla	12.4	4.4	6,348.7	4,782.9	77,921.2
Quintana Roo	5.8	4.2	2,958.5	4,477.7	52,053.2
Tabasco	0.5	5.8	271.6	6,269.5	45,787.7
Veracruz	5.9	13.3	2,999.0	14,327.0	121,281.8
Yucatán	16.0	6.9	8,180.6	7,407.9	109,119.7

Degradación de vegetación

La degradación de vegetación primaria a vegetación secundaria en la región Sur-Sureste, se estimó que aproximadamente 354,168.9 ha, con una tasa anual de 50,595.5 ha. En los estados de Oaxaca y Quintana Roo se concentró predominantemente la degradación, con el 43.6% (cuadro 5).

Cuadro 5. Degradación de vegetación (porcentaje) y tasas anuales según entidad federativa 2007-2014.

Entidad Federativa	Recuperación a costa de pastizales (%)	Tasa anual agrícola	Superficie total
Campeche	14.6	7,384.6	51,692.15
Chiapas	14.2	7,196.7	50,376.95
Guerrero	13.2	6,687.2	46,810.47
Oaxaca	27.8	14,045.0	98,315.22
Puebla	7.6	3,849.1	26,943.47
Quintana Roo	15.9	8,029.9	56,209.01
Tabasco	0.2	106.3	743.87
Veracruz	6.5	3,296.8	23,077.80
Yucatán	14.6	7,384.6	51,692.15

Degradación de suelos en el sur-sureste

La degradación del suelo se refiere a los procesos inducidos por las actividades humanas que disminuyen su productividad biológica y su capacidad actual o futura para sostener la vida humana. Este proceso resulta de la interacción de factores ambientales, como el tipo de suelo, la topografía y el clima, además de factores humanos, como la deforestación, el sobrepastoreo y el uso desmesurado de los recursos naturales (SEMARNAT-CP, 2004). En México, se han realizado distintos estudios con aproximaciones, metodologías y definiciones distintas que dificultan la comparabilidad de sus resultados (CONAFOR-UACH, 2013; INEGI, 2014). No obstante, en esta ficha se emplea la información del estudio “Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000”, publicado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Colegio de Posgraduados en 2004, para aproximarse al problema de la degradación del suelo por niveles para la región Sur-Sureste.

Con base en este insumo, el 51.8% de la región presenta algún nivel de degradación de suelos, con aproximadamente 26,023,936.2 ha, siendo Veracruz y Chiapas los estados que presentan mayor degradación con el 34% de las tierras degradadas (cuadro 6).

Cuadro 6. Superficies totales y porcentajes de degradación de suelos según entidad federativa.

Entidad Federativa	Degradación de suelos (%)	Superficie total (ha)
Campeche	9.8	2,548,585.1
Chiapas	15.6	4,055,881.4
Guerrero	12.2	3,176,803.0
Oaxaca	13.3	3,456,806.2
Puebla	6.2	1,608,085.5
Quintana Roo	4.4	1,140,887.9
Tabasco	7.5	1,938,799.9
Veracruz	18.4	4,790,353.1
Yucatán	12.7	3,307,734.0

Las principales causas de la degradación de suelo identificadas son las actividades agrícolas y el sobrepastoreo con el 61.4% (cuadro 7), destacando Yucatán y Veracruz respecto a la superficie degradada por actividades agrícolas, mientras que para el sobrepastoreo son los estados de Veracruz y Oaxaca (figura 3).

Cuadro 7. Superficies totales y porcentajes de degradación de suelos según entidad federativa.

Entidad Federativa	Actividades agrícolas	Actividades agrícolas / Deforestación	Deforestación	Sobrepastoreo	Sobrepastoreo / Actividades agrícolas	Sobrepastoreo / Deforestación	Urbanización / Actividades industriales	Total general (ha)
Campeche	6.6	0.4	17.8	13.7	-	-	4.6	2,548,585.1
Chiapas	10.6	14.8	31.2	12.4	-	9.2	5.5	4,055,881.4
Guerrero	2.5	35.8	15.5	5.9	52.5	38.2	8.3	3,176,803.0
Oaxaca	6.4	19.9	18.9	12.9	29.4	21.9	3.8	3,456,806.2
Puebla	9.5	10.3	1.3	1.6	7.5	25.2	11.1	1,608,085.5
Quintana Roo	8.4	0.0	5.0	0.6	-	-	9.5	1,140,887.9
Tabasco	8.1	5.7	2.0	13.7	-	-	13.2	1,938,799.9
Veracruz	22.4	10.7	3.5	31.0	10.6	5.6	28.9	4,790,353.1
Yucatán	25.4	2.3	4.8	8.2	-	-	15.1	3,307,734.0

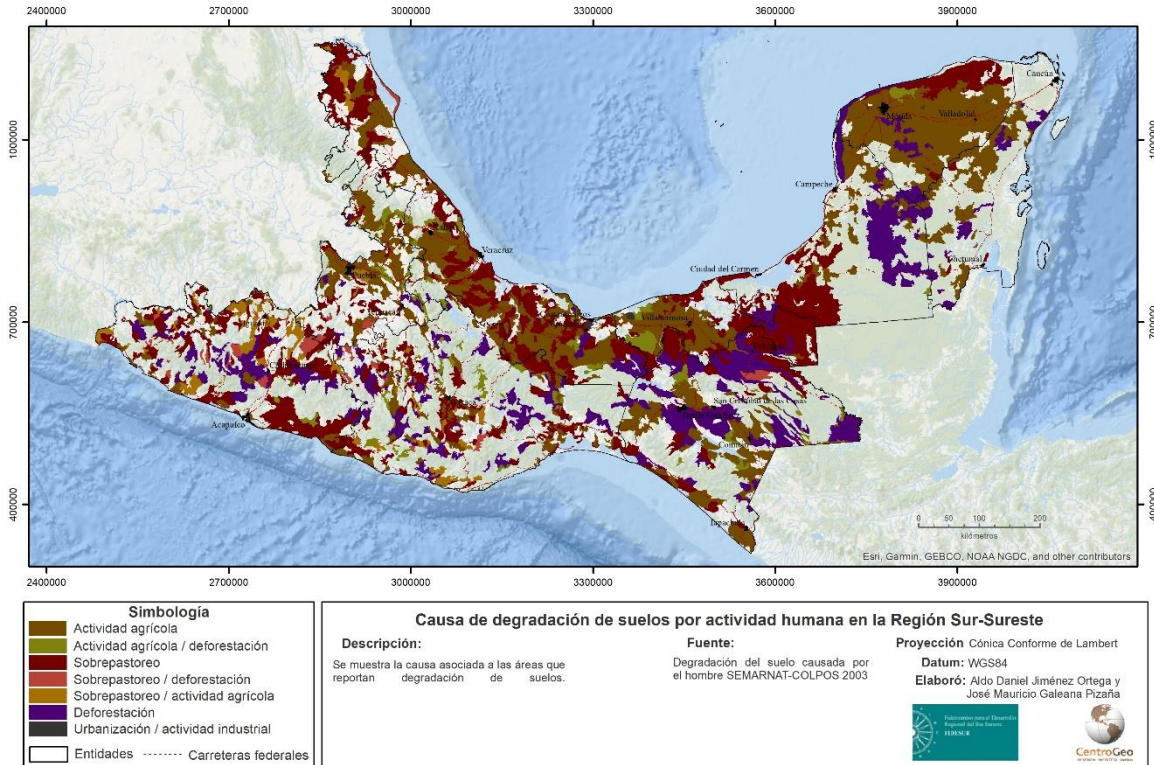


Figura 3. Causas de degradación de suelos por actividad humana en la región Sur-sureste

De la superficie identificada con degradación, el 80.7% presenta un grado ligero (figura 4), seguido de un 18.1% asociado a moderado, mientras que el resto de la superficie presenta un grado de intensidad fuerte y extremo, donde destacan Yucatán, Veracruz y Guerrero (cuadro 8).

Cuadro 8. Grados de degradación de suelos en porcentaje según entidad federativa.

Entidad Federativa	Extremo	Fuerte	Moderado	Ligero
Campeche	6.6	0.4	17.8	13.7
Chiapas	10.6	14.8	31.2	12.4
Guerrero	2.5	35.8	15.5	5.9
Oaxaca	6.4	19.9	18.9	12.9
Puebla	9.5	10.3	1.3	1.6
Quintana Roo	8.4	0.0	5.0	0.6
Tabasco	8.1	5.7	2.0	13.7
Veracruz	22.4	10.7	3.5	31.0
Yucatán	25.4	2.3	4.8	8.2

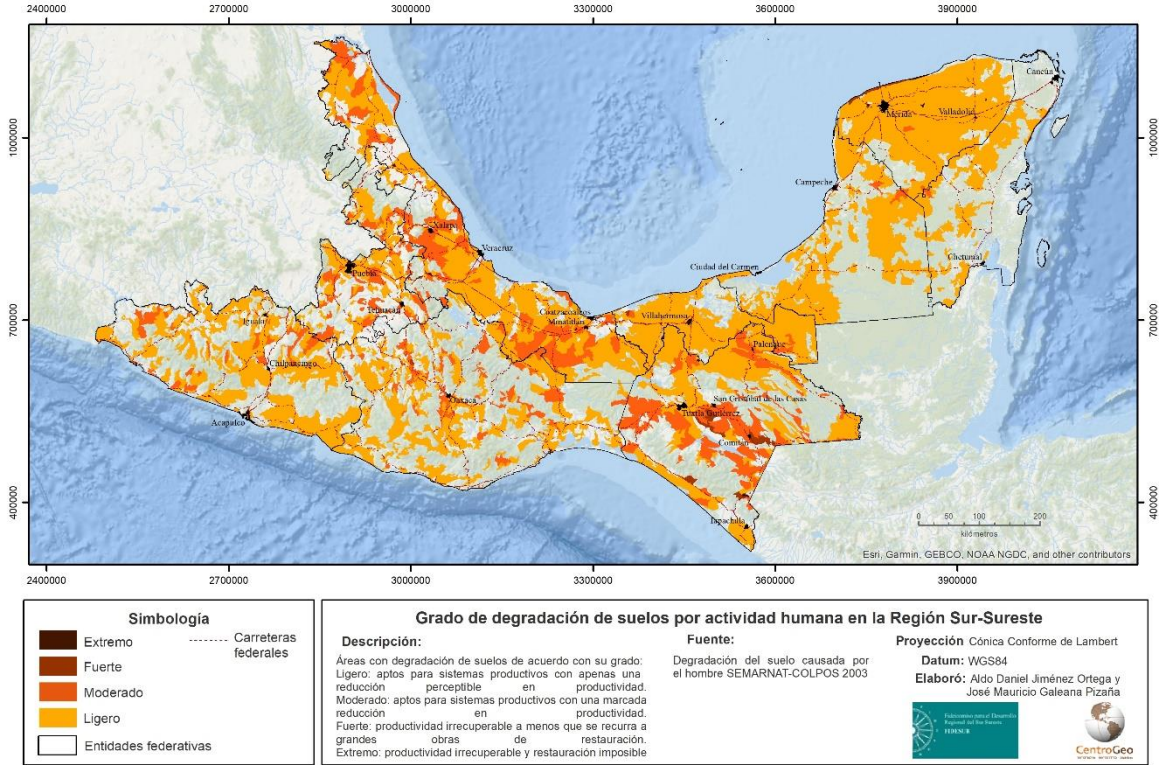


Figura 4. Grado de degradación de suelos por actividad humana en la región Sur-sureste

Los dos tipos de degradación de suelo dominante son la degradación química por declinación de la fertilidad, la degradación física por compactación y la erosión hídrica con pérdida del suelo superficial, dado que entre estos procesos se cubre el 96.1% de la superficie con degradación de la región (figura 5).

Cuadro 8. Tipo de degradación de suelos en porcentaje según entidad federativa.

Entidad Federativa	Degradación física por compactación	Degradación física por pérdida de la función productiva	Degradación química por declinación de la fertilidad	Erosión eólica por acción del viento	Erosión eólica con pérdida del suelo superficial	Erosión hídrica con deformación del terreno	Erosión hídrica con pérdida del suelo superficial
Campeche	15.4	5.7	11.0	-	-	-	-
Chiapas	13.9	6.8	18.9	-	-	-	9.6
Guerrero	1.3	10.3	5.3	-	-	53.0	48.1
Oaxaca	7.5	4.6	8.7	-	1.6	29.5	36.7
Puebla	1.1	13.7	5.9	100.0	86.5	17.5	4.7
Quintana Roo	0.7	11.8	7.2	-	-	-	-
Tabasco	15.0	4.6	6.9	-	-	-	0.9
Veracruz	35.9	23.9	17.7	-	11.9	-	0.0
Yucatán	9.2	18.6	18.3	-	-	-	-

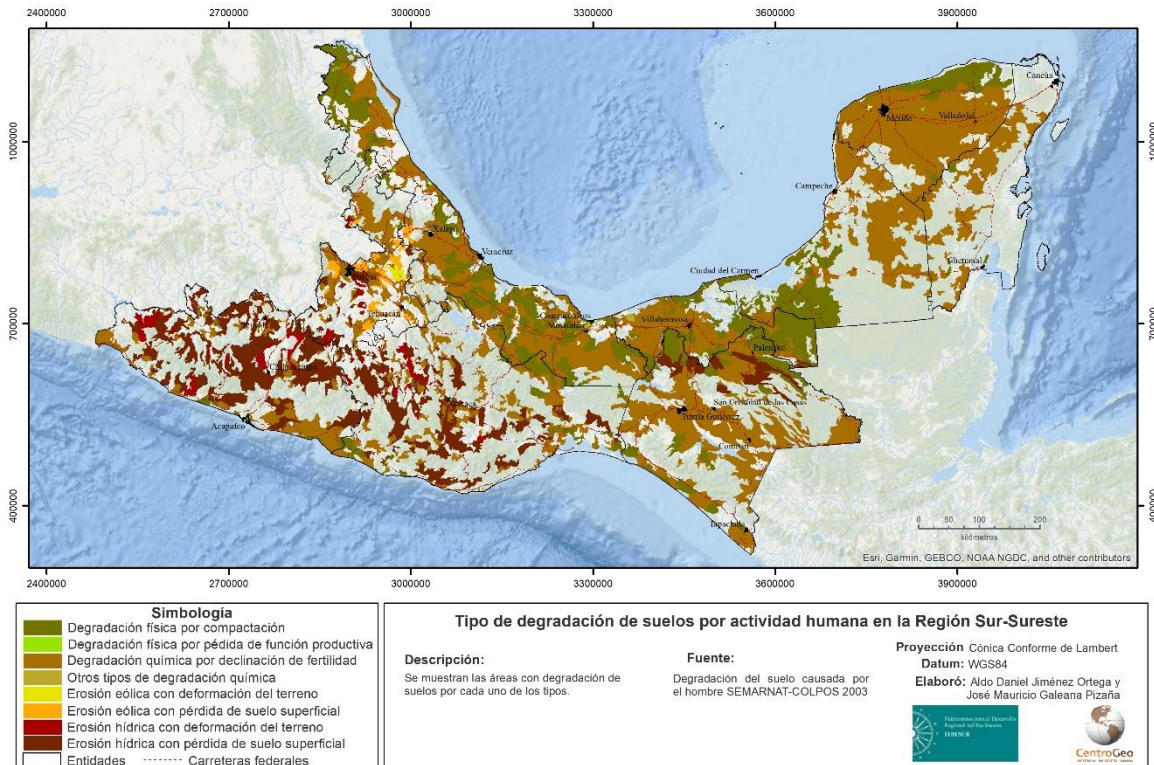


Figura 5. Tipo de degradación de suelos por actividad humana en la región Sur-Sureste

Referencias

Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Revista Ecosistemas*, 21(1-2).

Balvanera, P., H. Cotler et al. (2009). Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos, en capital natural de México, en: *Estado de conservación y tendencias de cambio*, vol. II. México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Bonilla-Moheno, M., Redo, R., Aide, T., Clark & M., Grau, H. (2013). Vegetation change and land tenure in Mexico: a country-wide analysis. *Land Use Policy* 30, 355–364.

Bray, D.B., Duran, E., Ramos, V.H., Mas, J.-F., Velazquez, A., McNab, R.B., Barry, D. & Radachowsky, J. (2008). Tropical Deforestation, Community Forest, and Protected Areas in the Maya Forest. *Ecology and Society* 13(2):56.

Cassman K, Wood S, Choo PS, Dixon J, Gaskell J, Khan S, Lal R, Pretty J, Primavera J, Ramankutty N, Viglizzo E, Kadungure S, Kanbar N, Porter S, Tharme R (2005) Cultivated systems. In: Scholes R, Rashid H (eds) *Millennium Ecosystem Assessment: Working group on conditions and trends*. Island Press, Washington D.C.

Charney J, Stone PH (1975) Drought in the Sahara: A biogeophysical feedback mechanism. *Science* 187:434–435

Couturier, S., & Mas, J. F. (2009). ¿Qué tan confiable es una tasa de deforestación? ¿Cómo evaluar nuestros mapas con rigor estadístico? *Investigación ambiental Ciencia y política pública*, 1(2).

Galeana-Pizaña, J. M., Couturier, S., & Monsivais-Huertero, A. (2018). Assessing food security and environmental protection in Mexico with a GIS-based Food Environmental Efficiency index. *Land Use Policy*, 76, 442-454.

Galicia, L., Zarco-Arista, A.E., Mendoza-Robles, K.I., Palacios-Prieto, J.L. & García-Romero, A. (2008). Land use/cover, landforms and fragmentation patterns in a tropical dry forest in the southern Pacific región of Mexico. *Singapore Journal of Tropical Geography* 29, 137-154.

Hagerman, S. M., & Pelai, R. (2018). Responding to climate change in forest management: two decades of recommendations. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(10), 579-587. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000451912200009. doi:10.1002/fee.1974

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2005). Población rural y rural ampliada en México. México, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Publicación electrónica: <<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825498122>>.

INEGI (2007). Serie de uso de suelo y vegetación IV. Recuperado el 14 de mayo de 2018, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía Sitio web: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

INEGI (2014) Glosario de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo 2014. México, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Publicación electrónica: <<http://www.beta.inegi.org.mx/app/glosario/default.html?p=eic2015>>.

INEGI (2016). Serie de uso de suelo y vegetación VI. Recuperado el 14 de mayo de 2018, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía Sitio web: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

Kasperson JX, Kasperson RE, Turner BL II (eds) (1995) *Regions at risk: Comparisons of threatened environments*. United Nations University Press, Tokyo

Kasperson RE, Archer E, Caceres D, Dow K, Downing T, Elmqvist T, Folke C, Han G, Iyengar K, Vogel C, Wilson K, Ziervogel IG (2005) *Vulnerable people and places*. In: Scholes R, Rashid H (eds) *Millennium Ecosystem Assessment. Working group on conditions and trends*, Island Press, Washington D.C.

Kolb, M. & Galicia, L. (2012). Challenging the linear forestation narrative in the Neo-tropic: regional patterns and processes of deforestation and regeneration in southern Mexico. *The Geographical Journal* 178 (2), 147-161.

Lambin EF, Geist HJ (guest eds) (2006) *Focus: Land-use and land-cover change*. IHDP Update – Newsletter of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change No. 3, August 2005

Lee, Y.C., J. Ahern y C.T. Yeh (2015). Ecosystem services in pen-urban landscapes: the effects of agricultural landscape change on ecosystem services in Taiwan's western coastal

Mas, J. F., Velázquez, A., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, C., Bocco, G., & Pérez-Vega, A. (2004). Assessing land use/cover changes: a nationwide multirate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(4), 249-261.

Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, D.C., USA.

Moreno-Sanchez, R., Buxton-Torres, T., Sinbernagel, K., Moreno-Sanchez, F., 2014. Fragmentation of the forests in Mexico. *Realidad Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía.* INEGI 5, 4–17.

Muñoz-Pina, C., Guevara, A., Torres, J. M., & Brana, J. (2008). Paying for the hydrological services of Mexico's forests: Analysis, negotiations and results. *Ecological Economics*, 65(4), 725-736. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000256151100006. doi:10.1016/j.ecolecon.2007.07.031

Otterman J (1974) Baring high-albedo soils by overgrazing: A hypothesised desertification mechanism. *Science* 86:531–533

Sagan C, Toon OB, Pollack JB (1979) Anthropogenic albedo changes and the Earth's climate. *Science* 206:1363–1368

Sala OE, Chapin FS III, Armesto JJ, Berlow E, Bloomfield J, Dirzo R, Huber-Sanwald E, Huenneke LF, Jackson RB, Kinzig A, Leemans R, Lodge DM, Mooney HA, Oesterheld M, Poff NL, Sykes MT, Walker BH, Walker M, Wall DH (2000) Biodiversity: Global bio- diversity scenarios for the year 2100. *Science* 287:1770–1774.

Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J., & Anta, S. (2009). *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad.* México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 100.

SEMARNAT-CP (2004). *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana escala 1:250,000. Memoria nacional.* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Colegio de Postgraduados.

Torres-Rojo, J. M., & Flores-Xolocotzi, R. (2001). Deforestation and land use change in Mexico. *Journal of Sustainable Forestry*, 12(1-2), 171-192.

Trimble SW, Crosson P (2000) Land use: U.S. soil erosion rates. Myth and reality. *Science* 289:248–250

Turner BL II, Clark WC, Kates RW, Richards JF, Mathews JT, Meyer WB (eds) (1990) *The Earth as transformed by human action: Global and regional changes in the biosphere over the past 300 years.* Cambridge University Press, Cambridge, 713 pp

Turner BL II, Kasperson RE, Matson PA, McCarthy JJ, Corell RW, Christensen L, Eckley N, Kasperson JX, Luers A, Martello ML, Polsky C, Pulsipher A, Schiller A (2003) A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proc Natl Acad Sci USA* 100(14):8074–8079

Varela, H., & Aguilera, R. (1999). Breve descripción de los recursos forestales de México. Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). Programa nacional de reforestación/FAO MONTES. En línea (12 de Noviembre de 2006) <http://www.fao.org/docrep/007/ad102s/AD102S16.htm>.