

Modelación de cambios de coberturas y uso de suelo en Nacajuca, Tabasco

Miguel Ángel Palomeque de la Cruz¹
Silvia del Carmen Ruiz Acosta²
Rodimiro Ramos Reyes³
Miguel Alberto Magaña Alejandro¹
Adalberto Galindo Alcántara^{1§}

¹División Académica de Ciencias Biológicas-Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5, Villahermosa, Tabasco, México. CP. 86040. Tel. 993 3581500. (migueldacbiol@hotmail.com; manglarujat@hotmail.com). ²Tecnológico Nacional de México-IT Zona Olmeca. Prolongación Ignacio Zaragoza s/n, Villa Ocuizapótlán, Centro, Tabasco, México. CP. 86270. Tel. 993 3210608. (silvia.ra@zolmecca.tecnm.mx). ³El Colegio de la Frontera Sur-Unidad Villahermosa. El Colegio de la Frontera Sur-LAIGE. Carretera Villahermosa-Reforma, km 15.5 s/n, Ranchería Guineo, 2^{da} Sección, Villahermosa, Tabasco, México. CP. 86280. Tel. 993 3136110. (rrosos@ecosur.mx).

§Autor para correspondencia: aga2003a@hotmail.com.

Resumen

El crecimiento urbano de Nacajuca, Tabasco, ha transformado el sistema natural, siendo necesario conocer la actual configuración espacial de las coberturas naturales y los usos artificiales con la finalidad de proveer información de la dinámica espacial para el ordenamiento ecológico. El objetivo del estudio fue modelar los cambios de cobertura y uso del suelo (2000, 2008 y 2017), mediante un análisis multitemporal empleando el Land Change Modeler for ecological sustainability de IDRISI. Los resultados indican que en el periodo 2000-2008 se encontró la disminución de los humedales (1 796 ha) y un ligero aumento de la vegetación arbórea (689 ha), contrario al crecimiento urbano (796 ha) y elevado aumento del pastizal (2 168 ha). En el segundo periodo (2008-2017) se detectó la mayor pérdida de humedales (3 995 ha) y de vegetación arbórea (1 233 ha), mientras que el área urbana y el pastizal presentaron los mayores incrementos (1 365 y 4 378 ha). Las principales transiciones fueron en primer lugar, el cambio de grandes coberturas de humedales a pastizal y en segundo lugar la transformación de pastizal a urbano. La perturbación se relaciona con la dinámica de la zona metropolitana de Villahermosa y coincide con la pérdida de grandes superficies de humedales en las áreas analizadas. Ante esto, las alternativas para reducir los efectos del cambio de uso de suelo son la elaboración del ordenamiento ecológico territorial y del programa de desarrollo urbano donde se haga partícipe el uso de los Sistemas de Información Geográfica, la teledetección ambiental y la implementación de modelos geomáticos para el análisis espacial.

Palabras clave: modelador del cambio de uso del suelo, ordenamiento ecológico territorial, perturbación ambiental, sistemas de información geográfica.

Recibido: marzo de 2021

Aceptado: mayo de 2021

Introducción

El cambio de uso del suelo y la urbanización están transformando los ecosistemas en áreas metropolitanas debido a que han experimentado un crecimiento considerable en las últimas décadas (Dadashpoor y Alidadi, 2017; Salvati *et al.*, 2018; Dadashpoor *et al.*, 2019) y representan la perturbación ambiental dominante en el mundo (Vitousek *et al.*, 1997). A escala local, la dinámica del territorio influye en el deterioro y degradación de los suelos, en las modificaciones de los nichos ecológicos y en la resiliencia de los componentes ecológicos (Najera Gonzalez *et al.*, 2010). La dinámica está determinada por factores como el relieve, los socioeconómicos, el manejo, tenencia de la tierra y las políticas sectoriales (Delgado *et al.*, 2017).

El estudio de la dinámica espacio-temporal constituye uno de los aspectos más importantes dentro del análisis físico-biótico para el ordenamiento ecológico territorial (Aguayo *et al.*, 2009). Proporciona la base para identificar las tendencias de los patrones de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad (Lambin *et al.*, 2001).

Para la elaboración del ordenamiento territorial en zonas urbanas es necesario conocer los patrones del cambio de uso del suelo que ayude a instrumentar estrategias y acciones encaminadas a un aprovechamiento sustentable para disminuir los problemas del deterioro de los ecosistemas urbanos (Duch *et al.*, 2019).

El Land Change Modeler (LCM) for ecological sustainability de IDRISI (Eastman y Toledano, 2018), está diseñado para la planificación del uso del suelo, debido a que simplifica las complejidades del análisis de cambio de cobertura de la tierra (Camacho-Olmedo *et al.*, 2010; Eastman, 2012). Está orientado a evaluar el constante problema de la conversión acelerada del suelo y a las necesidades analíticas de conservación de la biodiversidad (Camacho-Olmedo *et al.*, 2010; Eastman, 2012).

En Tabasco se degradó más de 90% de la cobertura estatal como consecuencia del impulso económico del siglo XX (Sánchez, 2005; Navarro y Toledo, 2008; Zavala, 2009; Pinkus-rendón y Contreras-sánchez, 2012). En ellos destacan las plantaciones de plátano y cacao orientadas al mercado internacional que se extendió desde finales del siglo XIX, hasta la década de los 40's, la ganadería extensiva dirigida al mercado nacional conocida como Plan Chontalpa (1965-1976), el Programa de Desarrollo Rural Integrado para el Trópico Húmedo, y el boom petrolero que permaneció con gran auge entre los 70's y 80's (Allub y Michel, 1979; Flores-Santiago, 1987; Capdepon-Ballina; Marín-Olán, 2014).

Estos programas explotaron tierras selváticas y ganaron espacio a los humedales con una irreversible perturbación de los recursos naturales (Lara y Vera, 2017). Durante 1940-1996 la mayor perturbación de los ecosistemas fue la pérdida de 95% de las coberturas selváticas de Tabasco (Zavala *et al.*, 2009).

Nacajuca es parte de la zona metropolitana de Villahermosa y recibe la influencia del acelerado crecimiento urbano con ocupación de carreteras, fraccionamientos, centros comerciales y otros servicios que han transformado el sistema natural, los impactos se han centrado en la transformación de la vegetación arbórea, así como de los humedales lacustres, palustres y ribereños (Capdepon-Ballina y Marín-Olán, 2014; Diaz, 2014; Palomeque-De la Cruz *et al.*, 2017).

Durante las décadas de los sesentas y setentas, la ganadería bovina recibió un impulso extraordinario en el sureste mexicano y en particular en el estado de Tabasco que transformó más de 1200 ha de selvas en pastizales (Morales, 1990; Galindo, 2006). Para la década de los ochenta, el descubrimiento y explotación de grandes mantos petroleros en la región provocó una serie de alteraciones a los ecosistemas. De esta manera, los frecuentes derrames de petróleo, la deforestación y la construcción de caminos para construir y dar mantenimiento a las instalaciones petroleras (Lara y Vera, 2017), no solo contribuyeron al impacto ambiental, sino que han modificado los patrones de escurrimiento superficial, que significa un impacto ambiental aún no cuantificado.

Debido a esto, es necesario emplear los modelos geomáticos del cambio de uso del suelo con una plataforma SIG para conocer la actual configuración espacial de las coberturas naturales y los usos artificiales con la finalidad de proveer información precisa y actualizada de la dinámica espacial para el ordenamiento ecológico territorial. El objetivo de este artículo fue modelar los cambios de cobertura y uso del suelo en el municipio de Nacajuca, Tabasco, México (2000, 2008 y 2017), mediante un análisis multitemporal empleando el Land Change Modeler for ecological sustainability del programa IDRISI (Eastman y Toledano, 2018).

Materiales y métodos

Área de estudio

El municipio de Nacajuca se localiza en la subregión del Centro, ubicada en el noroeste de la Ciudad de Villahermosa en el estado de Tabasco. Colinda al norte con los municipios de Jalpa de Méndez, Centla y Centro; al este con Centro, al sur con Cunduacán y Centro; finalmente al oeste limita con Cunduacán y Jalpa de Méndez (Ayuntamiento de Nacajuca Tabasco, 2018; Gobierno del Estado de Tabasco, 2018). Se ubica entre las coordenadas 18° 09' 05'' latitud norte y entre 93° 01' 06'' longitud oeste.

La altitud media del territorio es de 10 m y cuenta con una extensión de 52 457 ha (Figura 1). Los suelos son de llanura costera con numerosos pantanos y sistemas lagunares y con suelo de aluvión, por lo que gran parte de su territorio es inundable (Lara y Vera, 2017; Ayuntamiento de Nacajuca Tabasco, 2018).

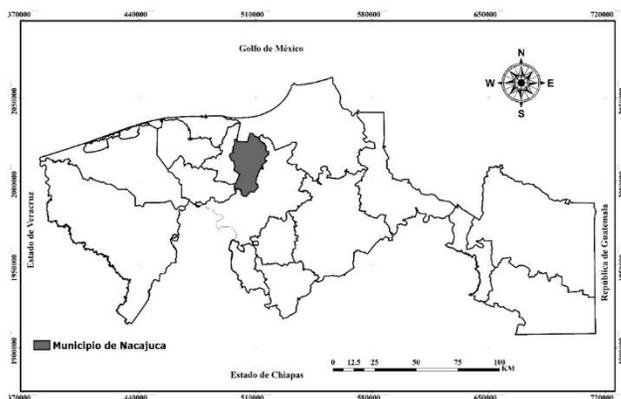


Figura 1. Mapa del área de estudio: Nacajuca, Tabasco, México.

Se emplearon dos ortofotos del año 2000 (1:20 000) y 2008 (1:10 000) descargadas de la base de datos de INEGI (INEGI, 2008). También se obtuvo una imagen del satélite Sentinel de 2017 (1:10,000) (ESA, 2017). La información presentó un sistema de coordenadas y proyección UTM, zona 15 N y datum WGS84. Posteriormente se realizó una digitalización de vectores con el software Arc GIS® 10.2 (ESRI, 2017).

La digitalización fue apoyada con una supervisión en campo y comparación con fuentes cartográficas. Las categorías empleadas fueron: 1) humedales; 2) vegetación arbórea; 3) área urbana; 4) terrenos baldíos; 5) zona industrial; y 6) pastizal. Posteriormente los vectores fueron transformados a formato raster con el comando RasterVector del software Idrisi Terrset (Eastman, 2016).

Modelación del cambio de uso del suelo (2000, 2008 y 2017)

Land Change Modeler del software IDRISI Terrset, genera una matriz de cambio de uso del suelo con imágenes que varían en el número de fechas de colecta; es decir, en más de dos periodos (Pontius, *et al.*, 2004; Pineda, *et al.* 2009) . En dicha matriz las filas representan las categorías del mapa en el tiempo uno (T₁) y las columnas las categorías del mapa en el tiempo dos (T₂) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Modelo de matriz de tabulación cruzada para dos mapas de diferentes fechas (Pontius *et al.*, 2004). T1 y T2 son los periodos para analizar; clase son las diferentes categorías de análisis; y n es el número de categorías del análisis.

Tiempo 1	Tiempo 2				Total T1	Pérdida
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase n		
Clase 1	P11	P12	P13	P1n	P1+	P1+ - P1n
Clase 2	P21	P22	P23	P2n	P2+	P2+ -P2n
Clase 3	P31	P32	P33	P3n	P3+	P3+ -P3
Clase n	Pn1	Pn2	Pn3	Pn, n	Pn+	Pn+ - Pn, n
Total T2	P+1	P+2	P+3	P+n		
Ganancia	P+1-Pn1	P+2-Pn2	P+3-Pn3	P+n-Pn, n		

Asimismo, la diagonal principal muestra las persistencias entre las categorías de T₁ y T₂, mientras que los elementos fuera de la diagonal principal dan cuenta de las transiciones ocurridas entre ambos periodos para cada categoría (Cuadro 1). El subtotal con la sumatoria de cada categoría se ubica en el penúltimo renglón y en la penúltima columna ambos representan el total de los cambios para cada categoría en cada periodo.

La última fila y columna recogen el total de las variaciones para cada categoría. El Cuadro 1, muestra un modelo genérico de la matriz, la cual es un subproducto del análisis y sus resultados se utilizan para construir el Cuadro 2 donde se expresan los totales de cada categoría por año, así como las pérdidas y ganancias de cada una de estas.

Cuadro 2. Cuantificación del cambio de uso del suelo en Nacajuca, Tabasco 2000-2008, 2008-2017.

Categorías	2000		2008		Pérdidas (ha)	Ganancias (ha)	Cambio neto (ha)	Tc (%)
	(ha)	(%)	(ha)	(%)				
Humedales	29 608	56.4	28 097	53.6	-1 796	285	-1 511	-0.7
Vegetación arbórea	7 826	14.9	7 866	15	-640	680	40	0.1
Área urbana	769	1.5	1565	3	-1	796	796	9.3
Terrenos baldíos	15	0	136	0.3	0	122	122	32
Pastizal	14 239	27.1	14 792	28.2	-1 614	2 168	554	0.5
Categorías	2008		2017		Pérdidas (ha)	Ganancias (ha)	Cambio neto (ha)	Tc (%)
	(ha)	(%)	(ha)	(%)				
Humedales	28 097	53.6	25 187	48	-3 995	1 085	-2 910	-1.4
Vegetación arbórea	7 866	15	7 262	13.8	-1 322	718	-604	-1
Área urbana	1 565	3	2 889	5.5	-40	1 365	1 325	8
Terrenos baldíos	136	0.3	115	0.2	-41	19	-22	-2.1
Pastizal	14 792	28.2	17 004	32.4	-2 167	4 378	2 212	1.8

El cruce de las imágenes de coberturas y uso de suelo del 2000 y 2008 (Figura 2), generó una matriz con un estadístico Kappa= 0.9349; mientras que las imágenes de 2008 y 2017 (Figura 2) generaron una matriz con estadístico Kappa= 0.8802. Estos estadísticos cercanos a 1 son confiables para el análisis de la dinámica del territorio en los dos periodos de tiempo (Eastman y Toledano, 2018).

Los resultados incluyeron el resumen de las matrices que muestra la superficie de cada categoría, en la comparación con otras, en términos de ganancias, pérdidas, cambios netos, transiciones y contribuciones entre categorías.

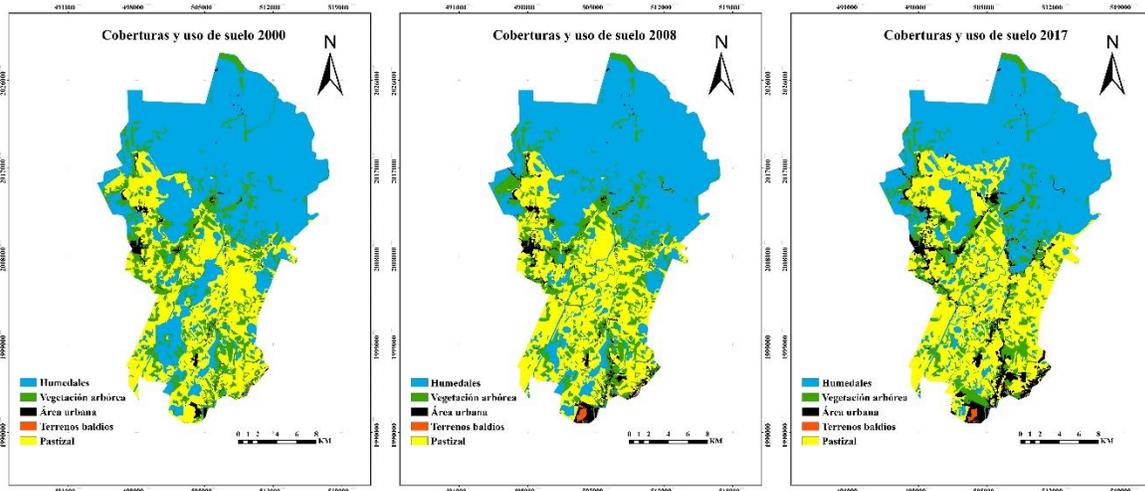


Figura 2. Mapa de coberturas y uso de suelo en Nacajuca, Tabasco (2000, 2008 y 2017).

Tasas de cambio

Las tasas de cambio de uso del suelo para los dos periodos de estudio fueron calculadas mediante la fórmula (Palacio-Prieto, 2004): $Td = [(S2/S1) (1/n) - 1] * 100$. Donde: Td= tasa de cambio anual (%); S1= área cubierta al inicio del periodo (ha); S2= área cubierta al final del periodo (ha); y n= número de años del periodo.

Resultados y discusión

Análisis de cambios 2000-2008-2017

El Cuadro 2 reporta las superficies de uso de suelo y las tasas de cambio por periodo analizado. En el 2000; 56.4% de Nacajuca estaba constituido por humedales (Cuadro 2), en los que destacan pantanos con una variedad de flora y fauna. Otros humedales dominantes son las lagunas, en donde se establecieron los llamados camellones chontales en los años 70's, cuyo objetivo era combinar suelos para cultivos de hortalizas y el desarrollo de la piscicultura (Ayuntamiento de Nacajuca Tabasco, 2015).

En los humedales hay presencia de vegetación hidrófila flotante dentro y en las orillas como la zarza (*Mimosa pigra*), el popal (*Thalia geniculata*), el carrizal (*Phragmites australis*) y los tulares (*Typha domingensis*) (Cálix *et al.*, 1991; Pérez Sánchez, 2007). En el territorio existe la presencia de acahuales en diferentes niveles de conservación y pequeñas porciones de selvas que en 2000 ocupaban 14.9% (Cuadro 2).

La riqueza forestal se ha visto desplazada por la explotación irracional, contrabando de maderas, conservándose pequeñas porciones de cedro, macuilis, ceiba y en menor escala caobas (Ayuntamiento de Nacajuca Tabasco, 2015). El área urbana y el pastizal ocupaban menores superficies (1.5% y 27.1%) en comparación con las coberturas naturales (Cuadro 2). En los pastizales también se encuentran superficies agropecuarias que cuentan con una diversidad de cultivos que van de granos a frutos, plantas comestibles entre las que destacan el maíz, frijol y calabaza (Pérez, 2007).

Como se muestra en el Cuadro 2 y en la Figura 3, durante el primer periodo de análisis (2000-2008), se detectó que los humedales disminuyeron 1 796 ha con una tasa negativa de cambio de 0.7%, mientras que la vegetación arbórea presentó ligero incremento (680 ha) con una tasa de cambio de 0.1% (Cuadro 2). Al mismo tiempo, el área urbana ocupó un crecimiento notable de 796 ha con una tasa de cambio de 9.3% y el pastizal tuvo aumentos de 2 168 ha con una tasa de cambio de 0.5% (Cuadro 2).

Estos datos señalan que en el primer periodo de análisis, Nacajuca presentó patrones de cambio de uso del suelo similares a los registrados en la ciudad de Villahermosa (2000-2008), en la cual se detectaron pérdidas de vegetación natural y humedales (1 624 y 2 013 ha) con amplias tasas de cambio (-7.45 y -1.13%) mientras que el pastizal y la zona urbana aumentaron (540 y 1 334 ha) con tasas de cambio de 0.62 y 1.46% (Palomeque-De la Cruz *et al.*, 2017).

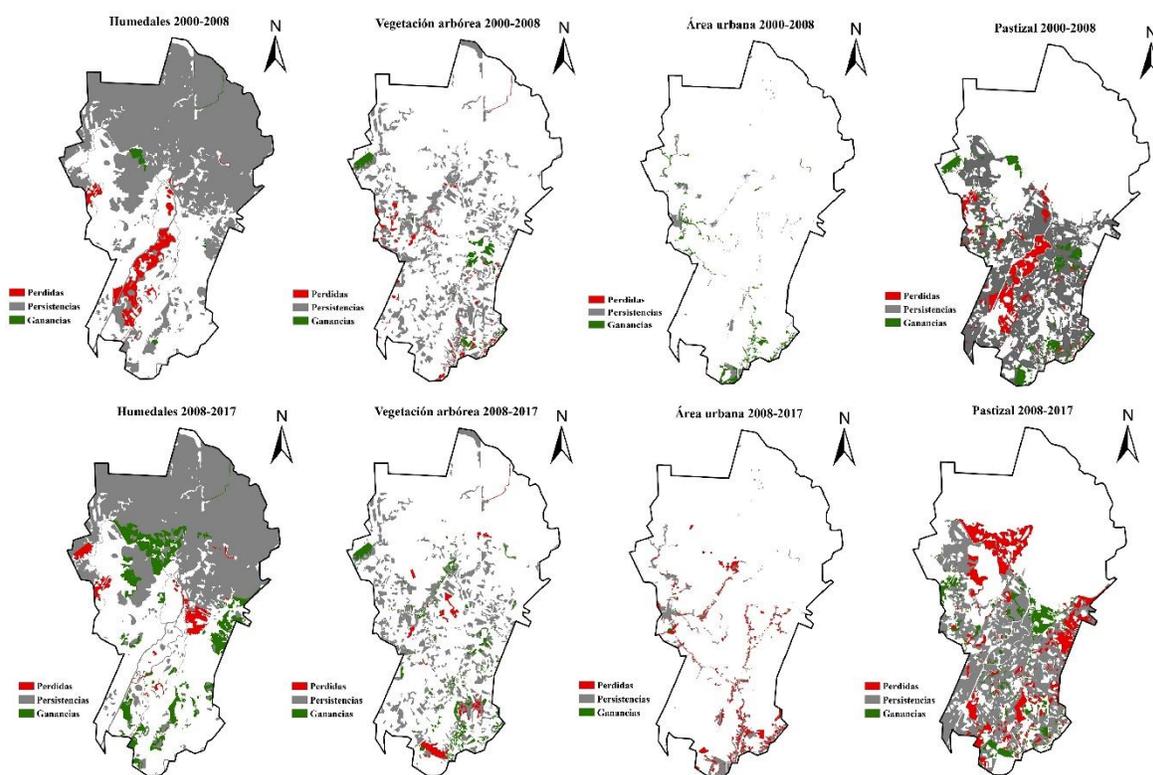


Figura 3. Mapa de pérdidas y ganancias en Nacajuca, Tabasco, 2000-2008 y 2008-2017 (ha).

A pesar de la influencia de la dinámica espacial de la zona metropolitana de Villahermosa, en Nacajuca las tasas de cambio para humedales, vegetación arbórea y pastizales fueron menores de 1% tanto para la pérdida de humedales como para el aumento del área urbana y pastizales (Cuadro 2). Sin embargo, estas tasas se asemejaron más al promedio de la deforestación en la cuenca del Grijalva-Usumacinta (0.9%) durante 1993-2007 (Kolb y Galicia, 2012).

En el periodo 2008-2017 se detectó la mayor perturbación de los ecosistemas debido a que las pérdidas de humedales (3 995 ha) y vegetación arbórea (1 322 ha) incrementaron en comparación con el periodo anterior (2000-2008) con amplias tasas negativas de cambio (1.4% y 1%), mientras que el área urbana continuó ocupando superficies con ganancias de 1 365 ha, y con tasas de cambio de 8% (Cuadro 2).

También se encontró que el pastizal presentó los mayores incrementos con ganancias de 4 378 ha y una tasa de cambio de 1.8% (Cuadro 2). Este fue el periodo de mayor dinámica espacial y coincide con la velocidad de deforestación (-0.3%) registrada a nivel nacional durante 1999-2015, según el informe mundial de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2015).

En el mapa de uso del suelo de 2017 destaca el mayor crecimiento de la cabecera municipal de Nacajuca y el poblado de Guatacalca al oeste, el denso núcleo urbano del fraccionamiento Pomoca en el sureste y de la zona conurbada de bosques de saloya al sur (Figura 2).

A pesar de su constante dinámica, los humedales son las coberturas con mayor dominio en la subcuenca Grijalva-Villahermosa, su gran persistencia se relaciona con aumentos en su área de distribución debido a mayores porcentajes de humedad en el suelo y por estar siendo sujetas a procesos de inundación al estar ubicadas en zonas bajas y por la influencia los sistemas de bordos de control de agua (Neiser *et al.*, 2019).

Los suelos también influyen con la vulnerabilidad a inundaciones debido a que la región noroeste y suroeste que ocupa la mitad de la superficie municipal se clasifican como Gleysoles que son suelos de texturas arcillosas o francas, que presentan problemas de exceso de humedad por drenaje deficiente. Mientras que, en la parte central y sur, se tienen suelos clasificados como Fluvisoles, cuya presencia se asocia a la existencia de ríos en la zona. Al norte limitando con el municipio de Centla, existen suelos clasificados como Solonchak que son suelos salinos debido a la cercanía del Golfo de México (Ayuntamiento de Nacajuca Tabasco, 2015).

Nacajuca se ha conurbado con Villahermosa a partir del crecimiento urbano hacia el sur y al oeste de la capital de estado. El índice de urbanización del municipio Nacajuca (63.1%) está por encima del promedio estatal en cuanto a la aglomeración (59.7%), siendo actualmente el municipio quien más absorbe el crecimiento poblacional y metropolitano que sufre Villahermosa (Ayuntamiento de Nacajuca, Tabasco, 2015). Con relación al papel que ejerce Nacajuca con la metropolización de Villahermosa, se observa que los polos urbanos que para el año 2000 estaban unidos por caminos primarios, en 2017 se visualizan conectados por corredores urbanos y asentamientos humanos dispersos (Figura 2).

La consolidación de los corredores se basó en la construcción de fraccionamientos y centros comerciales (Ayuntamiento de Nacajuca Tabasco, 2018). El análisis espacial demuestra que Nacajuca se está expandiendo de forma incontrolable, disminuyendo sus coberturas de vegetación arbórea y aumentando sus áreas de pastizal, con un dominio de terrenos bajos e inundables (Figura 2). La infraestructura artificial actúa como barrera, por lo que el relleno de áreas para la ampliación de nuevas zonas urbanas adyacentes a las carreteras ha favorecido la ocupación de zonas inundables, lo que contribuye a aumentar el alto riesgo de inundaciones (Zamora *et al.*, 2019).

En el mapa de 2017, se observa a Nacajuca con fragmentación del paisaje (Figura 2), un proceso que es causado por factores antropogénicos y se considera como una de las causas principales de la pérdida de biodiversidad, por sus efectos biológicos como la pérdida de la variabilidad genética de las poblaciones; ecológicos como la pérdida del hábitat, de salud pública como la transmisión de enfermedades zoonóticas, y socioeconómicos como la pérdida de fuentes de recursos naturales para el desarrollo social de las poblaciones humanas, siendo una problemática de interés global muy común en las zonas urbanas latinoamericanas (Santos y Telleria, 2006; Bähr y Borsdorf, 2011).

La dinámica espacial de los ecosistemas de Nacajuca también se determinó con la detección cartográfica y cuantitativa de las transiciones 2000-2008. En esta se observa que las transformaciones más sobresalientes fueron la conversión elevada de coberturas de humedales a pastizal, aunque también se encontraron cambios de pastizal a vegetación arbórea debido a procesos de reversión natural o inducida. Asimismo, se detectaron transiciones de pastizal a urbano y a pesar de la reversión de vegetación, se encontró el remplazo de vegetación arbórea a pastizal para el crecimiento de las actividades agropecuarias (Figura 4).

Las transiciones 2008-2017 mostraron el remplazo de humedales por pastizal e importantes desplazamientos de vegetación arbórea para la expansión del área urbana y para el aumento del pastizal. También existieron dinámicas de reversión, aunque en menores superficies como las conversiones de pastizal a humedales y pastizal a vegetación arbórea (Figura 4).

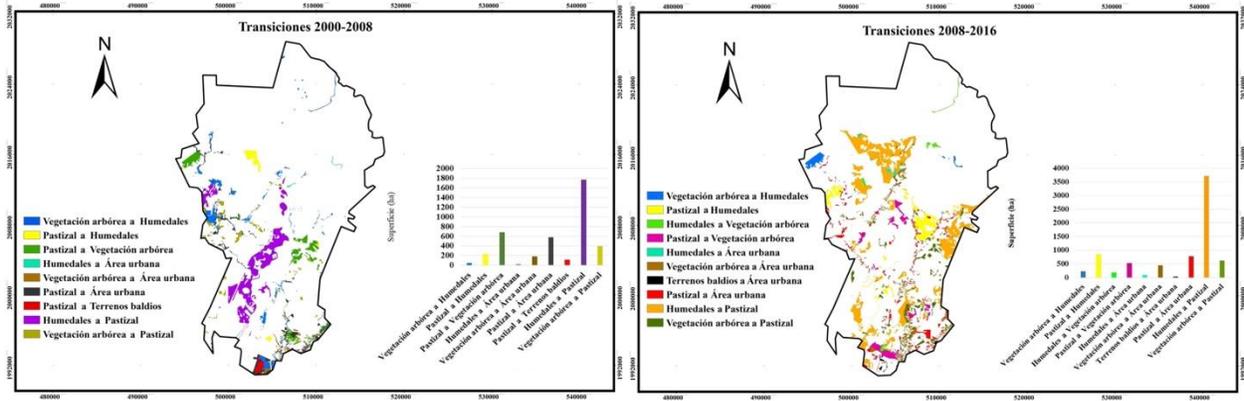


Figura 4. Mapas de transiciones en Nacajuca, Tabasco, 2000-2008 y 2008-2017 (ha).

Las contribuciones de superficie entre las cinco categorías en el periodo de análisis 2000-2008, señalan que la pérdida de humedales estuvo relacionada con el aumento de 1 531 ha de pastizal y de 29 ha de área urbana (Figura 5). En contraste, las pérdidas de vegetación arbórea fueron causadas por el crecimiento de 186 ha del área urbana (Figura 5). Sin embargo, se presentó una reversión de la vegetación sobre 279 ha de espacio ocupado anteriormente por pastizal (Figura 5).

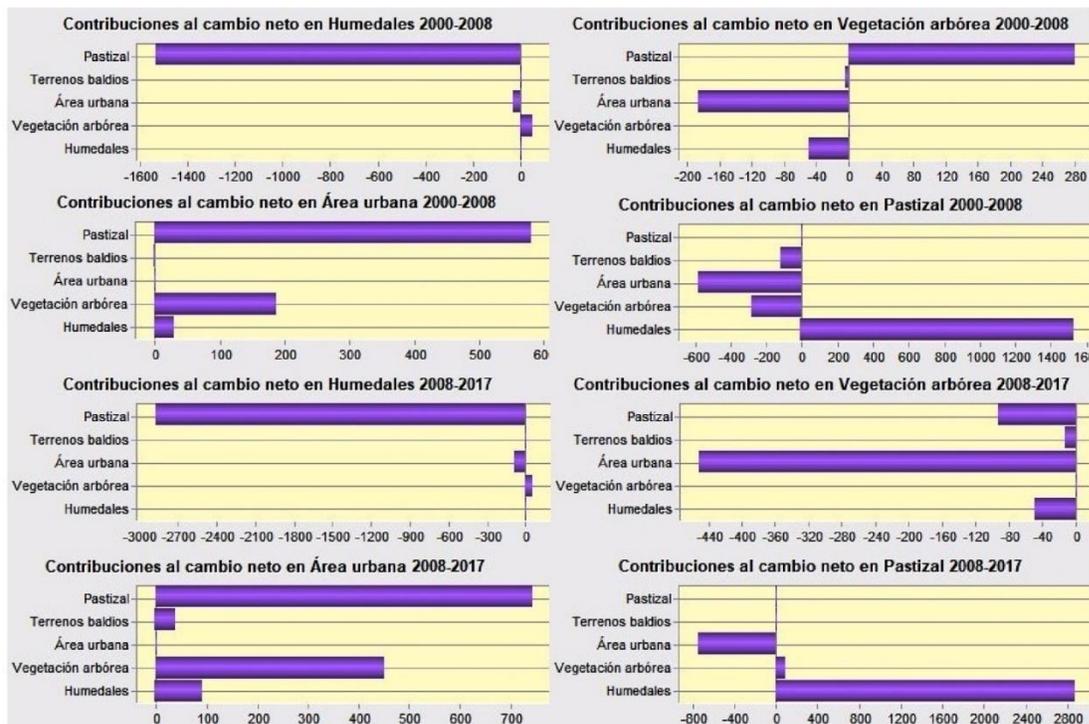


Figura 5. Contribuciones de superficies entre categorías 2000-2008 y 2008-2017 (ha).

La regeneración de coberturas arbóreas en este periodo, coincide con acciones de reforestación en los ejidos de Tabasco debido a crecientes programas de reforestación para el aprovechamiento forestal y pago de servicios ambientales como la captura de carbono (Alejandro-Montiel *et al.*, 2010). De igual manera, el pastizal creció sobre 118 ha de terrenos baldíos y perdió 580 ha abonadas al crecimiento del área urbana (Figura 5). Las contribuciones del periodo 2008-2017 señalaron que 2 866 ha de humedales fueron convertidas a pastizal, mientras que otras 29 ha de humedales fueron transformadas en área urbana (Figura 5).

Las pérdidas de vegetación arbórea fueron causadas por los aumentos de 93 ha de pastizal, 12 ha de terrenos baldíos, 49 ha por aumento de humedales y 450 ha por el crecimiento del área urbana (Figura 5). El pastizal fue el espacio para el crecimiento de 743 ha del área urbana (Figura 5).

De este modo, se hace evidente que los patrones de cambio de uso del suelo durante 2000, 2008 y 2017, fueron en primer lugar, las transiciones de grandes coberturas de humedales a pastizal y en segundo lugar la transformación del pastizal en áreas urbanas. Estas transiciones coinciden con la degradación de los ecosistemas de la zona urbana de Villahermosa (1984-2000-2008) que fueron causadas en primer lugar por la transición a pastizal de uso agropecuario y en segundo por la urbanización (Zavala-Cruz *et al.*, 2011; Palomeque de la Cruz *et al.*, 2017).

Además, en Tabasco grandes coberturas de humedales han desaparecido debido al crecimiento del pastizal, seguido por el crecimiento urbano, la consolidación de la infraestructura industrial y de carreteras (Estrada *et al.*, 2013). La pérdida de las coberturas de humedales es un problema de prioridad nacional debido que son proveedores de servicios ecosistémicos como el mantenimiento de la biodiversidad de flora y fauna, regulación ambiental, retención de nutrientes, purificación del agua, control de inundaciones, secuestro de carbono y agua para actividades agropecuarias y consumo humano (Henny y Meutia, 2014; Moreno-Casasola e Infante, 2016; López-Jiménez, 2019).

Se afirma que las transiciones de humedales a pastizal son de gran influencia en el territorio, por lo que pueden ser usadas en Land Change Modeler para la construcción de submodelos de potencial de transición que tengan como objetivo encontrar las reglas que influyen en la dinámica del cambio espacio temporal, e identificar las variables que las condicionan (Eastman, 2012; Diaz-Pacheco y Hewitt, 2013). Las transiciones también pueden ayudar a simular escenarios prospectivos al combinarse con las variables determinantes y con una Cadena de Markov (Mishra *et al.*, 2011; Diaz-Pacheco y Hewitt, 2013).

El cambio en el uso del suelo en Nacajuca también fue inducido por actividades petroleras, principalmente la construcción de pozos y carreteras de acceso a ellos, lo que llevó al relleno humedales; pero también debido a derrames y explosiones en los pozos (Pinkus-Rendón y Contreras-Sánchez, 2012; Lara y Vera, 2017). El impacto ambiental en los humedales afectó también a comunidades indígenas como las del poblado de Tucta, donde la construcción de camellones para obtener espacios destinados a la producción agrícola requirió del relleno de zonas inundables, contribuyendo de este modo a la vulnerabilidad del territorio ante el crecimiento de mayores eventos de inundación en los años 2000, 2001, 2007, 2008 y 2010 que trajeron a consecuencia la reducción de la producción de cultivos e incluso la desaparición de especies locales (Lara y Vera, 2017).

De acuerdo con el análisis espacio-temporal y la revisión de literatura, las alternativas para reducir los efectos del cambio de uso del suelo deben estar enfocados a los objetivos del ordenamiento ecológico territorial y el desarrollo urbano para el desarrollo sostenible. En este, es necesario el diagnóstico y manejo sostenible del territorio para generar mejoras a la calidad de vida, proteger y conservar los recursos naturales, así como integrar las disposiciones y normas para ordenar y regular la zonificación de áreas de reservas, restauración ecológica, usos y destinos de suelo que permitan diseñar procesos de acción social, resolución de problemas y conflictos entre la sociedad y el medio ambiente que garanticen un mejor nivel de vida de la población (Ayuntamiento de Nacajuca Tabasco, 2015; Castillo y Moreno, 2015).

En este sentido, los SIG, la teledetección y los diversos modelos geomáticos para el análisis del cambio de uso del suelo, constituyen herramientas que deben ser integradas en el diagnóstico ambiental, social y económico, previo al modelo de ordenamiento territorial. Con estas, puede analizarse la dinámica espacio-temporal a una mayor escala espacial y constituyen un método de clasificación de mayor exactitud. Permite visualizar las principales transiciones entre las categorías de usos y coberturas para comprender, prevenir y revertir los impactos destructivos de las actividades económicas y los patrones de urbanización, así como la simulación de proyecciones futuras de la dinámica espacial (Camacho-Olmedo *et al.*, 2010; Eastman, 2012; Eastman y Toledano, 2018).

Conclusiones

El cambio de uso del suelo en Nacajuca, Tabasco, durante 2000-2008-2017, se ha caracterizado por el desarrollo total de 8 707 ha de superficies urbanizadas y la ocupación de suelo para actividades agropecuarias. La perturbación de los ecosistemas se incrementó en 7 753 ha con la modificación de gran parte del municipio, poniendo en riesgo la capacidad de carga del sistema natural, incrementando inundaciones en terrenos de uso habitacional, así como de uso para actividades productivas con afectaciones en la economía de las familias de origen rural.

Los principales cambios ocurren por la transformación de humedales en pastizal provocado por el estrangulamiento de los cuerpos de agua, para después ser transformados de pastizales a zonas urbanas con los consecuentes riesgos que esto origina tanto para los servicios ambientales como para la seguridad de la población que termina residiendo en esos espacios.

El cambio de uso de Nacajuca ha contribuido con la conurbación con Villahermosa a partir del crecimiento urbano hacia el Sur y al Oeste de la capital del estado. La modelación de la dinámica espacial con el Land Change Modeler de IDRISI, demostró que las principales transiciones fueron en primer lugar, el cambio de grandes coberturas de humedales a pastizal y en segundo lugar la transformación del pastizal a áreas urbanas y que esto se relaciona con la actual dinámica de la zona metropolitana de la ciudad de Villahermosa. También coincide con la pérdida de grandes coberturas de humedales en gran parte del territorio de Tabasco, debido al crecimiento del pastizal, seguido por el crecimiento urbano y la consolidación de las carreteras.

Los resultados indican que para evitar posibles escenarios de deterioro ambiental por lo menos en las próximas dos décadas ‘si no se logra un cambio sustantivo en las políticas del desarrollo’, se implementen alternativas para reducir los efectos del cambio de uso del suelo, alineados con los

objetivos del ordenamiento ecológico territorial y el desarrollo urbano para el desarrollo sostenible. Por lo que este estudio contribuye a proveer información precisa, veraz y actualizada de la dinámica espacial en el área de estudio para futuros programas.

Resalta la importancia del uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la teledetección ambiental y los modelos geomáticos como herramientas para estudiar con mayor precisión el territorio, lo que permite trabajar a mayor escala y con mejores métodos de clasificación para el diagnóstico actual y futuro de la dinámica ambiental, social y económica en el ordenamiento ecológico territorial.

Literatura citada

- Aguayo, M.; Pauchard, A.; Azócar, G. y Parra, O. 2009. Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Rev. Chilena Hist. Natur.* 82(3):361-374. <https://doi.org/10.4067/s0716-078x2009000300004>.
- Alejandro-Montiel, C.; Galmiche-Tejeda, A.; Dominguez-Dominguez, M. y Rincón-Ramírez, A. 2010. Cambios en la cubierta forestal del área ecoturística de la reserva ecológica de agua selva, México. cambios en la cubierta forestal del área ecoturística de la reserva ecológica de agua selva, México, DF. *Tropical and Subtropical Agroecosystems.* 12(3):605-617.
- Allub, L. y Michel, M. A. 1979. La formación socioeconómica de Tabasco y el petróleo. *Investigación Económica.* 148/149(38):327-355. <https://doi.org/10.2307/42777039>.
- Ayuntamiento de Nacajuca Tabasco. 2015. Plan municipal de desarrollo. 2-76 pp.
- Ayuntamiento de Nacajuca Tabasco. 2018. Plan municipal de desarrollo. 200 p.
- Bähr, J. y Borsdorf, A. 2011. La ciudad latinoamericana. La construcción de un modelo. *Vi. Urbes.* 2(2):207-221.
- Cálix, D. H.; Koch, O. S D.; Novelo, R. A. y Mark, E. E. 1991. Flora y vegetación hidrófita de Nacajuca, Tabasco. Colegio de Postgraduados. Tesis. Estado de México, México. 264 p. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=COLPOS.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=017017>.
- Camacho, O. M. T.; Molero, M. E. y Paegelow, M. 2010. Modelos geomáticos aplicados a la simulación de cambios de usos del suelo. Evaluación del potencial de cambio. *In: Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos.* Ojeda, J.; Pita, M. F. y Vallejo, I. (Eds.). 14 Ed. Universidad de Sevilla. Sevilla, España. 658-678 pp. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/66608/CAMACHO.PDF?sequence=1&isAllowed=y>.
- Capdepont-Ballina, J. L. y Marín-Olán, P. 2014. La economía de Tabasco y su impacto en el crecimiento urbano de la ciudad de Villahermosa (1960-2010). *LiminaR. Estudios sociales y humanísticos.* 12(1):144-160. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-80272014000100010&script=sci-abstract>.
- Castillo-Orsorio, G. y Moreno-Gaspar, M. I. 2015. La ordenación ecológica del territorio racional y sustentable. *Perfil de las ciencias sociales.* 5(3):177-206. <https://revistas.ujat.mx/index.php/perfiles/article/view/1040>.
- Dadashpoor, H. and Alidadi, M. 2017. Towards decentralization: spatial changes of employment and population in Tehran Metropolitan Region, Iran. *Applied Geography.* 85:51-61. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.05.004>.

- Dadashpoor, H.; Azizi, P. and Moghadasi, M. 2019. Science of the total environment land use change, urbanization, and change in landscape pattern in a metropolitan area. *Science of the Total Environment*. 655:707-719. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.267>.
- Delgado, M L. A.; Matteucci, S.; Acevedo, M.; Valeri, C.; Blanca, R. y Márquez, J. 2017. Causas directas que inducen el cambio de uso el suelo y de la cobertura boscosa, a escala de paisaje, en el sur de Venezuela. *Interciencia*. 42(3):148-156.
- Diaz-Pacheco, J. y Hewitt, R. 2013. Modelado del cambio de usos del suelo urbano a través de redes neuronales artificiales. Comparación con dos aplicaciones de software. *Rev. Internac. Cienc. Tecnol. Inform. Geogr.* 14:1-22. <https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/298/146>.
- Diaz, P. M. A. 2014. La construcción histórica de las condiciones de posibilidad de un desastre: el caso de dos colonias de Villahermosa, Tabasco. *In: Montañas, pueblos y agua. Dimensiones y realidades de la cuenca Grijalva*. González, E. M. y Brunel, M. M. C. (Coords). 1^{ra} Ed. Colegio de la Frontera Sur: Juan Pablos Editor. Distrito Federal, México. 181-221 pp. http://cuencagrijalva.ecosur.mx/cuenca_grijalva/files/informe_Final/sp03-archivos/03_0709_cap_7_construccion_condiciones_historicas.pdf.
- Eastman, J. R. 2012. *Idrisi Selva. Guía para SIG y procesamiento de imágenes*. Clark University. 17 Ed. Worcester, MA, USA. 321 p. <https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/IDRISI-Selva-Spanish-Manual.pdf>.
- Eastman, J. R. 2016. *TerrSet. Geospatial monitoring and modelling system. Manual*. Clark University. 1st Ed. Worcester, MA, USA. 393 p. <https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/Terrset-Manual.pdf>.
- Eastman, J. R. and Toledano, J. 2018. A short presentation of the land change modeler (LCM). *In: Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Camacho, O. M.; Paegelow, M.; Mas, J. F. and Escobar F. (Eds.). 1st Ed. Springer. Worcester, MA, USA. 499-505 pp. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-60801-3-36>.
- Estrada-Loreto, F.; Barba-Macias, E. y Ramos-Reyes, R. 2013. Cobertura temporal de los humedales en la cuenca del Usumacinta, Balancán, Tabasco, México. *Tabasco, México. Universidad y Ciencia*. 2(29):141-151. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0186-29792013000200004>.
- ESA. 2017. Copernicus open acces hub. From european space agency website: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.
- ESRI. 2017. Arc Gis 10.2. Retrieved from <https://www.esri.com/en-us/home>.
- FAO. 2015. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015. Compendio de datos (FAO, ONU; FAO), (Ed.). New York: FAO.
- Flores-Santiago, A. 1987. La modernización de la agricultura en el trópico húmedo mexicano: veinte años de experiencia en la Chontalpa, Tabasco. *Rev. Geogra. Agríc.* 13-14(2):104-115. <http://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000044280>.
- Galindo-Alcántara, A. 2006. Los sistemas de producción bovina en el estado de Tabasco. su impacto en los sistemas naturales. Universidad de la Habana. 155 p.
- Gobierno del Estado de Tabasco. 2018. Regiones de Tabasco portal Tabasco. <https://tabasco.gob.mx/regiones-de-tabasco>.
- Henny, C. and Meutia, A. A. 2014. Urban lakes in megacity jakarta: risk and management plan for future sustainability. *Procedia Environmental Sciences*. 20:737-746. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.088>.

- INEGI. 2008. Ortoimágenes 2000 y 2008. <https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/ortoimagenes/>.
- Kolb, M. and Galicia, L. 2012. Challenging the linear forestation narrative in the Neo-tropic: Regional patterns and processes of deforestation and regeneration in southern Mexico. *Geographical J.* 178(2):147-161. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2011.00431.x>.
- Lambin, E. F.; Turner, B. L.; Geist, H. J.; Agbola, S. B.; Angelsen, A.; Folke, C. and Veldkamp, T. A. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change.* 4(11):261-269. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3).
- Lara-Blanco, M. J. and Vera-Cortés, G. 2017. Vulnerabilidad social a desastres en Tucta, Nacajuca. *Rev. Mex. Sociol.* 79(4):723-754.
- López, J. L. N. 2019. Tabasco es el edén de los humedales. Tabasco, México. *Kuxulkab'*. 52(25):39-51. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a25n52.2969>.
- Lorenzo-Guillermo, J.; Duch-Gary, J.; Perez-Villalba, E. and Monterroso-Rivas, A. I. 2019. Land-use change in the Sierra Alta of Hidalgo in the period 1976-2011. *Rev. Geogra. Agríc.* 63:63-87. <https://doi.org/dx.doi.org/10.5154/r.ga.2018.63.01>.
- Mishra, A.; Karimi, D.; Ehsani, R. and Albrigo, L. G. 2011. Evaluation of an active optical sensor for detection of Huanglongbing (HLB) disease. *Biosystems Engineering.* 110(3):302-309.
- Morales-Jimenez, C. 1990. La ganaderización de Tabasco. Reflejo de la ineficiencia e irresponsabilidad empresarial en el aprovechamiento y manejo del trópico húmedo mexicano. *Rev. de Difus. Cient. Tecnol. y Humanística.* 1(2):37-42. <http://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000028507>.
- Moreno-Casasola, P. y Infante, M. D. M. 2016. Conociendo los manglares, las selvas inundables y los humedales herbáceos. INECOL-OIMT. 1^{ra} Ed. Veracruz, México. 128 p. <https://idoc.pub/documents/conociendo-los-manglares-y-selvas-inundables-vnd1j62p9wnx>.
- Najera-Gonzalez, O.; Bojórquez-Serrano, J.; Cifuentes-Lemus, J. y Marcelaño Flores, S. 2010. Cambio de cobertura y usos del suelo en la cuenca del Río Mololoa, Nayarit. *Biociencias.* 1(1):19-29. <http://revistabiociencias.uan.edu.mx/index.php/Biociencias>.
- Navarro-Pineda, J. M. y Toledo-Sánchez, H. 2008. Transformación de la cuenca del Río Grijalva. *Rev. Noticias AMI.* 4(16):11-22. <http://www.amip.org.mx/htm/RevAMIP/A4NUM16/AMIP41611.pdf>.
- Palacio-Prieto, J. L.; Sánchez-Salazar, M. T.; Casado-Izquierdo, J. M.; Propin, F. E.; Delgado, C. J.; Velázquez, M. A.; Chias, B. L.; Ortiz, A. M. I.; González, S. J.; Negrete, F. G.; Morales, G. J. y Márquez, H. R. 2004. Indicadores para la Caracterización y Ordenamiento del Territorio. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT., Instituto de Geografía, UNAM y Secretaría de Desarrollo Social. 1^{ra} Ed. México. 161 p.
- Palomeque-Cruz, M. Á.; Galindo-Alcántara, A.; Escalona-Maurice, M. J.; Ruiz-Acosta, S. D. C.; Sánchez-Martínez, A. J. y Pérez-Sánchez, E. 2017. Analysis of land use change in an urban ecosystem in the drainage area of the grijalva River, Mexico. *Rev. Chapingo Ser. Cienc. Forestal. Amb.* 23(1):106-120. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.03.018>.
- Palomeque-Cruz, M. Á.; Galindo-Alcántara, A.; Sánchez, A. J. y Jorge, E. M. M. 2017. Pérdida de humedales y vegetación por urbanización en la cuenca del río Grijalva, México. *Investigaciones Geográficas.* 68:151-172. <https://doi.org/10.14198/INGEO 2017.68.09>.
- Pérez-Sánchez, J. M. 2007. El manejo de los recursos naturales bajo el modelo agrícola de camellones chontales en Tabasco. *Ibero forum.* 2(4):1-9.

- Pineda-Jaimes, N. B.; Bosque-Sendra, J.; Gómez-Delgado, M. y Plata-Rocha, W. 2009. Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes . Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*. 69:33-52. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci.arttext&pid=S0188-46112009000200004>.
- Pinkus-Rendón, M. J. y Contreras-Sánchez, A. 2012. Impacto socioambiental de la industria petrolera en Tabasco: el caso de la Chontalpa. *LiminaR. Estudios Sociales y Humanísticos*. 10(2):122-144.
- Pontius, R. G.; Huffaker, D. and Denman, K. 2004. Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models. *ecological modelling*. 179(179):445-461. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.05.010>.
- Salvati, L.; Zambon, I.; Maria-Chelli, F. and Serra, P. 2018. Science of the total environment do spatial patterns of urbanization and land consumption reflect different socioeconomic contexts in Europe? The spatial distribution of the 155 metropolitan regions in 6 European macro- regions (left) and the relativ. *Science of the Total Environment*. 625:722-730. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.341>.
- Sánchez, M. A. 2005. Uso del suelo agropecuario y deforestación en Tabasco 1950-2000. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 1era Ed. Villahermosa, Tabasco, México. 123 p. <https://books.google.es/books?id=4DVyMyAOWhEC>.
- Santos, T. y Telleria, J. L. 2006. Pérdida y fragmentación del hábitat : efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas. Rev. Cient. Técn. Ecol. Med. Ambie*. 15(2):3-12. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=423%0APérdida>.
- Vitousek, P. M.; Mooney, H. A.; Lubchenco, J. and Melillo, J. M. 1997. Human Domination of Earth's ecosystems. *USA. Science*. 5325(277):494-499. <http://dx.doi.org/10.1126/science.277.5325.494>.
- Zamora, S. N.; Pérez, S. E.; Carballo, C. V. R. y Galindo, A. A. 2019. Dinámica de las terrazas fluviales en la subcuenca Grijalva-Villahermosa, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 3(71):805-817. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2019v71n3a10>.
- Zamora-Saud, N.; Pérez-Sánchez, E.; Carballo-Cruz, V. R. y Galindo-Alcántara, A. 2019. Nota corta Dinámica de las terrazas fluviales en la subcuenca Grijalva. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 71(3):805-817. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2019v71n3a10>.
- Zavala, C. J.; Castillo, A. O.; Ortiz, C. A. I.; Palma, L. D. J.; Juárez, L. J.; Salgado, G. S.; Rincón, R. J. A.; Moreno. C. E. y Ramos. R. R. 2009. Capacidad de uso del suelo urbano en Tabasco: con base en suelo, uso actual y vegetación. *Colegio de Postgraduados*. 1^{ra} Ed. Tabasco, México. 189 p. <http://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000048816>.
- Zavala-Cruz, J.; Palma-López, D. J.; Fernández, C. C. R.; López, C. A. y Shirma, T. E. 2011. Degradación y Conservación de suelos en la Cuenca del río Grijalva, Tabasco. *Colegio de postgraduados, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental*. 1^{ra} Ed. Tabasco, México. 89 p. <https://www.researchgate.net/publication/293944208-Degradacion-y-Conservacion-de-Suelos-en-la-Cuenca-del-Río-Grijalva-Tabasco>.