

# Almacenamiento de carbono y agua en un área periurbana de Tabasco

## Storage of carbon and water in a periurban area of Tabasco

Roxana Jhoana Domínguez Bautista<sup>1</sup>, Aydee Tobías Baeza<sup>1</sup>, Silvia del Carmen Ruíz Acosta<sup>1</sup>,  
Pedro Salvador Morales<sup>1</sup>, Adalberto Galindo Alcántara<sup>3</sup>,  
Agrícola Arrieta Rivera<sup>1</sup> y Rufo Sánchez Hernández<sup>1,2‡</sup>

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca (ITZO). Carretera a Frontera km 17.5 Prol. Ignacio Zaragoza s/n. 86270 Villa Ocuilzapotlán, Centro, Tabasco, México.

<sup>‡</sup> Autor para correspondencia (rusaher@hotmail.com)

<sup>2</sup> División Académica de Ciencias Agropecuarias, UJAT. Carretera Villahermosa-Teapa km 25. 86800 Villahermosa, Tabasco, México.

<sup>3</sup> División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT. Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5 s/n, entronque a Bosques de Saloya. 86150 Villahermosa, Tabasco, México.

### RESUMEN

El corredor Ocuilzapotlán-Macultepec constituye una zona con potencial para el crecimiento urbano, por su cercanía a la ciudad de Villahermosa Tabasco, esto ha provocado intensos cambios de uso de suelo en su área periurbana que afectan las funciones ambientales de sus recursos naturales. Por ello, el objetivo de la investigación fue analizar los cambios de uso de suelo, ocurridos entre los años 2000-2017, así como el impacto que causan a algunas funciones ambientales de las áreas periurbanas en dicho corredor. Mediante análisis de imágenes se identificaron los usos de suelos, se calcularon las tasas de cambios de uso y se determinaron sus efectos sobre el almacenamiento de carbono y regulación de los flujos hídricos. Los resultados indican que los usos urbano y pastizales crecieron en 2.27 y 2.26% respectivamente, mientras que los forestales y humedales decrecieron en 11.48 y 1.09% respectivamente. El almacenamiento de carbono edáfico se estima en  $92.4 \pm 5.1$ ,  $73.2 \pm 2.8$  y  $220.4 \pm 4.6$  Mg C ha<sup>-1</sup> para los usos pastizal, forestal y humedales respectivamente. El compartimento aéreo del uso forestal almacena 63.27 Mg C ha<sup>-1</sup>, que se suman al carbono edáfico, alcanzando las 136.47 Mg C ha<sup>-1</sup>, que hacen de este uso de suelo, el segundo almacén de C más importante, solo después del humedal. Se concluye que el mayor impacto ambiental ocasionado por el cambio de uso de suelo del área periurbana del polígono estudiado es la reducción de humedales, por ser estos las principales áreas de almacenamiento de carbono y de regulación de los flujos hídricos.

*Palabras clave:* cambio de uso de suelo, forestal, humedal, pastizales, Ocuilzapotlán-Macultepec.

### SUMMARY

As a result of its geographical location and its proximity to the city of Villahermosa in Tabasco, the Ocuilzapotlan-Macultepec road corridor is an area of great potential for urban growth. This has originated intense changes in land use in its peri-urban area that have affected the functions of its natural resources. For this reason, the objective of this research was to analyze land use changes that occurred during the period 2000-2017 and the impact on some environmental functions of the peri-urban areas of said corridor. By means of image analysis we identified land uses, land use change rates, and regulation of water flows. Our results suggest that urban areas and grasslands grew by 2.27 and 2.26%, respectively, while forests and wetlands decreased by 11.48 and 1.09%, respectively. Soil carbon concentrations are estimated to be  $92.4 \pm 5.1$ ,  $73.2 \pm 2.8$  and  $220.4 \pm 4.6$  Mg C ha<sup>-1</sup> for meadow, forest and wetland uses, respectively. The shoot compartment of the forest stores 63.27 Mg C ha<sup>-1</sup>, which, when added to soil carbon, totals 136.47 Mg C ha<sup>-1</sup>, making this land use the second most important carbon store, only after wetlands. It is concluded that the greatest environmental impact caused by land use change of the peri-urban area of the polygon studied is the reduction of wetlands since they are the main areas of carbon stores and are regulators of water flows.

#### Cita recomendada:

Domínguez Bautista, R. J., A. Tobías Baeza, S. C. Ruíz Acosta, P. Salvador Morales, A. Galindo Alcántara, A. Arrieta Rivera y R. Sánchez Hernández. 2019. Almacenamiento de carbono y agua en un área periurbana de Tabasco. *Terra Latinoamericana* 37: 197-208.  
DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.452>

Recibido: 03 de octubre de 2018.

Aceptado: 01 de marzo de 2019.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 37: 197-208.

**Index words:** *soil use change, forestry, wetland, grassland, Ocuilzapotlán-Macultepec.*

## INTRODUCCIÓN

Un espacio periurbano se define como aquel que geográficamente ocupan intersticios libres que son dejados por el área urbana dentro de una aglomeración, que brindan diversos bienes y servicios; entre estos servicios regulan los ciclos biogeoquímicos que hacen posible la vida en nuestro planeta (Pineda-López *et al.*, 2010). Las áreas periurbanas representan los únicos espacios de amortiguamiento, después de que el aumento de la mancha urbana fragmenta y aísla los espacios naturales, afectando sus funciones ecosistémicas, específicamente una de las más importantes como la captura de carbono en la vegetación y el suelo, así como áreas de regulación de los flujos hídricos superficiales, en áreas de humedales aledañas a los núcleos urbanos. Al respecto, una de las estrategias que podrían implementarse para reducir la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico es incrementar la cobertura vegetal y conservar las existentes, ya que se ha demostrado que los bosques poseen gran capacidad de fijación de carbono en sus estructuras, particularmente en la parte leñosa (Concha *et al.*, 2007). Se ha estimado que los árboles asimilan y almacenan grandes cantidades de carbono (C), especialmente en el fuste del árbol, que es donde se almacena aproximadamente 84% de biomasa, de la cual 46% corresponde a C (Ordóñez y Maser, 2001; Avendaño-Hernández *et al.*, 2009). Sin embargo, la capacidad de captura de C en un ecosistema está influenciada por la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato por comunidad vegetal (Rodríguez *et al.*, 2008). De acuerdo con Sánchez (2005), en las zonas periurbanas se realizan actividades agropecuarias y aún se conservan parches de vegetación forestal, espacios de regulación de agua en humedales, que poseen un valor ambiental importante, aunque dichos espacios se encuentran permanentemente presionados por la mancha urbana. Por su parte, las partes bajas de las áreas periurbanas funcionan como vasos reguladores, por lo que se convierten en áreas que reducen los riesgos de inundación de las poblaciones. Los humedales incluyen una amplia variedad de hábitats tales como pantanos, turberas, llanuras de inundación, ríos y lagos, y áreas costeras

tales como marismas, manglares y praderas de pastos marinos, pero también arrecifes de coral y otras áreas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros, así como humedales artificiales tales como estanques de tratamiento de aguas residuales y embalses (RAMSAR, 2010). Son ecosistemas muy productivos, en su suelo sedimentario rico en detritus, se acumulan concentraciones importantes de carbono, nitrógeno y fósforo. En las turbas se concentra gran cantidad de materia orgánica en descomposición (Zamudio y Guadarrama, 1985). Desempeñan una importante función en la recarga hidrológica del suelo, así como para el control de inundaciones constituyendo embalses naturales (RAMSAR, 2010). Tienen también un importante papel como filtradores de agua e influyen así en el control de la contaminación ya que la vegetación extrae importantes concentraciones de metales pesados que finalmente, al morir las plantas, terminan en el fondo formando lodos anaeróbicos (Moreno-Casola, 2006). En los humedales, muchas aves ubican sus sitios de anidamiento y pasan los inviernos, convirtiéndose en importantes sitios de migración. El crecimiento de la mancha urbana en Tabasco durante el periodo 1990-2000, cubrió vastas superficies de humedales que funcionaban como vasos reguladores, lo que magnificó las inundaciones y la vulnerabilidad, especialmente de la población de bajos recursos que se asientan en zonas irregulares (Sánchez-Munguía, 2005; Welz y Krellenberg, 2016). Al respecto, MacGregor y Ortega (2013) señalan que muchos problemas sociales, como la segregación, desigualdad económica, así como problemas ambientales como deforestación y fragmentación y contaminación de humedales en México, son consecuencia de un crecimiento urbano mal planeado. Sin embargo, a pesar de las recurrentes inundaciones que ocurren en el territorio tabasqueño, los núcleos urbanos siguen creciendo con el mismo bajo nivel de desarrollo periurbano. Desde su fundación, hasta inicios del siglo XIX, la Villa de San Juan Bautista (Ahora Villahermosa) se mantuvo con poco crecimiento de la población y por ende con poca demanda de superficie para su mantenimiento.

En efecto, la población en esos primeros años se mantuvo concentrada en el área denominada tres lomas en lo que ahora se encuentra parte del Centro Histórico de la Ciudad (Galindo *et al.*, 2013).

Rodeada de humedales y zonas inundables, el acceso terrestre fue casi imposible durante muchos

años, por lo que el comercio y el tránsito de personas se llevó a cabo de manera casi exclusiva por vía fluvial desde la ciudad de Villahermosa hasta el puerto de Frontera y de ahí a Veracruz (Balcázar, 1994).

Es de 1885 a 1946 que a consecuencia de diversas acciones gubernamentales la ciudad de Villahermosa se expande principalmente al amparo de las vías de comunicación construidas, especialmente hacia la zona poniente en los lomeríos de Atasta de Serra y Tamulté (De la Peña, 2012). Cabe señalar que para esas fechas el medio de comunicación más usual era el de tipo fluvial con pequeños vapores en el mejor de los casos para el transporte de pasajeros y de carga y para el tránsito hacia comunidades pequeñas y rancherías en cayucos (Balcázar, 1994).

Otro evento de importancia que fortalece la comunicación y por ende el crecimiento de la ciudad es la construcción de la Carretera del Golfo que unió finalmente a la Capital del Estado con el Resto del País. Es importante destacar que la traza urbana es desordenada y de tipo radial convergiendo en el centro de la ciudad principalmente. Uno de los principales modeladores de la ciudad es su condición de zona vulnerable a las inundaciones lo que marca su expansión hacia las zonas altas del territorio.

Para la década de los cincuenta en el siglo pasado, la construcción del ferrocarril del Sureste marca un hito en el desarrollo de la entidad y por ende de la capital. Esta acción canalizaría parte importante del flujo comercial y de transporte público hacia el municipio de Teapa a través de la carretera Villahermosa-Teapa-Pichucalco. Es para la década de los sesenta que se construye la avenida Paseo Usumacinta como un libramiento para el flujo que se deriva de la Carretera del Golfo hacia la Villahermosa – Teapa (De la Peña, 2012).

De esta manera, la infraestructura construida entre las décadas de los cincuenta y sesenta constituyen un punto de articulación del estado y la ciudad con el resto del país, lo que impulsa un crecimiento sostenido de la población urbana de la ciudad alcanzando para inicio de los setenta poco más de cincuenta mil habitantes.

Esta integración facilitó la llegada de los primeros grupos de trabajadores vinculados a la industria petrolera. Un crecimiento de la población que no se tenía contemplado de ninguna manera y que se da a consecuencia del descubrimiento de grandes mantos petroleros en la zona. El crecimiento espontáneo de la industria petrolera en la entidad trajo una bonanza económica que impulsó al estado a los primeros lugares

en la economía nacional lo que atrajo cada vez a mayor número de habitantes que demandaron vivienda y servicios. De esta manera llegaron a la ciudad el primer desarrollo del INFONAVIT que se ubicó en Ciudad Industrial en lo que es la salida a Frontera.

A partir de este momento se inicia la construcción de múltiples asentamientos irregulares que se distribuyen en la zona del Ejido Tierra Colorada (Col. José Ma. Pino Suárez), Las Gaviotas y La Manga.

Para la década de los ochenta, la construcción del Periférico Carlos Pellicer entre otras impulsa el crecimiento en la zona norte de la ciudad, pero es la construcción del Centro Técnico Operativo de PEMEX lo que detona el crecimiento irregular en la zona de Bosques de Saloya y rancherías vecinas. Otras comunidades que quedan atrapadas en el ámbito urbano de la ciudad son Macultepec, Ocuilzapotlan, Playas del Rosario, Dos Montes, la Selva, el Cedro, Lomitas, Torno Largo y Coronel Traconis (De la Peña, 2012).

Por la importancia ambiental que presentan las áreas periurbanas, el objetivo de la investigación fue estimar los impactos que provoca el cambio de uso de suelo sobre las funciones ecosistémicas, de almacenamiento de carbono y agua en el área periurbana Ocuilzapotlán-Macultepec en el periodo de 2000-2017.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el área periurbana de la zona Ocuilzapotlán-Macultepec Centro, Tabasco ( $18^{\circ} 7' 7.75''$ - $18^{\circ} 9' 39''$  N;  $92^{\circ} 52' 24''$ - $92^{\circ} 50' 55''$  O); el clima es cálido húmedo con lluvias abundantes en verano, temperatura media anual de  $26^{\circ}\text{C}$  y precipitación media anual de 2000-2500 mm. Como fuente de información se recopiló dos mapas de uso del suelo, correspondientes a los años 2000 y 2017, escala 1:10 000: Datum WGS84-Proyección UTM zona 15N en formato vectorial, elaborados mediante digitalización en pantalla, con el programa Arc Gis® 10.2.2. Posteriormente, los vectores fueron transformados en formato ráster con el comando "Rastervector" del programa IDRISI Selva 2012®. Las categorías temáticas fueron: 1) forestal; 2) humedales; 3) pastizal; y 4) urbano (Figura 1). Posteriormente se realizó un análisis cuantitativo de imágenes en dos fechas mediante una matriz de tabulación cruzada con el modelador de cambios en el terreno (MCT) del programa IDRISI Selva 2012®, con la finalidad de identificar los cambios entre los diferentes usos de

suelo (Eastman, 2012). El método de evaluación de cambios en el uso de suelo se basa en la comparación de dos imágenes (fotografía aérea o imagen de satélite) que representan la vegetación y uso del suelo en dos periodos diferentes. Estos archivos se clasifican mediante fotointerpretación o análisis de percepción remota para rodalizar y cuantificar los diferentes usos del suelo y vegetación para cada periodo. Las categorías de uso del suelo dependen de la escala de trabajo y de los objetivos de la investigación. Para este artículo se definieron cuatro categorías: humedal (HM), vegetación arbórea (VA), áreas urbanas (AU) y pastizal (PZ) que en conjunto resumen de manera clara los datos observados en las imágenes utilizadas.

Una vez elaborados los mapas de al menos dos periodos de análisis (t1 y t2), estos se sobreponen utilizando un SIG como herramienta lo que permite una comparación pixel por pixel. El resultado nos indica las áreas donde se registran los cambios en la cobertura original (t1) registrando la ubicación y cuantificando la superficie de pérdida. Es importante señalar que los cambios en la cobertura se dan en todo el territorio, por lo que en algunas zonas se reduce una categoría mientras que en otras aumenta estimulada por los diferentes factores ambientales y antrópicos que la rodean. La cuantificación de estos cambios se conoce como pérdidas y ganancias y se registra en una matriz junto con los demás datos del análisis para calcular finalmente la tasa de cambio de uso del suelo por cada categoría.

Esta se calcula utilizando la fórmula de Palacio *et al.* 2004,  $TC = (((S2/S1)^{(1/t)} - 1) \times 100)$  y se multiplica por 100 para obtenerla en porcentaje. Donde TC es la tasa de cambio, S2 la superficie del periodo más reciente y S1 la superficie del periodo más lejano y t es el tiempo transcurrido en años para el análisis.

En cada uso de suelo delimitado, se seleccionaron aleatoriamente 4 sitios de muestreo; en cada sitio se recolectaron dos series de muestras de suelo. En la primera serie de muestras, se colectaron cuatro muestras a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm). Dichas muestras fueron trasladadas al laboratorio donde fueron secadas a temperatura ambiente, se trituraron y se pasaron por un tamiz con número de malla 60. En cada muestra se determinaron los porcentajes de carbono (C) y nitrógeno total (Nt) mediante los métodos de Walkley y Black y Semi-micro Kjeldahl

respectivamente (Chapman y Pratt, 1997). La MOS se calculó al multiplicar el porcentaje COS por el factor de Van Benmelen de 1.724. Con los porcentajes de C y N total obtenidos, se determinó la relación C/N de la MOS. La segunda serie de muestras se colectaron *in situ* mediante un nucleador de cilindro de volumen conocido para determinar la densidad aparente.

Exclusivamente en el uso de suelo forestal se consideró el componente aéreo de la biomasa, por ser un almacén adicional de carbono al componente edáfico. Para ello, en cada unidad de muestreo se realizó un inventario, donde se registraron las especies arbóreas, y de cada una de ellas se midió el diámetro normal (1.3 m sobre el suelo), tanto de los árboles de sombra, como la de los árboles de cacao (0.3 m sobre el suelo), para ello se utilizó una cinta diamétrica, mientras que la altura fue estimada mediante una regla de Christensen. Se registraron los nombres comunes de las especies arbóreas y se tomaron muestras botánicas para determinar los nombres científicos y su clasificación taxonómica a nivel de familia, género y especie. Para cuantificar el C de la biomasa arbórea, se utilizó la ecuación propuesta por Chave *et al.* (2014), la cual se describe como:  $B = 0.0673 * (\rho D^2 H)^{0.976}$ , en donde, B es la biomasa aérea estimada (kg), D es el diámetro normal (cm); H es la altura total (m) y  $\rho$  es la densidad de la madera ( $g\ cm^{-3}$ ). Los valores de densidad de la madera se obtuvieron de dos fuentes, la Global wood density database Zanne *et al.* (2009) y de Ordoñez *et al.* (2015). Dicha ecuación tiene la ventaja de que puede extrapolarse a diferentes tipos de vegetación tropical, sin verse afectada negativamente por factores ambientales o regionales. Para el cálculo del contenido de C, se empleó la ecuación (Penman, 2003; Cerda *et al.*, 2013), donde C es el carbono en la biomasa arbórea expresada en kg, B es la biomasa arbórea expresada en kg y FC es el factor de la fracción de C igual a 0.5.

El contenido de carbono se analizó mediante estadística no paramétrica usando la prueba de Kruskal Wallis (Siegel y Castellan, 1995) con un nivel de significancia de ( $P < 0.05$ ), en el programa estadístico STATGRAPHICS® centurión XVI (StatPoint Technologies, 2010). Las variables que presentaron una distribución normal de los datos fueron procesadas mediante ANDEVAS y pruebas de comparación de medias de Tukey.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Cambio de uso de Suelo en el Área Periurbana

El análisis de imágenes revela que el HM y la VA, son los usos de suelo que sufrieron disminuciones en su superficie, principalmente para dar paso a un incremento en el AU y PZ (Cuadro 1). En la actualidad el uso urbano se mantiene como el principal, aunque el orden de importancia se modificó durante el periodo de observación. En el año 2000, después de las AU, los HM ocupaban el segundo lugar, mientras que en la actualidad este uso de suelo se ha relegado al cuarto lugar, después de los PZ y la VA.

El análisis de los resultados muestra que de modo general la vegetación natural pierde paulatinamente superficie ante el embate del avance urbano y de las actividades económicas. De esta manera, la tasa de cambio de uso del suelo en la categoría de humedales es la más alta reportada en la zona. Palomeque *et al.* (2017) reporta tasas de pérdida de -0.19 a -1.13 para diferentes periodos en Zona Urbana de la ciudad de Villahermosa.

En cuanto a la vegetación arbórea la tasa registrada en el estudio indica una pérdida de -1.09 que es mucho más baja que la reportada por Palomeque *et al.* (2017) en el análisis realizado para el periodo 2000–2017. En este reporta tasas de pérdida de -3-18, -4.63 y -7.45 esta última correspondiente al periodo 2000–2008 de la Zona Urbana de la Ciudad de Villahermosa.

Las áreas de pastizal presentaron una ligera ganancia en la superficie, que responde a una tasa de 2.26, la cual es superior a las encontradas por Palomeque *et al.* (2017) en la zona urbana de la Ciudad.

Finalmente, en la categoría de suelos urbanos la tasa de cambio que se reporta en este estudio es de 2.27 que resulta igual o más baja que la registrada por Palomeque *et al.* (2017).

Es importante señalar que las variaciones en la tasa de cambio de ambos estudios no pueden ser comparadas directamente, solo sirven de referencia general, porque los datos presentados por Palomeque *et al.* (2017) corresponden a áreas dentro del polígono urbano, mientras que las áreas de este estudio corresponden a zonas periurbanas y no existen otros reportes que incluyan el área estudiada.

Por otra parte, el análisis indica que 34 y 28 hectáreas de PZ y AU respectivamente ganaron espacios que en el año 2000 correspondían a áreas de HM; tres hectáreas que eran parte del AU, mientras que tres hectáreas que era VA en el año 2000 actualmente son PZ (Figura 1).

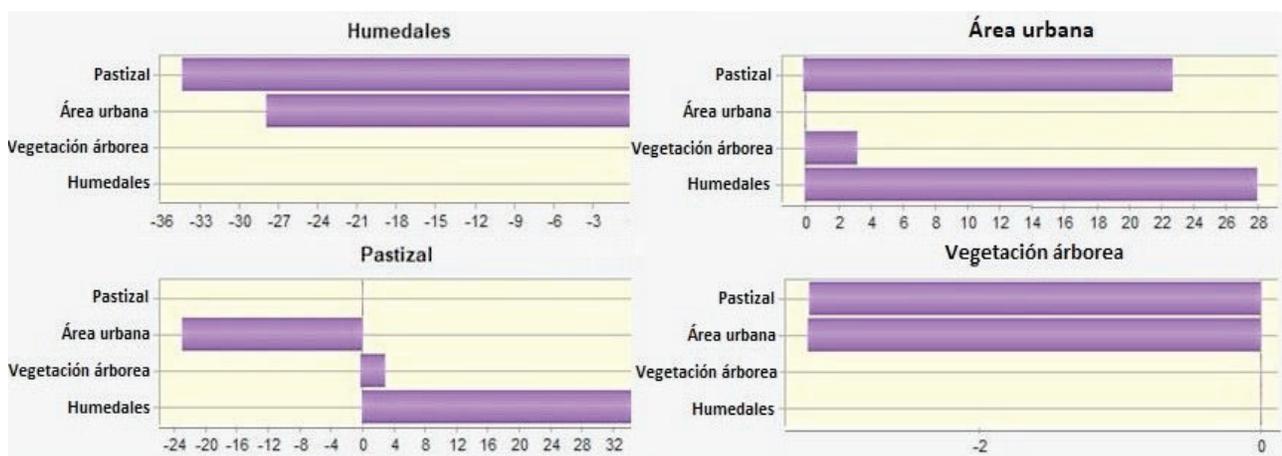
De acuerdo con Zavala-Cruz *et al.* (2016), las inundaciones recurrentes en la ciudad de Villahermosa Tabasco han reconfigurado la mancha urbana, reorientado el crecimiento hacia lugares de mayor vocación urbana, como es la zona Ocuilzapotlán-Macultepec, la cual se ha identificado como de alto potencial para dicho crecimiento. Por su parte, Palomeque *et al.* (2017) señalan que el crecimiento de algunas ciudades de Tabasco, como es el caso de la ciudad de Villahermosa, ha provocado transformaciones que impactan los sistemas naturales desde hace 40 años, específicamente los espacios urbanos han crecido, a cambio de una reducción de pastizales, vegetación arbórea y humedales. Al respecto, Ramos-Reyes *et al.* (2016) indican que los cambios de uso de suelo, son alentados por causas antropogénicas

**Cuadro 1. Cambio de uso de suelo (ha) en el área periurbana Ocuilzapotlán-Macultepec, Tabasco, México, durante en el periodo 2000-2017.**

**Table 1. Change in land use (ha) in the Ocuilzapotlán-Macultepec peri-urban area, Tabasco, México, during the period 2000-2017.**

Uso de suelo	2000		2017		Pérdidas	Ganancias	Cambio neto	Tasa de cambio
		%		%				
HM	72.58	26.77	10.31	3.80	-62	0	-62	-11.48
VA	39.76	14.67	33.35	12.30	-6	0	-6	-1.09
AU	124.58	45.96	178.55	65.86	0	54	54	2.27
PZ	34.17	12.60	48.88	18.03	-23	38	15	2.26
Total	271.09		271.09					

HM = humedal; VA = vegetación arbórea; AU = áreas urbanas; PZ = pastizal.  
HM = wetland; VA = tree vegetation; AU = urban areas; PZ = grassland.



**Figura 1. Contribuciones netas entre los cambios de usos de suelo en el área periurbana Ocuilzapatlán-Macultepec, Tabasco, México (2000-2017).**

**Figure 1. Net contributions between changes in land uses in the peri-urban area Ocuilzapatlán-Macultepec, Tabasco, México (2000-2017).**

como es el crecimiento poblacional o la necesidad de poblar en sitios más seguros y libres de inundaciones para edificar sus viviendas, por políticas y programas gubernamentales que impulsan actividades agrícolas o ganaderas, así como también por modificaciones de las características naturales de los suelos, los cuales al ofrecer nuevas condiciones edáficas, permiten el crecimiento de una vegetación diferente, un ejemplo es el crecimiento de manglares sobre pastizales, cuando la intrusión de agua salina inunda esos espacios, o pastizales que crecen al interrumpir los flujos hídricos o al rellenar las áreas bajas. Si bien el cambio de uso de suelo no es posible frenarlo, es necesario analizar las afectaciones que este provoca a las funciones ecosistémicas de las áreas periurbanas, ya que las transformaciones que sufren los diferentes usos de suelo van acompañadas de modificaciones en sus funciones ecosistemas.

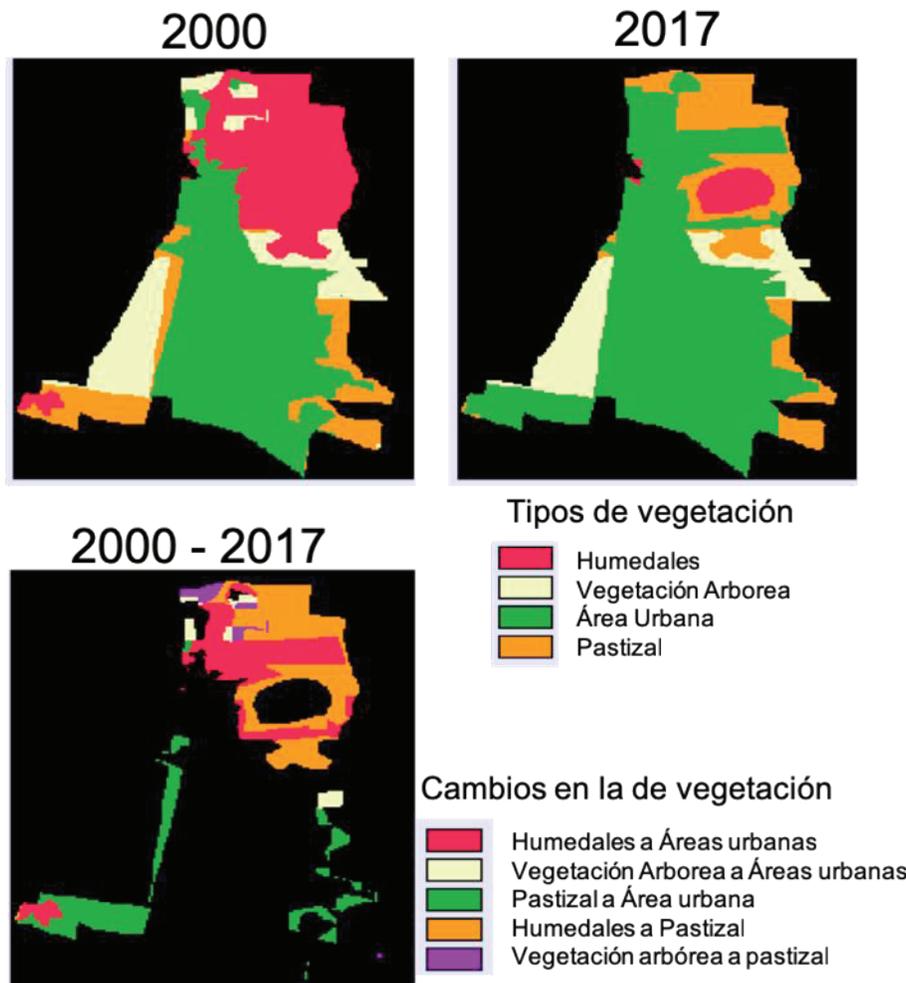
En la Figura 2, para el año 2000 se puede observar en el mapa una amplia zona al norte cubierta por HM que para 2007 se transformó en una AU y en PZ. Este último cambio se debe principalmente a las condiciones de temporalidad que en algún momento puede presentarse un estiaje prolongado que transforma el HM en PZ. Sin embargo, el problema principal se presenta en el AU, que por sus condiciones naturales representa una amenaza a la vivienda ante el embate de algún evento de precipitación pluvial prolongado.

### **Función Ecosistémica de Almacenamiento de C**

Los resultados de esta investigación ponen a los HM como el principal uso de suelo que cumple con la función de almacenar C, seguido de los PZ y la VA (Cuadro 2). Esto se debe a que los HM reciben aportes de materia orgánica, la cual al estar bajo condiciones anaeróbicas permanentes o temporales, presentan un bajo suministro de  $O_2$ , una baja tasa de mineralización, una mayor acumulación de C, así como una pérdida de N elemental en un ambiente reductor, que disminuye la tasa de mineralización, por lo que la acumulación de COS aumenta.

Se observa que la MOS de los humedales presenta una mayor relación C/N, con respecto a los PZ y la VA. Las relaciones C/N que oscilan entre 10-12, son propias de suelos agrícolas, praderas o de uso forestal poco fértiles con altas tasas de fertilización, debido a que constantemente están perdiendo C, además de recibir fuentes de N orgánicas o inorgánicas, mientras que en ambientes eutróficos como en los humedales, las relaciones C/N suelen ubicarse entre 15-17, tal a como también fue reportado por Gallardo (2016). Por otro lado, Maldonado (2004<sup>1</sup>), señala que los valores elevados de C/N que registran los HM semi-naturales, donde no se ha modificado la hidrología, mantienen un largo período de inundación y, por lo tanto, una baja tasa de mineralización. Además de que, en estos

<sup>1</sup> Maldonado, V. 2004. Descomposición de la fracción foliar de la hojarasca en un popal de la costa del Golfo de México. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México. 65 p.



**Figura 2. Mapas de vegetación y usos del suelo para el área analizada.** Superior izquierda, periodo 2000; superior derecha, periodo 2017; inferior izquierda, zonas de transición 2000-2017.  
**Figure 2. Vegetation maps and land uses for the analyzed area.** Upper left, year 2000; upper right, year 2017; lower left, transition zones 2000-2017.

ambientes, las especies propias del popal presentan una baja tasa de descomposición. El porcentaje de N total responde a la poca variación en el porcentaje de C almacenado, por lo que la mayor concentración de N reduce la relación C/N, lo que acelera los procesos de mineralización, y en consecuencia hay una mayor descomposición de la MOS, la cual es llevada a cabo por las bacterias que bajo estas condiciones inmovilizan este nutriente (Dinesh y Chaudhuri, 2013).

Como se puede observar en el Cuadro 3, en el suelo de la VA y del PZ, la mayor cantidad del COS y MOS se encuentra en la capa más superficial (0-10 cm), mientras que, en el humedal, los contenidos mantienen una distribución constante en toda la profundidad de 0-30 cm. Según, el análisis estadístico,

la variable densidad aparente ( $\rho_b$ ) muestra que no hubo diferencias significativas entre sistemas; sin embargo, entre profundidades si se observaron diferencias estadísticamente; siendo menor la  $\rho_b$  en la profundidad 0-10 cm, con respecto a las profundidades 10-20 y 20-30 cm respectivamente. En las tres profundidades, el HM fue el sistema que menor  $\rho_b$  registró (Cuadro 3).

Al respecto, Salvador *et al.* (2017) observaron que, a una mayor profundidad del suelo,  $\rho_b$  aumentan debido a que en la primera capa superficial (0-10 cm) hay un mayor contenido de MOS, por lo que se puede observar una mejor estructura del suelo. Por lo tanto, el mantenimiento de adecuados niveles de MOS contribuye a disminuir la  $\rho_b$  (Sakin, 2012).

**Cuadro 2. Variables edáficas que caracterizan el almacenamiento de C y calidad de MOS en tres sistemas del área periurbana Ocuiltzapotlán-Macultepec, Tabasco, México.****Table 2. Edaphic variables that characterize C storage and MOS quality in three systems of the peri-urban area Ocuiltzapotlán-Macultepec, Tabasco, México.**

Tratamientos	MOS	COS	N	C/N
	----- % -----			
VA	2.92±0.99 b <sup>†</sup>	1.69±0.58 b	0.18±0.04 a	9.40±1.70 b
PZ	3.39±0.62 b	1.96±0.36 b	0.19±0.03 a	10.31±1.95b
HM	5.72±0.99 a	3.32±0.57 a	0.20±0.06 a	16.60±5.19a
CV (%)	23	22	24	29

VA = vegetación arbórea; PZ = pastizal; HM = humedal. <sup>†</sup> Los valores de las medias con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas. VA = tree vegetation; PZ = grassland; HM = wetland. <sup>†</sup> Means with different letters indicate statistically significant differences.

La distribución vertical del COS fue significativamente superior en la profundidad de 0-10 cm para los tratamientos PZ y HM, el menor valor lo presentó la VA. Para la profundidad de 10-20 cm y de 20-30 cm el COS fue similar entre los tratamientos PZ y VA, siendo inferiores a la capa superficial edáfica. En el caso del HM se observó que en las profundidades 10-20 y 20-30 mantuvo su valor de COS, además mostró un ligero incremento en la concentración (Cuadro 3). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Céspedes *et al.* (2012), quienes encontraron que en PZ, el mayor contenido de COS se concentra en los primeros 20 cm, concentrándose del 41 al 62% del COS (COS encontrado a 1.0 m

de profundidad). En otro estudio Wei *et al.* (2012) indicaron que los PZ tras 20 años de establecimiento pueden llegar a acumular más del doble de la cantidad de COS que los suelos con vegetación secundaria de más de 50 años. Señalaron que en los pastizales más del 50% de la MOS se localizó en los primeros 20 cm, mientras que en la sucesión secundaria la MOS para esa misma profundidad del suelo fue de sólo el 23-31%. En el presente estudio (bajo las condiciones del trópico húmedo) los PZ y la VA mostraron este mismo comportamiento en su distribución vertical del COS. La variable de MOS, en la primera capa 0-10 cm no presentó diferencias estadísticas significativas sin embargo el PZ presenta el mayor valor seguido del

**Cuadro 3. Comparativo de  $\rho_b$ , COS y Mg COS ha<sup>-1</sup> según sistema y profundidad en el área periurbana Ocuiltzapotlán-Macultepec, Tabasco, México.****Table 3. Comparison of  $\rho_b$ , COS and Mg COS ha<sup>-1</sup> according to system and depth in the periurban area Ocuiltzapotlán-Macultepec, Tabasco, México.**

Tratamientos	Profundidad	$\rho_b$	COS	Mg COS ha <sup>-1</sup>
	cm	Mg m <sup>-3</sup>	----- % -----	
PZ	0-10	0.90±0.06 ab <sup>†</sup>	3.46 ± 0.30	31.7 ± 5.2 a
VA		0.83 ± 0.04 a	2.85 ± 0.14	23.4 ± 1.5 a
HM		1.04 ± 0.03 b	3.23 ± 0.14	33.8 ± 2.2 a
PZ	10-20	1.05 ± 0.04 ab	1.70± 0.23 a	36.1 ± 5.6 a
VA		0.90 ± 0.05 a	1.41± 0.15 a	24.8 ± 2.7 a
HM		1.18 ± 0.06 b	3.28 ± 0.20 b	75.6 ± 4.3 b
PZ	20-30	1.08 ± 0.12 a	0.72 ± 0.09 a	24.6 ± 4.6 a
VA		1.021 ± 0.07 a	0.81 ± 0.14 a	25.0 ± 4.3 a
HM		1.09 ± 0.04 a	3.43± 0.21 b	111.0 ± 7.3 b

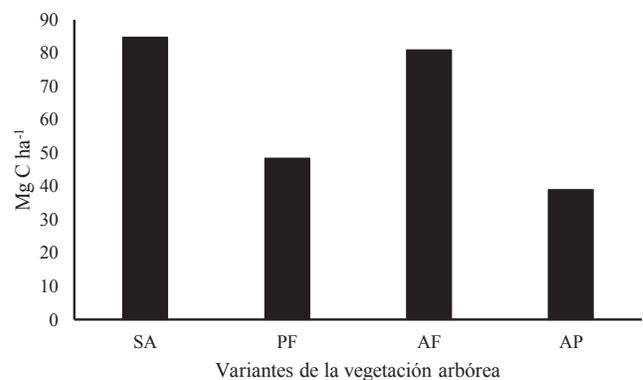
PZ = pastizal; VA = vegetación arbórea; HM = humedad. <sup>†</sup> Los valores de las medias con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas. PZ = grassland; VA = tree vegetation; HM = wetland. <sup>†</sup> Means with different letters indicate statistically significant differences.

HM y el menor valor lo presenta la VA (Cuadro 2). En las profundidades 10-20 y 20-30 cm se observa que el sistema de humedal (HM) estadísticamente es diferente que el PZ y la VA ya que conserva el mayor contenido de MOS (Cuadro 2). A este respecto Kayranli *et al.* (2010) observaron que en los suelos de humedales los promedios de descomposición de material orgánico suelen ser bajos por las condiciones anaerobias, por lo que su potencial de almacenamiento de C es alto como se observa en este trabajo. De acuerdo con Bounouara *et al.* (2017) los cambios de carbono orgánico del suelo dependen de su tipo, la posición topográfica, calidad y cantidad de vegetación producida e incorporada al suelo tanto en forma natural como a consecuencia de las actividades de habilitación del suelo como desmontes, aprovechamientos y quemas de residuos; por lo que en sitios de buena calidad se espera que su contenido sea mayor. En este sentido Adame y Fry (2016) indican que los humedales pueden almacenar grandes cantidades de carbono y son considerados sitios claves para el secuestro del carbono, aunque el secuestro potencial de los humedales es variable espacial y temporalmente y depende de los procesos asociados con la producción de carbono, preservación y exportación. Por otro lado, Thornley y Cannell (2000) establecen que las buenas prácticas de manejo juegan un papel muy importante en la cantidad y calidad de la materia orgánica del suelo, en las velocidades de descomposición y en los procesos de estabilización del carbono orgánico del suelo, por lo que hay mayor potencial de almacenamiento de COS cuando se siguen programas de manejo en los que se mantiene la cubierta forestal y se simula un comportamiento natural del bosque. Sin embargo, algunas prácticas silvícolas pueden reducir la cantidad de materia orgánica que llega al suelo, lo que da como resultado la disminución de las concentraciones de COS.

Sin embargo, habría que considerar que el uso forestal, no solo almacena C en el suelo, sino que la biomasa aérea es un compartimento que también cumple con dicha función, por ser una vegetación permanente de largo plazo. En este sentido, la VA del área evaluada presenta algunas variantes: relictos de selvas y acahuales (SA), plantaciones forestales (PF), árboles frutales (AF), así como parches de árboles en pastizales (AP). En estos sistemas, se identificaron las especies: *Acacia cornígera*, *Apium pedicellatum*, *Bursera simaruba*, *Cecropia obtusifolia*, *Ceiba pentandra*, *Cordia alliodora*, *Guazuma ulmifolia*, *Heliocarpus*

*Donnell-smithii*, *Lonchocarpus castilloi*, *Mangifera indica*, *Parmentiera aculeata*, *Rinorea guatemalensis*, *Samanea Saman*, *Tabebuia rosea*, *Tabernaemontana alba* y *Zanthoxylum riedelianum*, agrupadas en las familias: Bignoniaceae, Apocynaceae, Anacardiaceae, Burseraceae y Euphorbiaceae. De estas especies, las tres más abundantes son: *Tabernaemontana alba*, *Guazuma ulmifolia* y *Rinorea guatemalensis*. De acuerdo con los cálculos, en los usos forestales los relictos de SA junto con los parches de AF pueden llegar a almacenar cantidades por arriba de los 80 Mg C ha<sup>-1</sup>, mientras que las PF y los AP son los usos forestales que menos C almacenan en la biomasa (Figura 3).

En promedio la VA almacena 63.27 Mg C ha<sup>-1</sup>, adicionales al carbono edáfico acumulado, con ello se alcanzan las 136.47 Mg C ha<sup>-1</sup>, por lo que este uso de suelo pasa a ser el segundo almacén de C más importante, solo superado por el HM. Considerando que el uso de suelo forestal puede almacenar 136 Mg C ha<sup>-1</sup> en suelo y biomasa, y que el HM almacena 220.4 Mg C ha<sup>-1</sup>, la pérdida de superficie de estos dos usos de suelo en el área de estudio equivale a 14 483.62 Mg C, que se compensan con 1386 Mg C que se almacenan en los 150 000 m<sup>2</sup> de pastizales que se incrementaron durante el periodo evaluado, por lo que la pérdida de capacidad en almacenamiento de C provocado por el cambio de uso suelo, asciende a 13 097.62 Mg C.



**Figura 3. Carbono almacenado en la biomasa aérea de diferentes formas de vegetación forestal en el área periurbana Ocuilzapotlán-Macultepec, Tabasco, México.** SA = selvas y acahuales; PF = plantaciones forestales; AF = árboles frutales; AP = árboles en pastizales.

**Figure 3. Carbon stored in the shoot biomass of different forms of forest vegetation in the Ocuilzapotlán-Macultepec peri-urban area, Tabasco, México.** SA = jungles and acahuales; PF = forest plantations; AF = fruit trees; AP = trees in pasture.

## Regulación de los Flujos Hídricos

La pérdida del 11.48% de la superficie de los HM para dar paso a la apertura de nuevas áreas de pastizales y de área urbana, previamente había sido documentado por Galindo-Alcántara *et al.* (2009), quienes señalan que en Villahermosa, el crecimiento no planeado y la falta de políticas de desarrollo urbano, la insuficiencia de ingresos de gran parte de la población y la necesidad de vivienda, han fomentado la ocupación de asentamientos irregulares que ejercen presión sobre los HM con alto riesgo de inundaciones. Uribe-Alcántara *et al.* (2010), propusieron un índice de inundación, el cual involucra variables topográficas e hidrológicas. Su aplicación principal consiste en la identificación de HM, definidos como zonas perennes o efímeramente saturadas o inundadas; de acuerdo con este índice, la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta donde se encuentra el área de estudio, muestra una ampliación parcial, donde se puede apreciar aparentemente que toda esta región está en riesgo de inundación, por lo que es importante mantener las funciones ecosistémicas como vasos reguladores, que representan los HM. De acuerdo con Day *et al.* (2004), muchos humedales han sido utilizados como reservorios de basura y de desechos químicos, la mayoría han sido desecados para obtener 'tierra firme' sobre la cual construyen asentamientos humanos o son destinados a campos de cultivos y otros son víctimas de incendios provocados, por lo que de continuar con la tendencia de deterioro y cambio climático, en los humedales se mostrará una grave disminución de sus superficies y se estará expuesto a mayores inundaciones e impacto de los huracanes. Si bien muchos de estos HM no presentan una inundación permanente, en épocas de lluvias son capaces de almacenar volúmenes similares a los de una laguna de baja profundidad. Al respecto, De la Cruz *et al.* (2016), realizaron batimetrías a una laguna cuyo tirante de agua oscilaba en 1.5 m, por lo que, en una superficie de 178, 398.85 m<sup>2</sup>, la capacidad de almacenamiento del cuerpo de agua fue estimado en 213 044.202 m<sup>3</sup>. Por lo tanto, si se considera que en el área periurbana Ocuilzapotlán-Macultepec, se perdió una superficie de HM de 620 000 m<sup>2</sup>, la pérdida de capacidad de almacenamiento o de regulación de agua, se estima en 740 406.15 m<sup>3</sup>.

## CONCLUSIONES

Durante los años 2000-2017, las superficies de pastizales, humedales, vegetación arbórea y áreas urbanas en el área periurbana de Ocuilzapotlán-Macultepec, sufrieron modificaciones debido al cambio de uso de suelo, específicamente por la cesión de espacios de humedales y vegetación arbórea para incrementar los usos de áreas urbanas y pastizales, provocando la pérdida de las funciones ambientales de almacenamiento de carbono y agua en el caso de los humedales. En el componente edáfico, el carbono almacenado se estimó en 92.4±5.1, 73.2±2.8 y 220.4±4.6 Mg C ha<sup>-1</sup> para pastizales, vegetación arbórea y humedales respectivamente, principalmente en los 10 cm de la superficie, excepto en humedales donde el carbono se distribuye a 30 cm de profundidad. Sin embargo, la vegetación arbórea integra 16 especies forestales, agrupadas en cinco familias que almacenan adicionalmente 63.27 Mg C ha<sup>-1</sup> en el compartimento aéreo, alcanzando las 136.47 Mg C ha<sup>-1</sup> que lo posicionan como el segundo almacén de carbono, solo superado por los humedales. Considerando la capacidad de almacenamiento de carbono (C) en humedales y vegetación arbórea, la reducción de superficies de estos usos provoca una importante pérdida en la capacidad de almacenamiento de C y en la capacidad de regulación de agua en los humedales.

## LITERATURA CITADA

- Adame, M. F. and B. Fry. 2016. Source and stability of soil carbon in mangrove and freshwater wetlands of the Mexican Pacific coast. *Wetlands Ecol. Manage.* 24: 129-137. doi: 10.1007/s11273-015-9475-6.
- Avendaño-Hernández, D. M., M. Acosta M., F. Carrillo A. y J. D. Etchevers B. 2009. Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Rev. Fitotec. Mex.* 32: 233-238.
- Ávila S., H. 2009. Periurbanización y espacios rurales en la periferia de las ciudades. *Estud. Agrar.* 41: 93-123. Balcázar, A. E. 1994. Historia económica de Tabasco 1900-1940. pp. 409-677. *In:* R. López A. (coord.). Historia general de Tabasco. Tomo II. Historia Económica. Secretaría de Educación Cultura y Recreación. Gobierno del Edo. de Tabasco. Tabasco, México.
- Bounouara, Z., T. Chevallier, J. Balesdent, J. Toucet, M. Sbih, M. Bernoux, N. Belaisaoui, O. Bouneb, and R. Bensaid. 2017. Variation in soil carbon stocks with depth along a toposequence in a sub-humid climate in North Africa (Skikda, Algeria). *J. Arid Environ.* 141: 25-33.
- Cerda B., R., T. Espin C. y M. Cifuentes. 2013. Carbono en sistemas agroforestales de cacao de la Reserva Indígena Bribri de Talamanca, Costa Rica. *Agrofor. Amé.* 49: 33-41.

- Céspedes F., F., J. A. Fernández, J. A. Gobbi y A. C. Bernardis. 2012. Reservorio de carbono en suelo y raíces de un pastizal y una pradera bajo pastoreo. *Rev. Fitotec. Mex.* 35: 79-86.
- Chapman, H. and P. F. Pratt. 1997. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Trillas. México, D.F. 195 p.
- Chave, J., M. Réjou, M., A. Búrquez, E. Chidumayo, M. S. Colgan, W. B. C. Delitti, A. Duque, T. Eid, P. M. Fearnside, R. C. Goodman, M. Henry, A. Martínez Yrizar, W. A. Mugasha, H. C. Muller Landau, M. Mencuccini, B. W. Nelson, A. Ngomanda, E. M. Nogueira, E. Ortiz Malavassi, R. Pélissier, P. Ploton, C. M. Ryan, J. G. Saldarriaga, and G. Vieilledent. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biol.* 20: 3177-3190. doi: 10.1111/gcb.12629.
- Concha, J. Y., J. C. Alegre y V. Pocomucha. 2007. Determinación de las reservas de Carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú. *Ecol. Aplic.* 6: 75-82.
- Day Jr., J. W., J. Y. Koa, J. Rybczyk, D. Sabins, R. Bean, G. Berthelot, C. Brantleya, L. Cardoch, W. Conner, J. N. Day, A. J. Englande, S. Feagley, E. Hyfield, R. Lane, J. Lindsey, J. Mistich, E. Reyes, and R. Twilley. 2004. The use of wetlands in the Mississippi Delta for wastewater assimilation: a review. *Ocean Coastal Manage.* 47: 671-691. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2004.12.007.
- De la Cruz R., J. C., J. D. Mendoza P. y J. R. Hernández B. 2016. Estimación de la carga de sedimentos en suspensión de una laguna fluvial de Tabasco. *Kukulkab* 22: 39-44.
- De la Peña M., R. 2012. Historia mínima de Villahermosa. Dirección de Educación, Cultura y Recreación. H. Ayuntamiento de Centro 2010-2012. Villahermosa, Tabasco, México.
- Dinesh, R. and S. G. Chaudhuri. 2013. Soil biochemical/microbial indices as ecological indicators of land use change in mangrove forests. *Ecol. Indic.* 32: 253-258.
- Eastman, J. R. 2012. IDRISI Selva. Guía para SIG y Procesamiento de imágenes. Manual version 17. Clark University. Worcester; MA, USA. 321 p.
- Galindo-Alcántara, A., S. C. Ruiz A., A. Morales H., C. M. Gómez C., M. A. Salcedo M., M. Aguilar A., J. Valencia M. y M. Rodríguez C. 2009. Atlas de riesgos del municipio de Centro, Tabasco. Ayuntamiento Municipal de Centro, Secretaría de Desarrollo Social. Villahermosa, Tabasco, México. 125 p.
- Galindo A., A., S. Ruiz y A. Morales. 2013. Diagnóstico del potencial turístico cultural del Centro Histórico de la ciudad de Villahermosa. Informe Técnico. División Académica de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Fondo Mixto Conacyt-Gobierno del Estado de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México.
- Gallardo L., J. F. 2016. La materia orgánica del suelo. Residuos orgánicos, humus, compostaje y captura de carbono. Sociedad Iberoamericana de física y química ambiental. Salamanca, España.
- Penman, J., M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe, and F. Wagner. 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC. Japan. ISBN 4-88788-003-0.
- Kayranli, B., M. Scholz, A. Mustafa, and A. Hedmark. 2010. Carbon storage and fluxes within freshwater wetlands: A critical review. *Wetlands* 30: 111-124.
- MacGregor F., I. y R. Ortega A. 2013. Ecología urbana: Experiencias en América Latina. INECOL. México, D. F. ISBN: 978-607-00-6869-0.
- Moreno-Casasola, P. 2006. Las playas y dunas. pp. 205-220. In: P. Moreno-Casasola, E. R. Peresbarbosa y A.C. Travieso-Bello (eds.). Estrategia para el manejo costero integral: el enfoque municipal. CONANP y Gobierno del Estado de Veracruz. Xalapa, Veracruz, México. ISBN: 9707090391.
- Ordóñez, J. A. B. y O. Maser. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera Bosq.* 7: 3-12.
- Palomeque de la C., M. Á., A. Galindo Alcántara, E. Pérez Sánchez, A. J. Sánchez y M. J. Escalona M. 2017. Modelos geomáticos con base en transición para el análisis espacial en Villahermosa, Tabasco. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 8: 253-267.
- Pineda-López, R., N. Febvre y M. Martínez. 2010. Importancia de proteger pequeñas áreas periurbanas por su riqueza avifaunística: el caso de Mompaní, Querétaro, México. *HUITZIL* 11: 69-80.
- Ramos R., R., L. M. Gama C., J. C. Núñez G., R. Sánchez H., H. Hernández T. y O. Ruiz A. 2016. Adaptación del modelo de vulnerabilidad costera en el litoral tabasqueño ante el cambio climático. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7: 2551-2563.
- RAMSAR (Secretaría de la Convención de Ramsar). 2010. Políticas nacionales de humedales. Elaboración y aplicación de políticas nacionales de humedales. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales. Secretaría de la Convención de Ramsar. Gland, Suiza.
- Rodríguez-Laguna, R., J. Jiménez-Pérez, J. Meza- Rangel, O. Aguirre-Calderón y R. Razo-Zárate 2008. Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biósfera el cielo, Tamaulipas, México. *Rev. Latinoame. Recur. Nat.* 4: 215-222.
- Sakin, E. 2012. Organic carbon organic matter and bulk density relationships in arid-semi arid soils in Southeast Anatolia region. *Afr. J. Biotechnol.* 11: 1373-1377.
- Salvador M., P., R. Sánchez H., D. Sánchez G., U. López N., G. Alejo S., E. Valdés V., and J. F. Gallardo L. 2017. Evolution of soil organic carbon during a chronosequence of transformation from cacao (*Theobroma cacao* L.) plantation to grassland. *Acta Agron.* 66: 525-530.
- Sánchez M., A. 2005. Uso del suelo agropecuario y deforestación en Tabasco 1950-2000. Colección José N. Rovirosa. Biodiversidad, desarrollo sustentable y trópico húmedo. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. ISBN: 9685748675.
- Siegel, S. y N. J. Castellan. 1995. Estadística no paramétrica: Aplicada a las ciencias de la conducta. Trillas. México, D. F. ISBN: 9789682451010.
- StatPoint Technologies. 2010. Statgraphics centurion xvi manual de usuario. Inc. STATGRAPHICS. Warrenton, VA, USA.
- Thornley, J. H. M. and M. G. R. Cannell. 2000. Managing forests for wood yield and carbon storage: A theoretical study. *Tree Physiol.* 20: 477-484.
- Uribe-Alcántara, E. M., M. A. L. Montes-León y E. García-Celis. 2010. Mapa Nacional de índice de inundación. *Tecnol. Cienc. Agua* (antes Ingeniería Hidráulica en México) 1: 73-85.
- Wei, C. Z., H. F. Zheng, Q. Li, X. Lü, Q. Yu, H. Zhang, Q. Chen, N. He, P. Kardol, W. Liang, and X. Han. 2012. Nitrogen addition regulates soil nematode community composition through ammonium suppression. *PLoS ONE* 7, e43384. doi: 10.1371/journal.pone.0043384.

- Welz, J. y K. Krellenberg. 2016. Vulnerabilidad frente al cambio climático en la Región Metropolitana de Santiago de Chile: posiciones teóricas versus evidencias empíricas. *EURE Rev. Latinoame. Estud. Urbano Region.* 42: 251-272. doi: 10.4067/S0250-71612016000100011.
- Zamudio R., S. y M. A. Guadarrama O. 1985. La vegetación actual de la cuenca del río Usumacinta en el Estado de Tabasco. pp. 9-77. *In: Gobierno del Estado de Tabasco (ed.). Usumacinta: 1. Investigación científica en la cuenca del Usumacinta.* Villahermosa, Tabasco, México.
- Zanne, A. E., G. Lopez-Gonzalez, D. A. Coomes, J. Ilic, S. Jansen, S. L. Lewis, R. B. Miller, N. G. Swenson, M. C. Wiemann, and J. Chave. 2009. Global wood density database. *Dryad Digital Repository.* <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235> (Consulta: noviembre 1, 2018).
- Zavala-Cruz, J., M. A. Morales-Garduza, L. M. Vargas-Villamil, D. J. Palma-López y C. A. Ortiz-Solorio. 2016. Capacidad de uso del suelo urbano en planicies fluviales costeras: el caso de Villahermosa, Tabasco, México. *Interciencia* 41: 296-304.