

Vegetation cover and land use change (1947-2019) in the region of Los Ríos, Tabasco, México

Cambio de uso agrícola y vegetación (1947-2019) en la región de Los Ríos, Tabasco, México

Alex R. Ramírez-García¹; Joel Zavala-Cruz^{1*}; Joaquín A. Rincón-Ramírez¹; Armando Guerrero-Peña¹; Eustolia García-López¹; Rufo Sánchez-Hernández²; Ofelia Castillo-Acosta³; Gloria Alfaro-Sánchez⁴; Mario A. Ortiz-Pérez⁴

¹Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n km 3. C. P. 86500. Cárdenas, Tabasco, México.

²Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Agropecuarias. Carretera Villahermosa-Teapa km 25 + 2, ranchería La Huasteca 2.ª Sección. C. P. 86298. Villahermosa, Tabasco, México.

³División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5, entronque a Bosques de Saloya. C. P. 86150. Villahermosa, Tabasco, México.

⁴Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Instituto de Geografía. Av. Universidad 3000. C. P. 04510. Coyoacán, Ciudad de México, México.

*Corresponding author: zavala_cruz@colpos.mx; tel.: +52 993 286 4255.

Abstract

Introduction: The spread of agricultural use leads to changes in vegetation cover, loss of biodiversity and ecosystem services.

Objective: To analyze land use change and its effect on natural vegetation in the region of Los Ríos, Tabasco, Mexico, during the period 1947-2019.

Materials and methods: A total of 14 land use and vegetation classes were identified using aerial photographs from 1947 and supervised classification of satellite images, verifying those from 1947 to 2000 with published cartography and those from 2019 (Landsat 8) in the field. Land use and vegetation cover change was analyzed by overlaying and comparing the maps with the Land Change Modeler module integrated in the TerrSet program.

Results and discussion: In 72 years, natural vegetation was mostly replaced by crops, grassland and forest plantations, followed by human settlements. These uses, together, represented 14.2 % of the region's surface and increased to 61.8 %; that is, an increase of 435 %. These uses replaced areas of rainforest, secondary vegetation and hydrophytes, which went from 82.3 % to 29.7 %, representing a loss of 64 % of these coverages. Between 1947 and 1984, natural vegetation suffered the greatest loss of area (53.7 %).

Conclusions: The loss of natural vegetation in the region occurred because of the increase in agricultural land and human settlements. The increase in agricultural land was driven by government programs without considering the environmental factor.

Resumen

Introducción: La expansión del uso agropecuario genera cambios de cobertura vegetal, pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos.

Objetivo: Analizar el cambio de uso agrícola y su efecto en la vegetación natural en la región de Los Ríos, Tabasco, México, durante el periodo 1947-2019.

Materiales y métodos: Se identificaron 14 clases de uso de suelo y vegetación mediante fotografías aéreas de 1947 y clasificación supervisada de imágenes de satélite, verificando las de 1947 al 2000 con cartografía publicada y las de 2019 (Landsat 8) en campo. El cambio de uso de suelo y vegetación se analizó mediante superposición y comparación de los mapas con el módulo Land Change Modeler integrado en el programa TerrSet.

Resultados y discusión: En 72 años, la vegetación natural fue sustituida mayormente por cultivos, pastizales y plantaciones forestales, seguidos de asentamientos humanos. Estos usos, en conjunto, representaban 14.2 % de la superficie de la región y aumentaron a 61.8 %; es decir, un incremento de 435 %. Dichos usos sustituyeron áreas de selva, vegetación secundaria e hidrófita, las cuales pasaron de 82.3 a 29.7 %, representando una pérdida de 64 % de estas coberturas. Entre 1947 y 1984, la vegetación natural sufrió la mayor pérdida de área (53.7 %).

Conclusiones: La pérdida de vegetación natural en la región se dio a causa del incremento en la superficie de uso agrícola y asentamientos humanos. La ampliación de la superficie agropecuaria fue impulsada por programas gubernamentales sin considerar el factor ambiental.

Keywords: tropical rainforest; vegetation cover; agricultural crops; grassland; human settlements.

Palabras clave: selva tropical; cobertura vegetal; cultivo agrícola; pastizal; asentamientos humanos.

Introduction

The interaction of humans with the biophysical elements of a territory generates structural changes at the landscape-ecosystem level (Sewnet & Abebe, 2018). The expansion of the agricultural frontier, extensive livestock farming and population growth have caused the loss of 73 % of tropical forests worldwide (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], & United Nations Environment Programme [UNEP], 2020; Rojas et al., 2020). This has resulted in increased pressure on other land, water and nutrient uses (Dhar, Chakraborty, Chattopadhyay, & Sikdar, 2019; Lone & Mayer, 2019); loss of biodiversity, ecosystem services, habitat for wildlife species (Liu et al., 2019; Hasan, Zhen, Miah, Ahamed, & Samie, 2020); and soil degradation through erosion and desertification processes (Obade & Lal, 2013).

In Mexico, crop and grassland areas increased 21 % (Velázquez et al., 2002), parallel to deforestation of 8.3 % of forests and rainforests between 1976 and 2007 (Rosete-Vergés et al., 2014). In Tabasco, agricultural use deforested 63.4 % of rainforests in the period 1940-2006 (Zavala-Cruz & Castillo-Acosta, 2007). The agricultural projects Plan Chontalpa and Plan Balancán-Tenosique deforested 245 000 ha of rainforests and secondary vegetation between 1960 and 2000 (Geissen et al., 2009; Isaac-Márquez et al., 2008). In recent decades, land-use change in Tabasco has been associated with the establishment of grassland and crops, timber extraction, oil industry, roads, human settlements and forest fires, which have affected forests, mangroves and secondary vegetation (Geissen et al., 2009; Ramos-Reyes, Palomeque de la Cruz, Núñez, & Sánchez-Hernández, 2019).

Changes in land cover and land use, and their environmental and social repercussions, require the development of procedures for their quantification at low cost and with greater precision over large geographic areas (Yulianto, Prasasti, Pasaribu, Fitriana, & Zylshal-Haryani, 2016). The analysis of remotely sensed materials (aerial photographs, satellite imagery and drones), using efficient and reliable Geographic Information Systems (GIS) to handle large volumes of information (Chuvieco, 2002), has boosted thematic coverage mapping (Yulianto et al., 2016). Thus, the multitemporal study of land use and vegetation contributes to the understanding of land cover variations and trend prediction, with useful information for planners and decision makers to propose actions for sustainable development, land management and mitigation of environmental problems and climate change (Hasan et al., 2020; Tahmasebi, Karami, & Keshavarz, 2020). The objective of this study was to analyze land use change and its effect on natural

Introducción

La interacción de los seres humanos con los elementos biofísicos de un territorio genera cambios estructurales a nivel paisaje-ecosistema (Sewnet & Abebe, 2018). La expansión de la frontera agrícola, la ganadería extensiva y el crecimiento poblacional han causado la pérdida de 73 % de los bosques tropicales a nivel mundial (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2020; Rojas et al., 2020). Esto ha ocasionado mayor presión sobre otros usos del suelo, agua y nutrientes (Dhar, Chakraborty, Chattopadhyay, & Sikdar, 2019; Lone & Mayer, 2019); pérdida de biodiversidad, servicios ecosistémicos, hábitat de especies de fauna (Liu et al., 2019; Hasan, Zhen, Miah, Ahamed, & Samie, 2020); y degradación de suelos mediante procesos de erosión y desertificación (Obade & Lal, 2013).

En México, las superficies de cultivo y pastizal incrementaron 21 % (Velázquez et al., 2002), paralelo a la deforestación de 8.3 % de bosques y selvas entre 1976 y 2007 (Rosete-Vergés et al., 2014). En Tabasco, el uso agropecuario deforestó 63.4 % de las selvas en el periodo 1940-2006 (Zavala-Cruz & Castillo-Acosta, 2007). Tan solo los proyectos agropecuarios Plan Chontalpa y Plan Balancán-Tenosique deforestaron 245 000 ha de selvas y vegetación secundaria entre 1960 y 2000 (Geissen et al., 2009; Isaac-Márquez et al., 2008). En las últimas décadas, el cambio de uso de suelo en Tabasco se asoció al establecimiento de pastizales y cultivos, extracción de madera, industria petrolera, vías de comunicación, asentamientos humanos e incendios forestales, los cuales afectaron selvas, manglares y vegetación secundaria (Geissen et al., 2009; Ramos-Reyes, Palomeque de la Cruz, Núñez, & Sánchez-Hernández, 2019).

Los cambios en la cobertura y uso de suelo, y sus repercusiones ambientales y sociales, requieren del desarrollo de procedimientos para su cuantificación a bajo costo y con mayor precisión en áreas geográficas extensas (Yulianto, Prasasti, Pasaribu, Fitriana, & Zylshal-Haryani, 2016). El análisis de materiales de percepción remota (fotografías aéreas, imágenes de satélite y drones), mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) eficaces y confiables para manejar grandes volúmenes de información (Chuvieco, 2002), ha impulsado la cartografía temática de cobertura (Yulianto et al., 2016). De este modo, el estudio multitemporal del uso del suelo y vegetación contribuye a la comprensión de las variaciones de las coberturas y a la predicción de tendencias, con información útil para que los planificadores y tomadores de decisiones propongan acciones de desarrollo sustentable, ordenamiento territorial y

vegetation in the region of Los Ríos, Tabasco, Mexico, for the period 1947-2019.

Materials and Methods

The study was carried out in the region of Los Ríos, municipalities of Balancán, Emiliano Zapata and Tenosique in the east part of Tabasco (Figure 1), in an area of 6234.2 km² (24.7 % of the state). The region is bordered to the north and west by the states of Campeche and Chiapas, and to the east and south by the Republic of Guatemala. From north to south, the climates are warm sub-humid with summer rainfall (Aw), warm humid with abundant summer rainfall (Am) and warm humid with abundant rainfall all year round (Af); mean annual precipitation ranges from 1600 to 2000 mm and mean annual temperature from 26 to 28 °C (Aceves-Navarro & Rivera-Hernández, 2019). The region has geofoms of plains, hills and mountains drained by the Usumacinta and San Pedro rivers (Salgado-García et al., 2017).

mitigación de la problemática ambiental y cambio climático (Hasan et al., 2020; Tahmasebi, Karami, & Keshavarz, 2020). Este estudio tuvo como objetivo analizar el cambio de uso agrícola y su efecto en la vegetación natural en la región de Los Ríos, Tabasco, México, en el periodo 1947-2019.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la región de Los Ríos en los municipios de Balancán, Emiliano Zapata y Tenosique en el este de Tabasco (Figura 1), en un área de 6234.2 km² (24.7 % de la entidad). La región colinda al norte y oeste con los estados de Campeche y Chiapas, y al este y sur con la República de Guatemala. De norte a sur, prevalecen los climas cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw), cálido húmedo con lluvias abundantes en verano (Am) y cálido húmedo con lluvias abundantes todo el año (Af); la precipitación media anual varía de 1600 a 2000 mm y la temperatura media anual oscila de 26 a 28 °C (Aceves-Navarro &

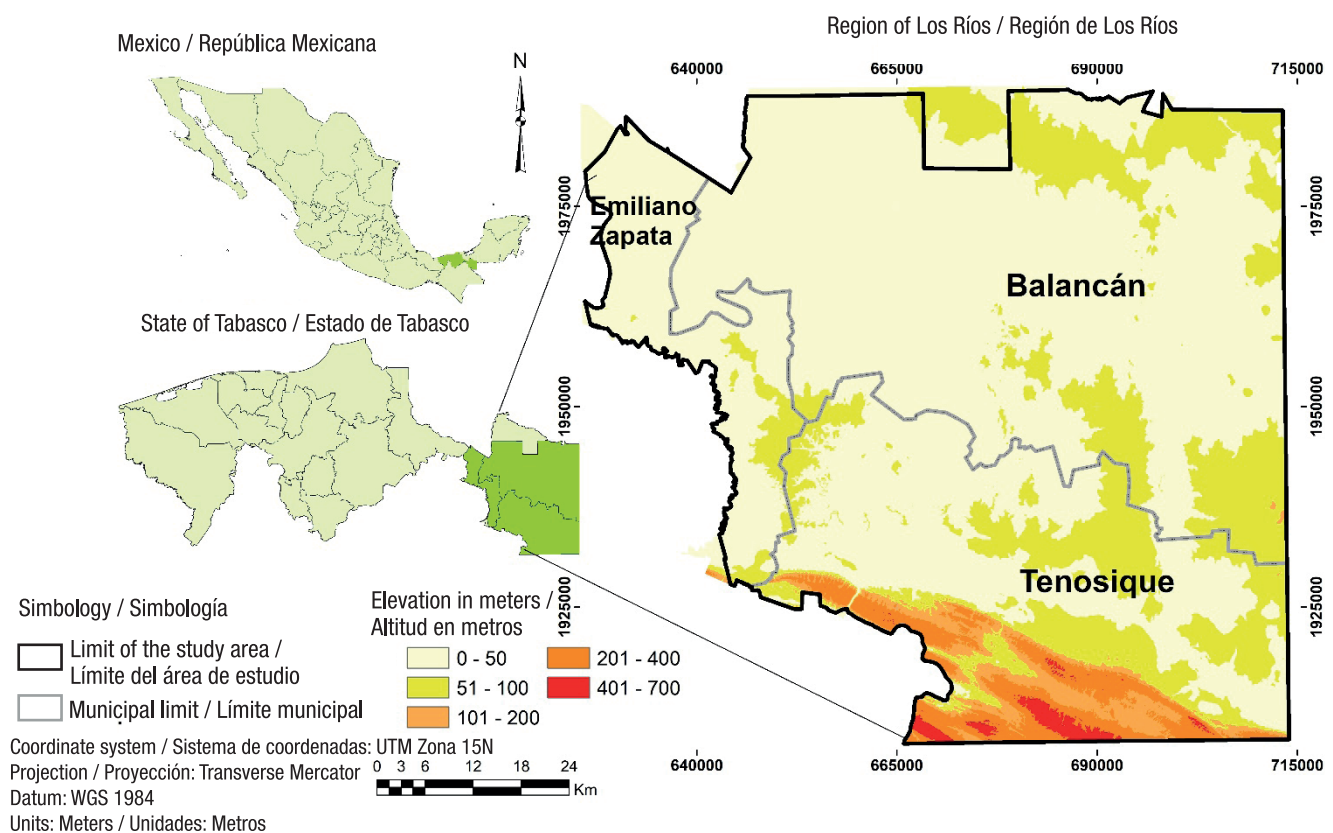


Figure 1. Location of the region of Los Ríos in Tabasco, Mexico.

Figura 1. Localización de la región de Los Ríos en el estado de Tabasco, México.

Data sources for land use and vegetation cover mapping

Aerial photographs from 1947 at a scale of 1:20000 were taken from Aerofoto. For 1984, 2000 and 2019, satellite images with pixel size of 30 x 30 m were downloaded from the United States Geological Survey portal (Landsat collection 1 level-2,- on-demand) (Table 1) with atmospheric and geographic correction (United States Geological Survey [USGS], 2019). The images had low percentage of cloud cover, except for the July 2019 image in the south part, which was resolved by generating a cloud layer from that month and cropping the cloud-free image from March of the same year; this image complemented the July image. A similar procedure was performed by Lin, Tsai, Lai, and Chen (2013) in areas with cloud cover.

Classification of aerial photographs and satellite images

Aerial photographs from 1947 were georeferenced and photointerpreted based on tone and texture criteria to generate a vector layer of land use and vegetation cover (Chuvienco, 2002). In the preprocessing of these images, band stacking was used to convert them into a single layer, the area of interest of each image was cropped and the natural color band combinations 3-2-1 (red: 3, green: 2, blue: 1) and 4-3-2 for near infrared (red: 4, green: 3, blue: 2) were made (Chuvienco, 2002; Congedo, 2016).

Rivera-Hernández, 2019). La región presenta geoformas de planicies, lomeríos y montañas drenadas por los ríos Usumacinta y San Pedro (Salgado-García et al., 2017).

Fuentes de datos para la cartografía de uso de suelo y vegetación

Se obtuvieron fotografías aéreas de 1947 a escala 1:20000 de Aerofoto. Para 1984, 2000 y 2019 se adquirieron imágenes satelitales con tamaño de píxel de 30 x 30 m, descargadas en el portal del Servicio Geológico de los Estados Unidos (Landsat collection 1 level-2,- on-demand) (Cuadro 1) con corrección atmosférica y geográfica (United States Geological Survey [USGS], 2019). Las imágenes presentaron bajo porcentaje de nubosidad, excepto la de julio 2019 en la parte sur, lo cual se resolvió generando una capa de nubes de ese mes y recortando la imagen sin nubes de marzo del mismo año; esta imagen complementó la de julio. Un procedimiento similar fue realizado por Lin, Tsai, Lai, y Chen (2013) en áreas con nubosidad.

Clasificación de fotografías aéreas e imágenes satelitales

Las fotografías aéreas de 1947 se georreferenciaron y fotointerpretaron con base en criterios de tono y textura para generar una capa vectorial de usos de suelo y vegetación (Chuvienco, 2002). En el preprocesamiento de las imágenes se utilizó el apilamiento de las bandas para convertirlas en una sola capa, se recortó el área de

Table 1. Characteristics of the satellite images used in the land use change analysis of the Los Ríos region, Tabasco, Mexico.

Cuadro 1. Características de las imágenes satelitales utilizadas en el análisis de cambio de uso de suelo de la región de Los Ríos, Tabasco, México.

Date of purchase/ Fecha de adquisición	Satellite/ Satélite	Sensor identifier/ Identificador del sensor	Resolution (m)/ Resolución (m)	Path	Row	Cloud cover (%)/ Nubosidad (%)
November 25, 1984/ 25 de noviembre de 1984	Landsat 5	TM	30 x 30	21	48	0
December 5, 1999/ 5 de diciembre de 1999	Landsat 5	TM	30 x 30	21	48	2.00
March 31, 2019/ 31 de marzo del 2019	Landsat 8	OLI_TIRS	30 x 30	21	48	1.00
July 5, 2019/ 05 de julio del 2019	Landsat 8	OLI_TIRS	30 x 30	21	48	0.94

Source: United States Geological Survey (USGS, 2019).

Fuente: United States Geological Survey (USGS, 2019).

Literature and cartography on land use and vegetation types of the Los Ríos region were reviewed (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 1984, 2017; López-Mendoza, 1980; Vázquez-Negrín, Castillo-Acosta, Valdez-Hernández, Zavala-Cruz, & Martínez-Sánchez, 2011) (Table 2). Subsequently, satellite images were visually interpreted by comparing mapping information with spectral signatures of the RGB band combination (3-2-1 and 4-3-2) at each date; hue variations were associated with land use classes

interés de cada imagen y se hicieron las combinaciones de banda de color natural 3-2-1 (rojo: 3, verde: 2, azul: 1) y 4-3-2 para el infrarrojo cercano (rojo: 4, verde: 3, azul: 2) (Chuvienco, 2002; Congedo, 2016).

Se revisó literatura y cartografía sobre usos del suelo y tipos de vegetación de la región de Los Ríos (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 1984, 2017; López-Mendoza, 1980; Vázquez-Negrín, Castillo-Acosta, Valdez-Hernández, Zavala-Cruz, & Martínez-Sánchez,

Table 2. Land uses and vegetation types of the Los Ríos region, Tabasco, Mexico.

Cuadro 2. Usos de suelo y tipos de vegetación de la región de Los Ríos, Tabasco, México.

Cover/Coberturas	Key/Clave	Uses/Usos
Temporary crop/Cultivo temporal	TC/CT	Maize (<i>Zea mays</i> L.), sorghum (<i>Sorghum bicolor</i> L. Moench), rice (<i>Oryza sativa</i> L.), beans (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.), squash (<i>Cucurbita argyrosperma</i> H.)/ Maíz (<i>Zea mays</i> L.), sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> L. Moench), arroz (<i>Oryza sativa</i> L.), frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.), calabaza (<i>Cucurbita argyrosperma</i> H.)
Annual crop/Cultivo anual	AC/CA	Papaya (<i>Carica papaya</i> L.), sugar cane (<i>Saccharum officinarum</i> L.)/ Papaya (<i>Carica papaya</i> L.), caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.)
Permanent crop/ Cultivo permanente	PC/CP	Oil palm (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.)/ Palma de aceite (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.)
Forest plantations/ Plantaciones forestales	PF	Eucalyptus (<i>Eucalyptus grandis</i> W.), teak (<i>Tectona grandis</i> L.), gmelina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb.), cedar (<i>Cedrela odorata</i> L.)/ Eucalipto (<i>Eucalyptus grandis</i> W.), teca (<i>Tectona grandis</i> L.), melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb.), cedro (<i>Cedrela odorata</i> L.)
Grassland/Pastizal	G/P	<i>Pennisetum purpureum</i> A., <i>Paspalum dilatatum</i> P., <i>Panicum maximum</i> Jacq.
Evergreen rainforest / Selva alta perennifolia	EF/SAP	<i>Guatteria anomala</i> R. E., <i>Dialium guianense</i> L., <i>Calophyllum brasiliense</i> L., <i>Brosimum alicastrum</i> Sw.
Rainforest and semi- evergreen seasonal forest/ Selva mediana subperennifolia y subcaducifolia	RF/ SMSP	<i>Bucida buceras</i> L., <i>Cedrela odorata</i> L., <i>Piscidia piscipula</i> L., <i>Tabebuia rosea</i> Bertol.
Flooded forest/ Selva baja inundable	FF/SBI	<i>Pachira aquatica</i> Aubl., <i>Annona glabra</i> L., <i>Haematoxylum campechianum</i> L.
Savanna/Sabana	S	<i>Curatella americana</i> L., <i>Byrsonima crassifolia</i> L., <i>Crescentia alata</i> K., <i>Crescentia cujete</i> L.
Secondary vegetation/ Vegetación secundaria	SV/VS	Plants from native vegetation affected by human activities/ Plantas que derivan de vegetación original afectada por actividades humanas
Hydrophytic vegetation/ Vegetación hidrófita	HV/VH	<i>Thalia geniculata</i> L., <i>Typha domingensis</i> Pers., <i>Cladium jamaicense</i> L. (Crantz)
Human settlement/ Asentamiento humano	HS/AH	Urban demographic conglomerate/ Conglomerado demográfico urbano
Bare soil/Suelo desnudo	BS/SD	Vegetation-free area/Superficie sin vegetación
Water bodies/Cuerpos de agua	Ca	River and lagoon/Río y laguna

and vegetation types (Tarawally, Wenbo, Weiming, Mushore, & Kursa, 2019) found in the literature review. Regions of interest were then created for each land use and vegetation class (Congedo, 2016) and proceeded to supervised classification (Obodaia, Adjei, Odaia, & Lumor, 2019). The satellite images were analyzed with the Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) extension which is a free and open-source add-on to QGIS 3.8.3 software (Congedo, 2016; Dhar et al., 2019).

The accuracy of the land use and vegetation map from 2019 was evaluated using Google Earth Pro version 7.3.4 software and a random sampling of sites with land uses, vegetation, water bodies and human settlements; geographic coordinates were stored in a Garmin eTrex GPS; and 644 points were validated in the field. Classification efficiency was achieved by overlaying the validated site information on the use and vegetation cover map, a confusion matrix was determined, and the Kappa index was estimated (Dhar et al., 2019; Obodaia et al., 2019).

The accuracy of the maps from 1947, 1984, and 2000 was evaluated with cartography and information from regional land use and vegetation cover studies (Estrada-Loreto, Barba-Macias, & Ramos-Reyes, 2013; Hernández-Rojas, López-Barrera, & Bonilla-Moheno, 2018; López-Mendoza, 1980; INEGI, 1984, 2001). For each year, cartography was georeferenced and overlaid on the land use and vegetation cover maps of the classified satellite images, geographically referenced points were generated, and confusion matrices and Kappa indices were developed (Dhar et al., 2019; Obodaia et al., 2019; Tarawally et al., 2019).

Land use change and vegetation cover analysis

Land use and vegetation change was analyzed by superimposing and comparing the maps using the Land Change Modeler module integrated in the TerrSet program, which provides land use change maps and graphs of gains and losses, net change and persistence of specific transitions (Clark Labs, 2009; Tarawally et al., 2019).

Results

Land use and vegetations for the period 1947-2019

Land use and vegetation maps from 1947, 1984, 2000 and 2019 had an accuracy of 75.8 %, 72.7 %, 75.2 % and 71.1 % respectively, and Kappa indices were 0.72, 0.69, 0.73 and 0.68 for those years. Table 3 and Figure 2 show the areas by land use for the period 1947-2019.

By 1947, agricultural areas and grasslands were distributed over 14.1 % of the Los Ríos region. Natural vegetation occupied the largest area (82.3 %), dominated

2011) (Cuadro 2). Posteriormente, las imágenes de satélite se interpretaron visualmente mediante la comparación de la información cartográfica con las firmas espectrales de la combinación de banda RGB (3-2-1 y 4-3-2) en cada fecha; las variaciones de tonalidad se asociaron a clases de uso de suelo y tipos de vegetación (Tarawally, Wenbo, Weiming, Mushore, & Kursa, 2019) obtenidas en la revisión bibliográfica. A continuación, se crearon regiones de interés para cada clase de uso de suelo y vegetación (Congedo, 2016) y se procedió a la clasificación supervisada (Obodaia, Adjei, Odaia, & Lumor, 2019). Las imágenes satelitales se analizaron con la extensión de Plugin Clasificación Semiautomática (SCP) que es un complemento de código abierto y gratuito del *software* QGIS 3.8.3 (Congedo, 2016; Dhar et al., 2019).

La precisión del mapa de uso de suelo y vegetación del 2019 se evaluó con ayuda del *software* Google Earth Pro versión 7.3.4 y un muestreo aleatorio de sitios con usos de suelo, vegetación, cuerpos de agua y asentamientos humanos; las coordenadas geográficas se almacenaron en un GPS Garmin eTrex; y en el campo se validaron 644 puntos. La eficacia de la clasificación se obtuvo mediante sobreposición de la información de los sitios validados en el mapa de uso y vegetación, se generó una matriz de confusión y se calculó el índice de Kappa (Dhar et al., 2019; Obodaia et al., 2019).

La precisión de los mapas de 1947, 1984 y 2000 se evaluó con cartografía e información de estudios de uso y vegetación regionales (Estrada-Loreto, Barba-Macias, & Ramos-Reyes, 2013; Hernández-Rojas, López-Barrera, & Bonilla-Moheno, 2018; López-Mendoza, 1980; INEGI, 1984, 2001). La cartografía de cada año se georreferenció y sobrepuso en los mapas de uso de suelo y vegetación de las imágenes satelitales clasificadas, se generaron puntos con referencia geográfica y se elaboraron matrices de confusión y los índices de Kappa (Dhar et al., 2019; Obodaia et al., 2019; Tarawally et al., 2019).

Análisis de cambio de uso de suelo y vegetación

El cambio de uso de suelo y vegetación se analizó mediante superposición y comparación de los mapas utilizando el módulo Land Change Modeler integrado en el programa TerrSet, el cual permite la generación de mapas de cambio de uso del suelo y gráficos de ganancias y pérdidas, cambio neto y persistencia de transiciones específicas (Clark Labs, 2009; Tarawally et al., 2019).

Resultados

Uso de suelo y vegetación en el periodo 1947-2019

Los mapas de uso de suelo y vegetación de 1947, 1984, 2000 y 2019 tuvieron una precisión de 75.8 %, 72.7 %, 75.2 % y 71.1 %, respectivamente, e índices de Kappa de 0.72, 0.69, 0.73 y 0.68 para esos años. La Tabla 3 y la Figura 2 muestran las áreas por uso de suelo para el periodo 1947-2019.

Table 3. Land use areas and vegetation types for the period 1947-2019 in the Los Ríos region, Tabasco, Mexico.
Cuadro 3. Superficies de usos del suelo y tipos de vegetación en el periodo 1947-2019 en la región de Los Ríos, Tabasco, México.

Cover / Coberturas	1947			1984			2000			2019		
	Area (km ²) / Superficie (km ²)	Percentage (%) / Proporción (%)	Area (km ²) / Superficie (km ²)	Percentage (%) / Proporción (%)	Area (km ²) / Superficie (km ²)	Percentage (%) / Proporción (%)	Area (km ²) / Superficie (km ²)	Percentage (%) / Proporción (%)	Area (km ²) / Superficie (km ²)	Percentage (%) / Proporción (%)		
Temporary crop / Cultivo temporal	140.8	2.6	358.1	6.6	300.6	5.5	864.2	15.8				
Annual crop / Cultivo anual	-	-	548.9	10.1	884.2	16.2	357.3	6.5				
Permanent crop / Cultivo permanente	-	-	-	-	-	-	94.7	1.7				
Forest plantations / Plantaciones forestales	-	-	-	-	6.3	0.1	241.4	4.4				
Grassland / Pastizal	628.4	11.5	2 051.4	37.6	1 689.8	30.9	1 753.6	32.1				
Evergreen rainforest / Selva alta perennifolia	1 782.9	32.7	338.3	6.2	314.5	5.8	275	5.0				
Rainforest and semi- evergreen seasonal forest / Selva mediana subperennifolia y subcaducifolia	1 296.3	23.7	94.6	1.7	70.6	1.3	131.7	2.4				
Flooded forest / Selva baja inundable	280.5	5.1	272.8	5.0	323.5	5.9	141	2.6				
Savanna / Sabana	310.2	5.7	-	-	-	-	-	-				
Secondary vegetation / Vegetación secundaria	473.8	8.7	1 044.1	19.1	823.4	15.1	812	14.9				
Hydrophytic vegetation / Vegetación hidrófita	348.6	6.4	382.4	7.0	402.7	7.4	263.9	4.8				
Human settlement / Asentamiento humano	3.2	0.1	41.1	0.8	51.3	0.9	64	1.2				
Bare soil / Suelo desnudo	3.9	0.1	56.5	1.0	262.9	4.8	291.8	5.3				
Water bodies / Cuerpos de agua	191.6	3.5	271.8	5.0	330.1	6.0	169.3	3.1				
Total	5 459.9	100	5 459.9	100	5 459.9	100	5 459.9	100				

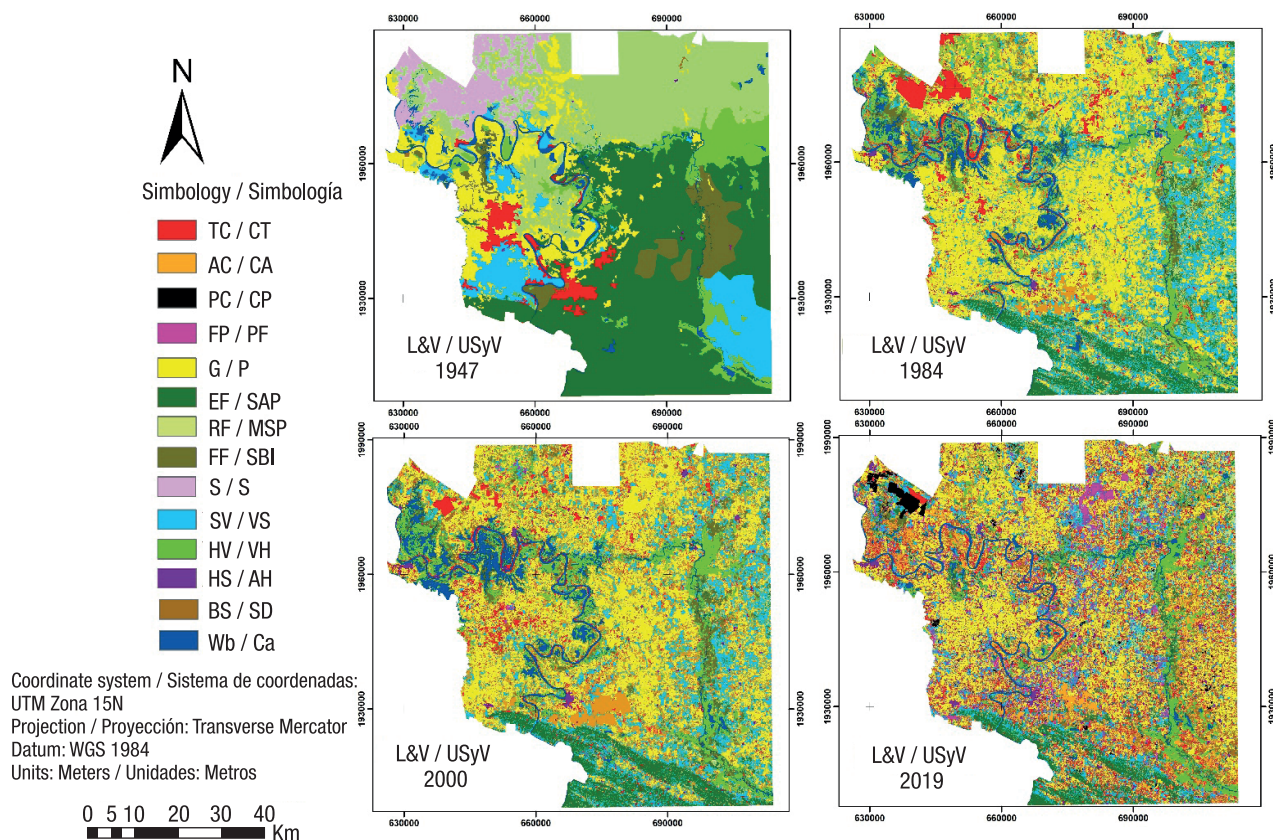


Figure 2. Land use and vegetation cover (L&V) for the period 1947-2019 in the region of Los Ríos, Tabasco, Mexico.

TC = temporary crop, AC = annual crop, PC = permanent crop, FP = forest plantations, G = grassland, EF = evergreen forest, RF = rainforest and semi-evergreen seasonal forest, FF= flooded forest, S = savanna, SV = secondary vegetation, HV = hydrophytic vegetation, HS = human settlement, BS = bare soil, Wb = water bodies.

Figura 2. Uso del suelo y vegetación (USyV) en el periodo 1947-2019 en la región de Los Ríos, Tabasco, México.

CT = cultivo temporal, CA = cultivo anual, CP = cultivo permanente, PF = plantaciones forestales, P = pastizal, SAP = selva alta perennifolia, SMSP = selva mediana subperennifolia y subcaducifolia, SBI = selva baja inundable, S = sabana, VS = vegetación secundaria, VH = vegetación hidrófita, AH = asentamiento humano, SD = suelo desnudo, Ca = cuerpos de agua.

by rainforests (evergreen rainforest [EF], rainforest and semi-evergreen seasonal forest [RF] and flooded forest [FF]) with 61.5 %, followed by savanna, secondary and hydrophytic vegetation. Human settlements, bare soil and water bodies occupied small areas.

The largest area of the region (54.3 %) was occupied by agricultural uses in 1984, with a greater coverage of grasslands and lesser coverage of crops. Vegetation areas had different trends; rainforests reduced their surface area to 12.9 %, savanna disappeared and secondary and hydrophytic vegetation increased (26.1 %). Human settlements, bare soil and water bodies increased their area.

Agricultural uses occupied 52.7 % of the land in 2000, with a predominance of grasslands over crops. Forest plantations appeared in a minimal area. The area covered by rainforests remained the same (13 %), secondary vegetation decreased and hydrophytic

75.2 % and 71.1 % respectively, and the indices of Kappa were 0.72, 0.69, 0.73 and 0.68 for those years. El Cuadro 3 y Figura 2 señalan las superficies por uso de suelo en el periodo 1947-2019.

En 1947, las zonas agrícolas y los pastizales se distribuían en 14.1 % de la región de Los Ríos. La vegetación natural ocupaba la mayor superficie (82.3 %), predominaban las selvas (alta perennifolia [SAP], mediana subperennifolia y subcaducifolia [SMSP] y baja inundable [SBI]) con 61.5 %, seguidas de sabana, vegetación secundaria e hidrófita. Los asentamientos humanos, suelo desnudo y cuerpos de agua ocupaban superficies pequeñas.

En 1984, los usos agropecuarios ocuparon la mayor superficie de la región (54.3 %), con mayor cobertura de pastizales y menor de cultivos. Las áreas de vegetación presentaron tendencias diferentes; las selvas redujeron su superficie a 12.9 %, la sabana desapareció y las vegetaciones secundaria e hidrófita incrementaron

vegetation increased slightly. Human settlements, bare soil and water bodies continued to grow (11.7 %).

By 2019, agricultural uses reached the largest area (60.5 %) with increases in grasslands and temporary and permanent crops. Forest plantations expanded their area. Forest vegetation decreased to 10 %, secondary vegetation remained the same and hydrophytic vegetation decreased. Human settlements and bare soil continued to grow and water bodies lost surface area.

Land use and vegetation cover dynamics for the period 1947-2019

Table 4 shows the balance between losses, gains and net change of agricultural land use, vegetation cover and others, between 1947 and 2019; the data show different dynamics in the Los Ríos region. Crops and grasslands had the greatest positive net change with 2185.7 km² for the period 1947-1984. Between 1984 and 2000, only annual crops showed a positive net change, and the introduction of forest plantations began. For the period 2000-2019, a positive net change was observed in grasslands and crops, except for annual crops. Temporary crops stand out with the highest net favorable change in 72 years, as well as forest plantations and permanent crops that covered 329.5 km².

Rainforest and savanna vegetation showed negative net changes in all periods, being greater between 1947 and 1984 with 1 622.9 km². Secondary and hydrophytic vegetation showed positive net changes between 1947 and 1984, and negative between 1984 and 2019.

Human settlements and bare soil showed positive net changes in all three assessment periods, while water bodies showed positive net changes between 1947 and 2000, and negative between 2000 and 2019.

Transition of vegetation cover and land use change

Based on Figure 3, between 1947 and 1984, the main change from rainforest, savanna and secondary vegetation was to grassland, followed by annual and temporary crops. Some areas of grassland and temporary crops changed to other agricultural use. For the periods 1984-2000 and 2000-2019, the biggest changes occurred in the agricultural use zone. The alternation was from grassland to crops, forest plantations and secondary vegetation, and from crops to grassland and secondary vegetation. Secondary and hydrophytic vegetation changed to grassland and crops, and rainforest to secondary vegetation.

Discussion

Accuracy values suggest that land use and vegetation maps from 1947, 1984, 2000 and 2019 are acceptable

(26.1 %). Los asentamientos humanos, suelo desnudo y cuerpos de agua aumentaron su área.

En el año 2000, los usos agropecuarios ocupaban 52.7% con predominio de pastizales sobre los cultivos. Las plantaciones forestales aparecieron en una superficie mínima. El área cubierta por selvas se mantuvo (13 %), la vegetación secundaria disminuyó y la hidrófita incrementó ligeramente. Los asentamientos humanos, suelo desnudo y cuerpos de agua continuaron creciendo (11.7 %).

En 2019, los usos agropecuarios alcanzaron la mayor superficie (60.5 %) con incremento de pastizales y cultivos temporales y permanentes. Las plantaciones forestales ampliaron su área. La vegetación de selvas disminuyó al 10 %, la vegetación secundaria se mantuvo y la hidrófita decreció. Los asentamientos humanos y suelo desnudo continuaron creciendo y los cuerpos de agua perdieron superficie.

Dinámica de uso del suelo y vegetación en el periodo 1947-2019

El Cuadro 4 muestra el balance entre pérdidas, ganancias y cambio neto de superficies de usos agropecuarios, vegetación y otros, entre 1947 y 2019; los datos evidencian dinámicas diferentes en la región de Los Ríos. Los cultivos y pastizales tuvieron el mayor cambio neto positivo con 2 185.7 km² en el periodo 1947-1984. Entre 1984 y 2000, solo los cultivos anuales mostraron un cambio neto positivo e inició la introducción de plantaciones forestales. Para el periodo 2000-2019 se observó un cambio neto positivo en pastizales y cultivos, excepto en los anuales. Los cultivos temporales destacan con el mayor cambio neto favorable en 72 años, así como las plantaciones forestales y cultivos permanentes que cubrieron 329.5 km².

La vegetación de selvas y sabana presentaron cambios netos negativos en todos los periodos, siendo mayor entre 1947 y 1984 con 1 622.9 km². La vegetación secundaria e hidrófita mostraron cambios netos positivos entre 1947 y 1984, y negativos entre 1984 y 2019.

Los asentamientos humanos y suelo desnudo presentaron cambios netos positivos en los tres periodos de evaluación, mientras que los cuerpos de agua mostraron cambios netos positivos entre 1947 y 2000, y negativos entre 2000 y 2019.

Transición de cambio de uso de suelo y vegetación

De acuerdo con la Figura 3, entre 1947 y 1984, la principal transición de selvas, sabana y vegetación secundaria fue hacia pastizales, seguida de cultivos anuales y temporales. Algunas áreas de pastizales y

Table 4. Land use and vegetation cover (L&V) dynamics in the region of Los Ríos, Tabasco, Mexico, for the period 1947-2019. Cuadro 4. Dinámica de usos de suelo y vegetación (USyV) en la región de Los Ríos, Tabasco, México, en el periodo 1947-2019.

I&V/ USyV	1947-1984				1984-2000				2000-2019			
	Loss (km ²)/ Pérdida (km ²)	Gain (km ²)/ Ganancia (km ²)	Change (km ²)/ Cambio (km ²)	Persistence (km ²)/ Persistencia (km ²)	Loss (km ²)/ Pérdida (km ²)	Gain (km ²)/ Ganancia (km ²)	Change (km ²)/ Cambio (km ²)	Persistence (km ²)/ Persistencia (km ²)	Loss (km ²)/ Pérdida (km ²)	Gain (km ²)/ Ganancia (km ²)	Change (km ²)/ Cambio (km ²)	Persistence (km ²)/ Persistencia (km ²)
TC/CT	-124.9	342.2	217.2	15.7	-293.1	-235.6	-57.5	65.0	-252.9	816.3	563.4	47.7
AC/CA	0	548.3	548.3	0	-400.0	735.3	335.3	148.9	-800.4	273.7	-526.7	83.6
PC/CP	-	-	-	-	-	-	-	-	0	94.7	94.7	0
FP/PF	-	-	-	-	0	6.3	6.3	0	-6.2	241	234.8	0.1
G/P	-360.0	1 780.1	1 420.1	269.8	-961.9	600.3	-361.6	1 089.5	-868.7	932.5	63.9	821.2
EF/ SAP	-1 530.7	74.8	-1455.9	256.8	-148.7	125.0	-23.7	190.2	-180.6	141.3	-39.4	133.6
RF/ SMSP	-1 270.9	81.3	-1 189.6	13.3	-88.5	64.6	-23.9	6.0	-62.2	123.3	61.1	8.4
FF/SBI	-240.2	232.6	-7.5	40.1	-154.8	205.5	50.7	118	-281.2	98.7	-182.4	42.2
S	310.2	0	-310.2	0	-	-	-	-	-	-	-	-
SV/VS	-359.8	934.9	575.1	106.4	-673.8	453.1	-220.7	30.3	-630.3	618.9	-11.4	193.0
HV/ VH	-228.8	261.9	33.1	119.1	-200.0	220.3	20.2	182.4	-288.3	149.4	-138.9	144.1
HS/AH	-3.2	41.0	37.9	.0	-26.7	36.9	10.2	14.4	-26.0	38.7	12.7	25.3
BS/SD	-3.9	56.4	52.5	.0	-47.6	254.0	206.4	8.9	-245.8	274.7	28.9	17.1
Wb/Ca	-49.3	125.3	76.0	142.8	-46.2	104.5	58.3	225.6	-190.8	30.4	-160.4	138.9

TC = temporary crop, AC = annual crop, PC = permanent crop, FP forest plantations, P = grassland, EF = evergreen rainforest, RF = rainforest and semi-evergreen seasonal forest, FF = flooded forest, S = savanna, SV = secondary vegetation, HV = Hydrophytic vegetation, HS = human settlement, BS = bare soil, Wb = water bodies.

CT = cultivo temporal, CA = cultivo anual, CP = cultivo permanente, PF = plantaciones forestales, P = pastizal, SAP = selva alta perennifolia, SMSP = selva mediana subperennifolia y subcaducifolia, SBI = selva baja inundable, S = sabana, VS = vegetación secundaria, VH = vegetación hidrófila, AH = asentamiento humano, SD = suelo desnudo, Ca = cuerpos de agua.

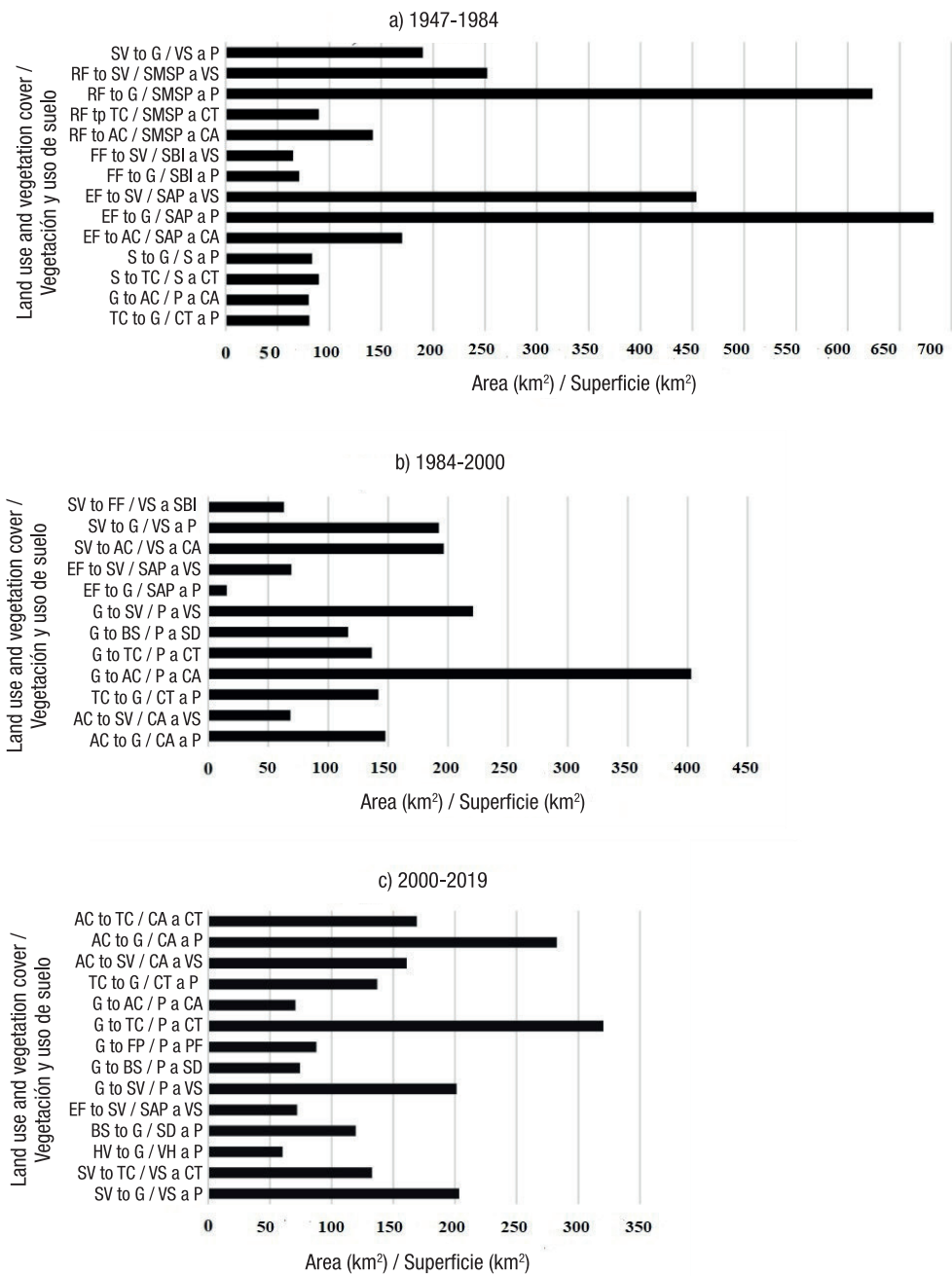


Figure 3. Land areas of the main vegetation transitions and agricultural use change in the region of Los Ríos, Tabasco, Mexico. TC = temporary crop, AC = annual crop, PC = permanent crop, FP = forest plantations, G = pasture, EF = evergreen rainforest, RF = rainforest and semi-evergreen seasonal forest, FF = flooded forest, S = savanna, SV = secondary vegetation, HV = Hydrophytic vegetation, HS = human settlement, BS = bare soil.

Figura 3. Superficies de las principales transiciones de vegetación y cambio de uso agrícola en la región de Los Ríos, Tabasco, México. CT = cultivo temporal, CA = cultivo anual, CP = cultivo permanente, PF = plantaciones forestales, P = pastizal, SAP = selva alta perennifolia, SMSP = selva mediana subperennifolia y subcaducifolia, SBI = selva baja inundable, S = sabana, VS = vegetación secundaria, VH = vegetación hidrófita, AH = asentamiento humano, SD = suelo desnudo.

(Dhar et al., 2019) and Kappa (K) indices show that the land use classification is good (Satya, Shashi, & Deva, 2020; Sewnet & Abebe, 2018).

Land use data in the Los Ríos region for the period 1947-2019, with 72-year interval, reveal drastic changes in vegetation. The loss of natural vegetation stands out, since in 1947 it covered 82.3 %, when the largest area corresponded to EF, RF and FF; in 2019, vegetation reached its smallest area with 29.7 %. The most notable loss occurred in rainforest, which decreased from 61.5 % to 10 %. On the contrary, in the same period, agricultural use represented by crops and grassland grew from 14.1 % to 61.8 %; these uses, together with urban use, changed the original ecosystems by deforestation. Vegetation damage in the region is consistent with the increase in agricultural land, grassland and human settlements leading to the destruction of 63.4 % of Tabasco's forests between 1940 and 2006 (Zavala-Cruz & Castillo-Acosta, 2007) and the loss of 8.3 to 13.6 % of Mexico's forests and rainforest between 1976 and 2000 (Rosete-Vergés et al., 2014; Velázquez et al., 2002). Similar changes associated with increased agricultural use and urban settlements have resulted in the loss of natural vegetation (Liu et al., 2019; Mwampamba & Schwartz, 2011; Tarawally et al., 2019), degradation of 73 to 83 % of tropical forests worldwide (FAO & UNEP, 2020; Hamunyela et al., 2020; Rojas et al., 2020) and decrease of biodiversity and environmental services (Bonanomi et al., 2019; Liu et al., 2019).

Between 1947 and 1984, natural vegetation in the Los Ríos region suffered the greatest loss of 53.7 % of the area; in contrast, grassland and agricultural uses increased by 385 %. The expansion of grasslands corresponded to the boost of extensive livestock farming (Estrada-Loreto et al., 2013; Isaac-Márquez et al., 2008) and agricultural expansion was reflected in the increase of staple crops (Chowdhury, Emran-Hasan, & Abdullah-Al-Mamuna, 2020; Rojas et al., 2020), especially between the 1940s and 1960s when rural development policy in the region encouraged the production of maize (*Zea mays* L.), beans (*Phaseolus vulgaris* L.), rice (*Oryza sativa* L.), pepper (*Capsicum* spp.), squash (*Cucurbita argyrosperma* H.) and watermelon (*Citrullus lanatus* Thunb.) (Isaac-Márquez et al., 2008; Reyes Grande, 2015). The implementation of the Balancán-Tenosique plan in 1972 accelerated land use change due to the expansion of grasslands and crops over rainforest (San-Pallo, Ramos-Muñoz, Mesa-Jurado, & Díaz-Perera, 2019).

From 1984-2000, agricultural use continued to predominate in the Los Ríos region (17.4 km²·yr⁻¹), based on basic temporary crops for self-consumption, including land use with steep slopes and thin soils unsuitable for agriculture (Isaac-Márquez et al., 2008).

cultivos temporales cambiaron a otro uso agrícola. En los periodos 1984-2000 y 2000-2019, las mayores transiciones ocurrieron en la zona de uso agropecuario. La alternancia fue de pastizales a cultivos, plantaciones forestales y vegetación secundaria, y de cultivos a pastizales y vegetación secundaria. La vegetación secundaria e hidrófita cambió a pastizales y cultivos, y la selva a vegetación secundaria.

Discusión

Los valores de precisión indican que los mapas de uso de suelo y vegetación de 1947, 1984, 2000 y 2019 son aceptables (Dhar et al., 2019) y los índices de Kappa (K) evidencian que la clasificación de uso de suelo es buena (Satya, Shashi, & Deva, 2020; Sewnet & Abebe, 2018).

Los datos de uso del suelo en la región de Los Ríos en el periodo 1947-2019, con intervalo de 72 años, indican cambios drásticos en la vegetación. Sobresale la pérdida de vegetación natural, ya que en 1947 cubría 82.3 %, cuando la mayor superficie correspondía a SAP, SMSP y SBI; en 2019, la vegetación alcanzó su menor superficie con 29.7 %. La pérdida más notable ocurrió en las selvas cuya extensión cambió de 61.5 a 10 %. Inversamente, en el mismo periodo, el uso agropecuario representado por cultivos y pastizales creció del 14.1 al 61.8 %; estos usos, junto con el urbano, alteraron los ecosistemas originales mediante la deforestación. El deterioro de la vegetación en la región es consistente con el incremento de superficies agropecuarias, pastizales y asentamientos humanos a costa de la destrucción de 63.4 % de las selvas de Tabasco entre 1940 y 2006 (Zavala-Cruz & Castillo-Acosta, 2007) y la pérdida del 8.3 a 13.6 % de los bosques y selvas en México, entre 1976 y 2000 (Rosete-Vergés et al., 2014; Velázquez et al., 2002). Cambios similares asociados al incremento del uso agropecuario y los asentamientos urbanos han repercutido en la pérdida de vegetación natural (Liu et al., 2019; Mwampamba & Schwartz, 2011; Tarawally et al., 2019), en el detrimento de 73 a 83 % de los bosques tropicales a nivel mundial (FAO & PNUMA, 2020; Hamunyela et al., 2020; Rojas et al., 2020) y en la disminución de biodiversidad y servicios ambientales (Bonanomi et al., 2019; Liu et al., 2019).

Entre 1947 y 1984, la vegetación natural de la región de Los Ríos sufrió la mayor pérdida en 53.7 % del área; en contraste, los usos pastizales y agrícola aumentaron 385 %. La ampliación de pastizal correspondió al impulso de la ganadería extensiva de bovinos (Estrada-Loreto et al., 2013; Isaac-Márquez et al., 2008) y la expansión agrícola se reflejó en el aumento de cultivos básicos (Chowdhury, Emran-Hasan, & Abdullah-Al-Mamuna, 2020; Rojas et al., 2020), sobre todo entre los años 1940 y 1960 cuando la política de desarrollo rural en la región fomentó la producción de maíz (*Zea mays*

The opening of croplands was based on the slash-and-burn system and, together with forest fires, reduced vegetation remnants ($3 \text{ km}^2\text{-yr}^{-1}$), mainly rainforests (Reyes Grande, 2015) and secondary vegetation. The displacement of vegetation surfaces by agricultural uses was comparable to that recorded in tropical areas of Tanzania (Mwampamba & Schwartz, 2011).

Between 1984-2000, annual sugarcane growing expanded, driven by the sugar mill Azsuremex S. A. de C. V., replacing areas of grasslands, crops and vegetation (García-Ortega, 2013); a similar change was observed in a watershed in Sao Paulo, Brazil (Couto-Júnior et al., 2019). Grasslands increased their area by the introduction of brizantha (*Urochloa brizantha* Hochst. ex A. Rich.) and humidicola (*Urochloa humidicola* R.) species, to improve livestock production, which contributed to remove remnants of forest, secondary and hydrophytic vegetation. On the other hand, eucalyptus (*Eucalyptus*) forest plantations were established on small areas (Trujillo-Ubaldo, Álvarez-López, Valdovinos Chavez, Benítez Molina, & Rodríguez Gonzales, 2018). These changes in use agree with that reported by Estrada-Loreto et al. (2013) and Palomeque-De la Cruz, Ruiz-Acosta, Galindo-Alcántara, & Ramos-Reyes (2019) in the study region.

For the period 2000-2019, changes in agricultural uses were dynamic. Temporary crops increased $29.6 \text{ km}^2\text{-yr}^{-1}$, perhaps in response to support granted to ejidatarios for staple crops through the 'Sembrando vida' program in 2019 (San-Pallo et al., 2019). Inversely, annual crops decreased by a similar area, due to the loss of the 2018-2019 sugarcane harvest at the Azsuremex sugar mill. Permanent oil palm cultivation increased and mostly displaced grassland areas; this crop detonated in 2000 as one of the main crops in Tabasco with support from the federal program 'Alianza para el Campo' (Hernández-Rojas et al., 2018; Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2018), to increase the production of vegetable fat and agri-diesel (Rodríguez Wallenius, 2017). Grasslands increased sparsely but continued as the main use as forage provider for extensive livestock farming (Geissen et al., 2009; Palomeque-De la Cruz et al., 2019). Forest plantations increased their area with support from the Programa Especial Desarrollo Forestal (PEDF) 2013-2018, supported by native and introduced species such as mahogany (*Swietenia macrophylla* K.), cedar (*Cedrela odorata* L.), macuilis (*Tabebuia rosea* Bertol.), gmelina (*Gmelina arborea* Roxb.), teak (*Tectona grandis* L.), African mahogany (*Khaya ivorensis* A. Chev.), Australian cedar (*Toona ciliata* M. Roem.) and eucalyptus (*Eucalyptus grandis* W.). These species have been promoted by the companies Proteak, Agropecuaria Santa Genoveva and Grupo Forestal de México, due to their rapid growth and high commercial value (Comisión Estatal Forestal

L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), arroz (*Oryza sativa* L.), chile (*Capsicum* spp.), chihua (*Cucurbita argyrosperma* H.) y sandía (*Citrullus lanatus* Thunb.) (Isaac-Márquez et al., 2008; Reyes Grande, 2015). La implementación del plan Balancán-Tenosique en 1972 aceleró el cambio de uso del suelo debido a la expansión de pastizales y cultivos sobre áreas de selva (San-Pallo, Ramos-Muñoz, Mesa-Jurado, & Díaz-Perera, 2019).

En el periodo 1984-2000 se mantuvo el predominio del uso agrícola en la región de Los Ríos ($17.4 \text{ km}^2\text{-año}^{-1}$), a base de cultivos temporales básicos para autoconsumo, incluyendo la ocupación de tierras con pendientes abruptas y suelos delgados no aptos para la agricultura (Isaac-Márquez et al., 2008). La apertura de tierras de cultivo se basó en el sistema roza-tumba-quema y, junto con los incendios forestales, mermaron los remanentes de vegetación ($3 \text{ km}^2\text{-año}^{-1}$), principalmente selvas (Reyes Grande, 2015) y vegetación secundaria. El desplazamiento de superficies de vegetación por usos agrícolas fue comparable al registrado en áreas tropicales de Tanzania (Mwampamba & Schwartz, 2011).

En el periodo 1984-2000 se expandió el cultivo anual de caña de azúcar, impulsado por el ingenio Azsuremex S. A. de C. V., reemplazando áreas de pastizales, cultivos y vegetación (García-Ortega, 2013); un cambio similar se observó en una cuenca de Sao Paulo, Brasil (Couto-Júnior et al., 2019). Los pastizales incrementaron su área mediante la introducción de las especies brizantha (*Urochloa brizantha* Hochst. ex A. Rich.) y humidícola (*Urochloa humidicola* R.), para mejorar la producción ganadera, las cuales contribuyeron a eliminar remanentes de selva, vegetación secundaria e hidrófita. Por otra parte, las plantaciones forestales de eucalipto (*Eucalyptus*) se establecieron en superficies pequeñas (Trujillo-Ubaldo, Álvarez-López, Valdovinos Chavez, Benítez Molina, & Rodríguez Gonzales, 2018). Estos cambios de uso concuerdan con lo reportado por Estrada-Loreto et al. (2013) y Palomeque-De la Cruz, Ruiz-Acosta, Galindo-Alcántara, & Ramos-Reyes (2019) en la región de estudio.

En el periodo 2000-2019, los cambios de usos agrícolas fueron dinámicos. Los cultivos temporales aumentaron $29.6 \text{ km}^2\text{-año}^{-1}$, posiblemente en respuesta a los apoyos otorgados a los ejidatarios para cultivos básicos, a través del programa 'Sembrando vida' en 2019 (San-Pallo et al., 2019). Inversamente, los cultivos anuales disminuyeron una superficie similar, debido a la pérdida de la zafra de caña de azúcar 2018-2019 en el ingenio Azsuremex. El cultivo permanente de palma de aceite incrementó y desplazó mayormente las áreas de pastizales; este cultivo detonó en el 2000 como uno de los principales en Tabasco con apoyo del programa federal 'Alianza para el Campo' (Hernández-Rojas et al., 2018; Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP],

[COMESFOR], 2015), with the aim of producing timber and pulp for paper (Rodríguez Wallenius, 2017). Along with the growth of agricultural use, rainforest relicts lost surface area, being also affected by the extraction of firewood, poles and timber (Hamunyela et al., 2020; Villanueva-Partida et al., 2019).

Hydrophytic vegetation increased in the period prior to 2000 and then had losses due to the advance of grasslands. The recent deterioration of hydrophytic vegetation surfaces is consistent with the impulse of colonization activities, opening of roads and new agricultural and livestock areas in the Los Ríos region (Estrada-Loreto et al., 2013; Isaac-Márquez et al., 2008) and with the decrease of wetland areas due to the introduction of grasslands for livestock (Ramos-Reyes Palomeque-De la Cruz, Megía-Vera, & Landeros-Pascual, 2021).

Water bodies increased in area between 1984 and 2000 and decreased between 2000 and 2019. The loss of area can be attributed to changes in land use in the upper Usumacinta River basin, decreasing annual precipitation, rising temperatures in recent years, and the moderate to extreme drought that Tabasco experienced in 2019 (Aceves Navarro et al., 2017; Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019).

Conclusions

Land use change in the Los Ríos region, for the period 1947-2019, meant the increase of crops, grasslands, forest plantations and urban areas, which together represented 14.2 % and then increased to 61.8 %, i.e., an increase of 535 %. These uses occupied areas of rainforest, savanna and hydrophytic vegetation, which went from 82.3 % to 29.7 %, representing a loss of 64 %. Agricultural and forestry uses were promoted by federal government programs in synergy with the demand for basic foodstuffs by the region's inhabitants. The massive loss of natural vegetation in 72 years shows little or no consideration of the environmental in these programs. To mitigate this problem, the information provided can contribute to the implementation of ecological and territorial planning programs; specific activities for the conservation and restoration of forests in mountain landscapes and karstic hills, and wetlands in swamps whose soils lack agricultural capacity; and actions for the sustainable management of agricultural and forestry zones, based on the suitability of soils and environment.

Acknowledgments

The authors thank the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) for the scholarship granted (CVU: 664717) during the doctoral program in science

(2018), para aumentar la producción de grasa vegetal y agrodiésel (Rodríguez Wallenius, 2017). Los pastizales incrementaron escasamente, pero continuaron como uso principal proveedor de forraje para la ganadería extensiva (Geissen et al., 2009; Palomeque-De la Cruz et al., 2019). Las plantaciones forestales aumentaron su área con apoyo del Programa Especial Desarrollo Forestal (PEDF) 2013-2018, sustentado en especies nativas e introducidas como la caoba (*Swietenia macrophylla* K.), cedro (*Cedrela odorata* L.), macuilís (*Tabebuia rosea* Bertol.), melina (*Gmelina arborea* Roxb.), teca (*Tectona grandis* L.), caoba africana (*Khaya ivorensis* A. Chev.), cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem.) y eucalipto (*Eucalyptus grandis* W.). Estas especies han sido fomentadas por las empresas Proteak, Agropecuaria Santa Genoveva y Grupo Forestal de México, por su rápido crecimiento y alto valor comercial (Comisión Estatal Forestal [COMESFOR], 2015), con la finalidad de producir madera y celulosa para papel (Rodríguez Wallenius, 2017). Paralelo al crecimiento del uso agropecuario, los relictos de selva perdieron superficie, siendo afectada además por la extracción de leña, postes y madera (Hamunyela et al., 2020; Villanueva-Partida et al., 2019).

La vegetación hidrófita incrementó en el periodo previo al 2000 y después tuvo pérdidas por avance de los pastizales. El deterioro reciente de superficies de vegetación hidrófita concuerda con el impulso de actividades de colonización, apertura de caminos y nuevas áreas agrícolas y ganaderas en la región de Los Ríos (Estrada-Loreto et al., 2013; Isaac-Márquez et al., 2008) y con la disminución de áreas de humedales por introducción de pastizales para la ganadería (Ramos-Reyes Palomeque-De la Cruz, Megía-Vera, & Landeros-Pascual, 2021).

Los cuerpos de agua incrementaron su área entre 1984 y 2000 y disminuyeron entre 2000 y 2019. La pérdida de superficie se puede atribuir a cambios de uso del suelo en la cuenca alta del río Usumacinta, decremento de la precipitación anual, alza de la temperatura en los últimos años y la sequía moderada a extrema que Tabasco experimentó en 2019 (Aceves Navarro et al., 2017; Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019).

Conclusiones

El cambio de uso de suelo en la región de los Ríos, en el periodo 1947-2019, significó el incremento de cultivos, pastizales, plantaciones forestales y zonas urbanas que, en conjunto, representaban 14.2 % y luego aumentaron a 61.8 %; es decir, un incremento de 535 %. Estos usos ocuparon áreas de vegetación de selva, sabana e hidrófita, las cuales pasaron de 82.3 % a 29.7 %, representando una pérdida de 64 %. Los usos agropecuarios y forestales fueron impulsados por

at the Tabasco Campus of the Colegio de Postgraduados. To M. C. Alberto Córdova Sánchez and Ing. Edgar Shirma Torres for their support provided in the field work.

End of English version

References / Referencias

- Aceves-Navarro, L. A., & Rivera-Hernández, B. (2019). *La biodiversidad en Tabasco. Estudio de estado* (vol. I). México: CONABIO. Retrieved from <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/14868.pdf>
- Aceves Navarro, L. A., Rivera Hernández, H. B., Arrieta Rivera, A., Juárez López, J. F., Méndez Adorno, M. J., & Ramos Álvarez, C. (2017). Tendencias de cambio climático en los municipios de Tabasco que integran la subcuenca Usumacinta del río Usumacinta. In D. Soares-Moraes, & A. García-García (Eds.), *La cuenca del río Usumacinta desde la perspectiva del cambio climático* (pp. 74–96). México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Retrieved from <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1771>
- Bonanomi, J., Tortato, F. R., Gomes, R. S. R., Penha, J. M., Bueno, S. A., & Peres, C. P. (2019). Protecting forests at the expense of native grasslands: Land-use policy encourages open-habitat loss in the Brazilian cerrado biome. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 17(1), 26–31. doi: 10.1016/j.pecon.2018.12.002
- Chowdhury, M., Emran-Hasan, M., & Abdullah-Al-Mamuna, M. M. (2020). Land use/land cover change assessment of Halda watershed using remote sensing and GIS. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 23(1), 63–75. doi: 10.1016/j.ejrs.2018.11.003
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección ambiental* (3.ª ed.). Barcelona, España: Ediciones Ariel.
- Clark Labs. (2009). *The land-change modeler for ecological sustainability* (IDRISI). Retrieved from <https://docplayer.es/48852006-Land-change-modeler-for-ecological-sustainability.html>
- Comisión Estatal Forestal (COMESFOR) (2015). Programa Especial de Desarrollo Forestal 2013-2018. Retrieved from https://tabasco.gob.mx/sites/default/files/09_Programa_especial_df.pdf
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019). Monitor de sequía de América del Norte. Retrieved from <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Sequ%C3%ADa/Monitor%20de%20sequ%C3%ADa%20en%20America%20del%20Norte/sequia0219.pdf>
- Congedo, L. (2016). Semi-automatic classification plugin documentation. doi: 10.13140/RG.2.2.29474.02242/1
- Couto-Júnior, A. A., Conceição, T. F., Fernandes, M. A., Spatti, J. P. E., Lupinacci, C. M., & Braga, M. R. (2019). Land use changes associated with the expansion of sugar cane crops and their influences on soil removal in a tropical watershed in São Paulo State (Brazil). *CATENA*, 172, 313–323. doi: 10.1016/j.catena.2018.09.001
- programas gubernamentales federales en sinergia con la demanda de alimentos básicos por los habitantes de la región. La pérdida masiva de vegetación natural en 72 años indica una escasa o nula consideración del factor ambiental en dichos programas. Para mitigar dicha problemática, la información generada puede contribuir a implementar programas de ordenamiento ecológico y territorial; actividades específicas de conservación y restauración de selvas en paisajes de montaña y lomerío kárstico, y humedales en pantanos cuyos suelos carecen de capacidad agropecuaria; y acciones de manejo sustentable de zonas agropecuarias y forestales, basadas en la aptitud de los suelos y el ambiente.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada (CVU: 664717) durante el programa de doctorado en ciencias en el Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados. Al M. C. Alberto Córdova Sánchez y al Ing. Edgar Shirma Torres por su apoyo en el trabajo de campo.

Fin de la versión en español

- Dhar, R. B., Chakraborty, S., Chattopadhyay, R., & Sikdar, P. K. (2019). Impact of land-use/land-cover change on land surface temperature using satellite data: a case study of Rajarhat Block, North 24-Parganas District, West Bengal. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 47, 331–348. doi: 10.1007/s12524-019-00939-1
- Estrada-Loreto, F., Barba-Macias, E., & Ramos-Reyes, R. (2013). Cobertura temporal de los humedales en la cuenca del Usumacinta, Balancán, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 29(2), 141–151. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v29n2/v29n2a4.pdf>
- García-Ortega, M. (2013). Migraciones laborales, derechos humanos y cooperación internacional: Cortadores de caña centroamericanos en la frontera México-Belice. *Trace*, 63, 07–23. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/trace/n63/n63a2.pdf>
- Geissen, V. R. Sánchez-Hernández, R., Kampichler, C., Ramos-Reyes, R., Sepulveda, L. A., Ochoa-Goana, S., ... Hernández, D. S. (2009). Effects of land-use change on some properties of tropical soils: an example from Southeast Mexico. *Geoderma*, 151(3-4), 87–97. doi: 10.1016/j.geoderma.2009.03.011
- Hamunyela, E., Brandt, P., Shirima, D., Thanh Do H. T., Herold M., & Roman-Cuesta, R. M. (2020). Space-time detection of deforestation, forest degradation and regeneration in montane forests of Eastern Tanzania. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 88, 102063. doi: 10.1016/j.jag.2020.102063
- Hasan, S. S., Zhen, L., Miah, M. G., Ahamed, T., & Samie, A. (2020). Impact of land use change on ecosystem services:

- A review. *Environment, Development and Sustainability*, 34, 100527. doi: 10.1016/j.envdev.2020.100527
- Hernández-Rojas, D. A., López-Barrera, F., & Bonilla-Moheno, M. (2018). Análisis preliminar de la dinámica de uso del suelo asociada al cultivo palma de aceite (*Elaeis guineensis*) en México. *Agrociencia*, 52(6), 875–893. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v52n6/2521-9766-agro-52-06-875.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1984). Carta de uso de suelo y vegetación de Tenosique, Tabasco, escala 1:250 000. Retrieved from <https://www.inegi.org.mx/temas/usuarios/#Descargas>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2001). Carta de uso de suelo y vegetación de Tenosique, Tabasco, escala 1:250000. Retrieved from <https://www.inegi.org.mx/temas/usuarios/#Descargas>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). Anuario estadístico y geográfico de Tabasco. Retrieved from https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825095123.pdf
- Isaac-Márquez, R., Bernardus, J., Amarella, E., Ochoa-Gaona, S., Hernández, S., & Sandoval, J. L. (2008). Programas gubernamentales y respuestas campesinas en el uso del suelo: el caso de la zona oriente de Tabasco, México. *Región y Sociedad*, 20(43), 99–129. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/regsoc/v20n43/v20n43a4.pdf>
- Lin, C. H., Tsai, P. H., Lai, K. H., & Chen, J. Y. (2013). Cloud removal from multitemporal satellite images using information cloning. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51(1), 232–241. doi: 10.1109/TGRS.2012.2197682
- Liu, W., Zhan, J., Zhao, F., Yan, H., Zhang, F., & Wei, X. (2019). Impacts of urbanization-induced land-use changes on ecosystem services: A case study of the Pearl River Delta Metropolitan Region, China. *Ecological Indicators*, 98, 228. doi: 10.1016/j.ecolind.2018.10.054
- Lone, S. A., & Mayer, I. A. (2019). Geo-spatial analysis of land use/land cover change and its impact on the food security in District Anantnag of Kashmir Valley. *GeoJournal*, 84, 785–794. doi: 10.1007/s10708-018-9891-2
- López-Mendoza, R. (1980). *Tipos de vegetación y su distribución en el estado de Tabasco y norte de Chiapas*. Texcoco, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Mwampamba, T. H., & Schwartz, M. W. (2011). The effects of cultivation history on forest recovery in fallows in the Eastern Arc Mountain, Tanzania. *Forest Ecology and Management*, 261(6), 1042–1052. doi: 10.1016/j.foreco.2010.12.026
- Obade, V. D. P., & Lal, R. (2013). Catena assessing land cover and soil quality by remote sensing and geographical information systems (GIS). *CATENA*, 104, 77–92. doi: 10.1016/j.catena.2012.10.014
- Obodaia, J., Adjei, A. K., Odaia, N. S., & Lumor, M. (2019). Land use/land cover dynamics using landsat data in a gold mining basin-the Ankobra, Ghana. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 13, 247–256. doi: 10.1016/j.rsase.2018.10.007
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2020). *El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas*. Roma, Italia: Author. doi: 10.4060/ca8642es
- Palomeque-De la Cruz, M. A., Ruiz-Acosta, S. C., Galindo-Alcántara, A., & Ramos-Reyes, R. (2019). Caracterización de la ganadería bovina en el área de protección de flora y fauna cañón del Usumacinta, Tenosique, Tabasco, México. *Agro Productividad*, 12(6), 75–81. doi: 10.32854/agrop.v0i0.1403
- Ramos-Reyes, R., Palomeque-De la Cruz, M. A., Megía-Vera, H. J., & Landeros-Pascual, D. (2021). Modelo del cambio de uso de suelo en el sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona, México. *Terra Latinoamericana*, 39, e587. doi: 10.28940/terra.v39i0.587
- Ramos-Reyes, R., Palomeque de la Cruz, M. A., Núñez, J. C., & Sánchez-Hernández, R. (2019). Análisis geomático espacial del cambio de uso del suelo en Huimanguillo, Tabasco (2000-2010-2030). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(53), 118–139. doi: 10.29298/rmcf.v10i53.555
- Reyes Grande, F. (2015). ¿Sustentabilidad versus subsistencia? Un estudio de caso dentro del Área Natural Protegida Cañón del Usumacinta. *Relaciones. Estudios de Historia y Sociedad*, 36(142), 261–305. Retrieved from <https://www.scielo.org.mx/pdf/rz/v36n142/0185-3929-rz-36-142-00261.pdf>
- Rodríguez Wallenius, C. A. (2017). Disputas territoriales en torno a las plantaciones forestales y de agrocombustibles en el sureste de México. *El Cotidiano*, 201, 59–66. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/325/32549629007.pdf>
- Rojas, F., Rubio, C., Rizzo, M., Bernabeu, M., Akil, N., & Martin, F. (2020). Land use and land cover in irrigated drylands: a long-term analysis of changes in the Mendoza and Tunuyán river basins, Argentina (1986–2018). *Applied Spatial Analysis and Policy*, 13, 875–899. doi: 10.1007/s12061-020-09335-6
- 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. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v20n1/v20n1a3.pdf>
- Salgado-García, S., Palma-López, D. J., Zavala-Cruz, J., Lagunes-Espinoza, L. C., Córdova-Sánchez, S., Castelán-Estrada, M., ...Martínez-Becerra, A. (2017). *Recomendaciones de fertilizantes en palma de aceite en la Región de los Ríos de Tabasco*. Cárdenas, Tabasco, México: Colegio de Postgraduados.
- San-Pallo, M. G., Ramos-Muñoz, D. E., Mesa-Jurado, M. A., & Díaz-Perera, M. A. (2019). Informes de gobierno y paisaje forestal en Tabasco y Chiapas de 1947 a 1982.

- Entre Diversidades*, 2(13), 233–262. doi: 10.31644/ED.V6.N2.2019.A08
- Satya, A., Shashi, M., & Deva, P. (2020). Future land use land cover scenario simulation using open source GIS for the city of Warangal, Telangana. *India. Applied Geomatics*, 12, 281–290. doi: 10.1007/s12518-020-00298-4
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). Informe final. La palma de aceite en el estado de Tabasco. Retrieved from https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/503575/Publicaci_n_21_-_Octubre_2019_-_Utilidad_de_la_Frontera_Agr cola_en_el_estado_Tabasco.pdf
- Sewnet, A., & Abebe, G. (2018). Land use and land cover change and implication to watershed degradation by using GIS and remote sensing in the Koga watershed, North Western Ethiopia. *Earth Science Informatics*, 11, 99–108. doi: 10.1007/s12145-017-0323-5
- Tahmasebi, T., Karami, E., & Keshavarz, M., (2020). Agricultural land use change under climate variability and change: Drivers and impacts. *Journal of Arid Environments*, 180, 104202. doi: 10.1016/j.jaridenv.2020.104202
- Tarawally, M., Wenbo, X., Weiming, H., Mushore, D. T., & Kursu, M. B. (2019). Land use/land cover change evaluation using land change modeller: A comparative analysis between two main cities in Sierra Leone. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 16, 100262. doi: 10.1016/j.rsase.2019.100262
- Trujillo-Ubaldo, E., Álvarez-López, P. S., Valdovinos Chavez, V. R., Benítez Molina, G., & Rodríguez Gonzales, L. O. (2018). Turnos forestales en plantaciones maderables de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, en Balancán, Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(48), 27–45. doi: 10.29298/rmcf.v8i48.130
- United States Geological Survey (USGS). (2019). EarthExplorer. Retrieved February 20, 2019, from <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Vázquez-Negrín, I., Castillo-Acosta, O., Valdez-Hernández, J. I., Zavala-Cruz, J., & Martínez-Sánchez, J. L. (2011). Estructura y composición florística de la selva alta perennifolia en el ejido Niños Héroe Tenosique, Tabasco, México. *Polibotánica*, 32, 41–61. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/polib/n32/n32a3.pdf>
- Velázquez, A., Mas, J. F., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P. C., Castro, R., ...Palacio, J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*, (62), 21–37. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906202>
- Villanueva-Partida, C. R., Casanova-Lugo F., González-Valdivia, N. A., Villanueva-López, G., Oros-Ortega, I., Cetzal-Ix, W., & Basu, K. S. (2019). Traditional uses of dispersed trees in the pastures of the mountainous region of Tabasco, Mexico. *Agroforestry Systems*, 93, 383–394. doi: 10.1007/s10457-017-0125-2
- Yulianto, F., Prasasti, I., Pasaribu, J. M., Fitriana H. L., & Zylshal-Haryani, N. S. (2016). The dynamics of land use/land cover change modeling and their implication for the flood damage assessment in the Tondano watershed, North Sulawesi, Indonesia. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2, 47. doi: 10.1007/s40808-016-0100-3
- Zavala-Cruz, J., & Castillo-Acosta, O. (2007). Cambios de uso de la tierra en el estado de Tabasco. In D. J. Palma-López & A. Triano-Sánchez (Eds.), *Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco* (vol. II, pp. 38–56). Villahermosa Tabasco, México: Ed. COLEGIO DE POSTGRADUADOSISPROTAB. Retrieved from <file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/PlandeusosustentabledelosSuelosdeTabascovol22007.pdf>

