



El Colegio de la Frontera Sur

Pérdida de humedales y percepción de los servicios ambientales en el área metropolitana de la ciudad de Villahermosa, Tabasco

TESIS

presentada como requisito parcial para optar al grado de
Maestro en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural
Con orientación en Manejo y Conservación de Recursos Naturales

Por

Antonio de Jesús Jiménez Hidalgo

2022



El Colegio de la Frontera Sur

Villahermosa, Tabasco; 15 de diciembre de 2022.

Las personas abajo firmantes, integrantes del jurado examinador de:

Antonio de Jesús Jiménez Hidalgo

hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada:

“Pérdida de humedales y percepción de los servicios ambientales en el área metropolitana de la ciudad de Villahermosa, Tabasco”

para obtener el grado de **Maestro en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural.**

Nombre

Firma

Director: Dr. Rodimiro Ramos Reyes

Codirector: Dr. Adalberto Galindo Alcántara

Asesor Dr. Everardo Barba Macías

Sinodal adicional Dr. Juan Carlos Alcérreca Huerta

Sinodal adicional Dr. Miguel Ángel Palomeque de la Cruz

Sinodal suplente Dr. Armando Avalos Jiménez

Sinodal suplente Dra. Silvia del Carmen Ruiz Acosta

Dedicatoria y agradecimientos

A mis padres y toda mi familia por brindarme todo su apoyo incondicional, paciencia y amor.

A mis directores de tesis el Dr. Rodimiro Ramos Reyes y al Dr. Adalberto Galindo Alcántara por la orientación brindada, además de compartir toda su experiencia y conocimientos durante todo el proceso de la maestría.

A mi asesor el Dr. Everardo Barba Macías y a los miembros del comité tutorial por el seguimiento, comentarios y sugerencias brindados para la elaboración de esta tesis.

A El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) por abrirme las puertas de esta gran casa de estudios y por haber hecho posible la colaboración con la División Académica de Ciencias Biológicas de la UJAT para poder realizar mi trabajo de tesis.

A mis compañeros por haberme ayudado, haber compartido sus ideas y puntos de vista. Son excelentes personas con las que tuve la oportunidad de convivir y aprender de ellos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado a través de la beca CV 1001550 que me permitió realizar mis estudios de maestría.

Índice

1. Introducción	1
2. Marco teórico	4
2.1 Humedales	4
2.2. Servicios ambientales	5
2.3. Impacto por urbanización.....	7
2.4. Vulnerabilidad.....	8
2.5. Sistemas de información geográfica (SIG) en los análisis de cambio y uso del suelo	8
2.6. Percepción socioambiental.....	9
2.7. Delimitación de la zona metropolitana	10
3. Justificación	11
4. Pregunta de investigación	11
5. Objetivos.....	12
5.1. General.....	12
5.2. Específicos.....	12
6. Materiales y métodos.....	12
6.1. Zona de estudio	12
6.2. Análisis Multitemporal de las coberturas dentro de la zona metropolitana de Villahermosa	14
6.2.1. Información espacial	14
6.2.2. Análisis y procesamiento de la información cartográfica	14
6.3. Análisis de la percepción de los servicios ambientales en la zona metropolitana de Villahermosa	16
6.3.1. Importancia sociocultural de los servicios ambientales	16
6.3.2. Método de ordenamiento de las unidades de paisaje.....	17

6.3.3. Método del Listado Libre	18
6.3.4. Matriz de evaluación	19
6.3.5 Percepción de los humedales	19
7. Resultados	20
7.1. Deterioro de las zonas de humedales	20
7.2 Zonas de vegetación arbórea	21
7.3. Crecimiento de la mancha urbana.....	22
7.4. Aumento de coberturas de pastizales	23
7.5. Análisis de la percepción de los humedales en la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco.	25
7.5.1. Ordenamiento de las unidades de paisaje.	25
7.5.2. Listado libre	26
7.5.3. Matriz de evaluación	27
7.5.4. Percepción de los humedales	29
8. Discusión.....	29
8.1 Dinámicas en las coberturas y usos del suelo en la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco.	29
8.2. Percepción de los humedales y los servicios ambientales en la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco.	33
9. Conclusiones.....	35
10. Bibliografía.....	36
11. Anexos.....	47
11.1. Encuesta sobre la percepción de los servicios ambientales en la ZMV.	47
11.2. Borrador cuestionario	48
11.3 Carta de consentimiento informado	49

11.4 Borrador artículo.....	50
-----------------------------	----

Índice de figuras

Figura 1 Mapa de ubicación de la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco. Elaboración propia.	13
Figura 2 Raster virtual de juego de bandas de la zona urbana de Villahermosa del año 2000-2020 – Infrarrojo. Elaboración propia.	15
Figura 3 Clasificación supervisada de la Zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco. Año 2000 y 2020. Elaboración propia.	21
Figura 4 Gráfica de coberturas de la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco. Elaboración propia.	23
Figura 5 Evolución del cambio y usos del suelo dentro de la ZMV del 2000 al 2020. a) Comunidad rural Cocoyol. b) Zona urbana de Villahermosa. Elaboración propia.	24

Índice de tablas

Tabla 1 Tipos de servicios ambientales (MEA 2005).....	6
Tabla 2 Usos por categoría de la Zona Metropolitana de Villahermosa.	22
Tabla 3 Información general de los participantes.	25
Tabla 4 Valoración de las unidades de paisaje.	26
Tabla 5 Listado de servicios ambientales mencionados en las entrevistas.	27
Tabla 6 . Matriz de evaluación de las unidades de paisaje de la ZMV.....	28
Tabla 7 Percepción de los humedales en relación con las unidades de paisaje según los habitantes de la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco.	29

Resumen

Esta tesis analiza la cobertura de humedales desde una perspectiva espaciotemporal en un periodo de 20 años (2000-2020) en la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco. Tiene como objetivo analizar las dinámicas en los cambios y usos del suelo mediante información espacial y cómo estas afectan a las zonas de humedales. Además de que se realizaron encuestas semiestructuradas a una parte de la población para analizar la percepción que poseen acerca de los paisajes de humedales y los servicios ambientales que estos proporcionan. Para esto se utilizaron métodos como el listado libre, la valoración de paisajes, matriz de evaluación y preguntas de opción múltiple.

Los resultados del análisis de percepción de la población indican que estos paisajes son considerados de gran importancia y proveedores de servicios ambientales vitales para la sociedad; A pesar de esto, la cobertura de humedales ha sufrido un gran deterioro debido al crecimiento periurbano y a las actividades antropogénicas como la agricultura y la ganadería.

1. Introducción

Los humedales son ecosistemas que debido a sus características hidrogeomorfológicas facilitan la acumulación de agua de manera temporal o permanente y da lugar a un tipo de suelo característico y permiten el desarrollo de biota como fauna silvestre y vegetación hidrófila adaptadas a estas condiciones (Vilardy et al. 2014; Keddy 2010).

Su importancia a nivel mundial es tal, que son los únicos ecosistemas que se encuentran regulados por una convención internacional enfocada en su conservación firmada en Ramsar, Irán en 1971 y de la que México forma parte (Secretaría de la Convención de Ramsar 2018). Este tratado ha permitido la implementación de políticas de protección y manejo a nivel internacional, regional y local; promoviendo estudios a niveles socioeconómicos, biofísicos, procesos de mapeo y desarrollo de inventarios (Secretaría de la Convención de Ramsar 2010). Estos ecosistemas son tan dinámicos y complejos debido a su alto grado de productividad y diversidad biológica. Son considerados sumideros y transformadores de elementos bioquímicos; son fuentes y suministro de agua, ayudan a la depuración de las aguas contaminadas; además, estos ecosistemas contribuyen enormemente en la captura de carbono lo que ayuda a combatir el cambio climático (Mitsch y Gosselink 2015). En la actualidad ha crecido el interés por el estudio y la conservación de los humedales, sobre todo por la necesidad de preservar los servicios y funciones ecológicos que proporcionan. Los humedales están entre los ecosistemas más amenazados a nivel mundial (Maltby 1991), han desaparecido un aproximado del 50 % de los humedales del planeta y hay regiones en las que se ha perdido el 99 % de este ecosistema (van der Valk 2012). En México se está haciendo un esfuerzo para conocer el estado actual de los humedales, garantizar su conservación y gestionar un mejor uso de sus recursos (Semarnat et al. 2009; Semarnat y Conanp 2017).

Los servicios ambientales son bienes y servicios que sustentan la vida obtenidos directa o indirectamente a través de las estructuras, procesos y funciones de los ecosistemas y activos naturales, que contienen una gran variedad de valores

correspondientes a sus funciones de servicio ecológico (Costanza et al. 1997). Los humedales son los ecosistemas más importantes de la tierra, ya que proporcionan una amplia gama de servicios ecológicos para la sociedad humana y un entorno de vida adecuado para las plantas y animales (Song et al. 2021). Esto hace que estos territorios sean los que mayor valor de servicios ambientales proporcionen por unidad de área (Costanza et al. 2014).

En vista de la constante expansión urbana se han realizado números estudios que analizan la intensidad de la transformación humana de la naturaleza (Arnold y Gibbons 1996), no solo se incluyen tierras de construcción urbana, sino que también incluyen edificaciones artificiales como carreteras, grandes estacionamientos, presas y embalses que a menudo se distribuyen fuera del área urbana. Comprender la ocupación directa de los humedales por la expansión de las zonas urbanas y su impacto en los servicios de los ecosistemas de humedales es valioso para explorar los efectos de las actividades humanas en el medio ambiente ecológico (Athukorala et al. 2021). El análisis del impacto hacia los humedales es crucial en la investigación porque permite determinar la evolución de los humedales a través del tiempo, que procesos ecológicos son los más afectados y es un indicativo de que tan efectivos son los esfuerzos de protección y conservación (Mao et al. 2018).

Por el estigma que se tiene de que son zonas pantanosas, los humedales son poco apreciados e incluso hasta son considerados como sitios peligrosos y hostiles (Quiva y Vera 2010). En lo que va del siglo XXI, han aumentado los estudios sobre la composición y funcionamiento de los humedales en México (Peralta-Peláez y Moreno-Casasola 2009); Sin embargo, poco se ha evaluado la forma en que las personas perciben sus recursos o los servicios que estos brindan. La percepción del medio ambiente se basa en el contexto en el que desarrollan sus estilos de vida. Algunos investigadores hacen hincapié a otras características como los hábitos, la moral y las creencias adquiridas en el medio en el que se vive (Harris 1996; Blázquez Entonado 2001). Es escasa la información que indagué en la percepción y actitudes sobre los humedales en México. Por lo tanto, la información existente de las percepciones de las comunidades con presencias de humedales resulta tener un enorme valor científico y académico. También es imperativo incentivar la acción

de los diferentes actores (sociedad, gobierno federal, estatal y municipal) para establecer planes de manejo que tengan el objetivo de conservar y proteger estos ecosistemas, además, que se busque mejorar las actitudes de la población hacia los humedales.

Por eso el objetivo de este trabajo es determinar el impacto que ha recibido la cobertura de humedales derivado del crecimiento periurbano y las actividades del ser humano. Y analizar la percepción que los habitantes de la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco acerca de estos ecosistemas y de los servicios ambientales que estos proveen. La información resultante será de ayuda para generar programas de manejo y educación ambiental para el aprovechamiento sustentable de los humedales.

2. Marco teórico

2.1 Humedales

Los humedales son zonas geográficas terrestres que se inundan de manera intermitente o permanente. El principal factor dominante del medio y de la vida animal y vegetal es el agua (Horwitz y Finlayson 2011). Los humedales como los manglares, ríos, marismas y turberas contribuyen a los medios de vida de las personas y proporcionan servicios ecosistémicos esenciales (Hernández Henao 2015). Dependiendo de la interacción que haya entre el agua, la vegetación y el suelo hídrico, se definen diferentes tipos de humedales, que junto con la geomorfología y el clima resultan en una gran variedad de características representativas (Wheeler et al. 2002).

El interés por comprender el funcionamiento y promover la conservación de los humedales ha aumentado en los últimos años, debido al reconocimiento de los servicios ecosistémicos que proveen y su papel clave en la adaptación y mitigación del cambio climático (de Groot et al. 2012). Los humedales ejercen el papel de purificadores y fuentes de agua, protegen de las sequías, inundaciones y muchos otros desastres, suministran alimento y medios de vida a millones de personas, almacenan más carbono que ningún otro ecosistema y son el hábitat de una rica biodiversidad de animales y plantas (Rivera Berganza 2014); Sin embargo, estos ecosistemas han sufrido severas modificaciones debido principalmente al cambio del uso del suelo y al cambio climático, alterando sus características bióticas y abióticas, procesos funcionales como la productividad, el almacenamiento de agua y almacenamiento de carbono (Bergh et al. 2001).

Los humedales costeros y continentales a escala mundial abarcan más de 12,1 millones de km², con un 46 % inundado de manera estacional y 54 % inundado de forma permanente; Sin embargo, en todo el mundo los humedales naturales han disminuido a largo plazo: entre 1970 y 2015, tanto los humedales marinos como los terrestres se redujeron en un 35 %. Por el contrario, los humedales artificiales como los embalses y arrozales en su mayoría se duplicaron. Esto último no compensa la pérdida de humedales naturales (Secretaría de la Convención de Ramsar 2018).

México se unió en 1991 al tratado internacional sobre los humedales, firmada en Ramsar, Irán. Este convenio sirvió como referencia para ejecutar las acciones nacionales e internacionales, en pro del uso racional y la conservación de los humedales, sus recursos y su biodiversidad. México cuenta actualmente con 142 sitios RAMSAR, según la Secretaría de la Convención Ramsar (Berlanga-Robles et al. 2008; La Secretaría de la Convención de Ramsar 2014; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2015). En México, los humedales perdieron cerca del 62 % de la cobertura nacional entre 2002-2008, más de la mitad de los estados que cuentan con superficies de humedales perdió el 50 % de cobertura. La cuenca baja del río Grijalva, ubicada en el estado de Tabasco, fue una de las cuencas en que más cobertura de humedales se perdió (Landgrave y Moreno Casasola 2011).

Los humedales cercanos a zonas urbanas proporcionan una amplia variedad de servicios ambientales; control de inundaciones, depuración de aguas, reposición de aguas subterráneas, recreación y turismo todos estos son de gran importancia para el bienestar de los seres humanos; A pesar de la importancia socioambiental, la degradación de los humedales urbanos prosigue principalmente a los cambios del uso del suelo provocados por la rápida urbanización y el aumento en las actividades antropogénicas (Camacho-Valdez et al. 2019).

2.2. Servicios ambientales

Los servicios ambientales o ecosistémicos son aquellos beneficios que la población humana obtiene de manera directa o indirecta de los ecosistemas (Challenger 2009), estos pueden clasificarse en cuatro grupos dependiendo del tipo de beneficio que proporcionan (Tabla 1). La dinámica entre las relaciones de los elementos abióticos y los animales, plantas y microorganismos que conforman los ecosistemas son las que generan los servicios ecosistémicos (Pineda 2009). La provisión de aire, agua y alimentos, que son los principales requerimientos para la vida y a los que los seres humanos estamos estrechamente vinculados, son servicios ambientales proporcionados por los mismos ecosistemas (Rey Benayas et al. 2015).

Tabla 1 Tipos de servicios ambientales (MEA 2005).

Soporte	Regulación	Suministro	Culturales
Son los servicios esenciales para producir los demás servicios	Beneficios proporcionados de la regulación del ambiente	Productos obtenidos de los ecosistemas	Beneficios no materiales proporcionados por la naturaleza
Formación del suelo	Regulación del clima	Alimento	Espirituales y religiosos
Ciclos biogeoquímicos	Control de enfermedades	Combustible	Estéticos
Producción primaria	Regulación del agua	Agua	Educativos
		Fibras	Recreación y ecoturismo

Los servicios ambientales que generan los humedales superan por mucho a los de los ecosistemas terrestres. Proporcionan agua dulce, fibras y combustible, así como alimentos esenciales como peces y arroz (Secretaría de la Convención de Ramsar 2018). Aunado a estos, los servicios de regulación influyen en los regímenes hidrológicos y en el clima, además de que reducen considerablemente tanto el riesgo de desastres como la contaminación (Camacho-Valdez et al. 2019). De igual manera, las cualidades naturales de los humedales poseen a menudo importancia espiritual y cultural, ofreciendo posibilidades turísticas y recreativas (Ángel Pérez et al., 2009).

Siendo reconocida la importancia de los servicios ambientales. El gobierno de México aplicó un proyecto de Pago por Servicios Ambientales (PSA), con el cual se buscaba incentivar a los dueños de terrenos donde se generan estos servicios, a conservarlos y protegerlos. A través de este mecanismo, se compensan los costos por disponerse a no realizar actividades que dañan a los ecosistemas, y se cubren los gastos que se requieren para ejercer prácticas de buen manejo del territorio. Para 2008 se habían implementado 463 proyectos de PSA siendo la planicie costera

y Golfo de México la región donde se ejecutaron el mayor número de estos (CONAFOR 2010).

2.3. Impacto por urbanización

El crecimiento demográfico es un tema extremadamente relevante en la agenda ambiental actual. Esta problemática está ligada al crecimiento urbano, el cual destaca por ser uno de los procesos socioambientales dominantes en la transformación y deterioro de los ecosistemas. Generan cambios de usos del suelo, reducción de los niveles de agua en las zonas de amortiguamiento y acuíferos, pérdida de hábitat y disminución de la biodiversidad, deforestación, erosión e improductividad de los suelos (Angeoletto et al. 2015). En este sentido, las ciudades extraen y transforman los recursos del medio ambiente para obtener insumos y energía, y usan al medio físico como depósito y almacén de residuos contaminantes (Ibarra et al. 1984). La modificación de los ecosistemas por el medio urbano depende de las características físicas y sociales de los espacios que los rodean, la magnitud de la expansión urbana, las formas de producción, y el contexto sociopolítico en que suceden estos procesos (Schteingart 1987).

En América Latina la mayor parte de la metropolización de las grandes ciudades aumentó durante los años noventa del siglo pasado, principalmente por el crecimiento demográfico local. En la primera década del siglo XXI, México fue considerado un país de alto grado de urbanización; por ejemplo, en 2005 el 83 % de la población urbana nacional estaba concentrada en cincuenta y siete zonas metropolitanas (Garza y Schteingart 2010). Por lo tanto, en México el crecimiento urbano en el centro y norte del país ha sido influenciado tanto por estímulos macroeconómicos como por la industrialización de los mercados. En cambio, el turismo y la producción de hidrocarburos promovieron el crecimiento de muchas ciudades costeras en el sur del país (Murillo y Martínez 2010). Otro estudio realizado en México por Rosete-Verges (2014), indica que la expansión urbana en México ha sido la actividad antropogénica con mayor impacto en los ecosistemas.

2.4. Vulnerabilidad

A pesar de los servicios ecosistémicos que los humedales proveen y los grandes beneficios económicos recibidos por invertir en su conservación y aprovechamiento, los proyectos de desarrollo urbano en Villahermosa en la segunda mitad del siglo XX continuaron con la fragmentación de humedales y el relleno de zonas de amortiguamiento de agua para el crecimiento de la mancha urbana, lo que ha provocado la pérdida de cientos de hectáreas de humedales (Palomeque et al. 2017a). En 2008, solamente el 24,4 % de los humedales en Villahermosa habían sido decretados como Áreas Naturales protegidas. Por lo que el resto quedó expuesto a seguir disminuyendo o desapareciendo por el crecimiento periurbano (Díaz Perera 2014). Del mismo modo, las inconsistencias legales y administrativas en los programas de desarrollo urbano y ambiental representan un obstáculo, unido a la insuficiente inversión y resultados inesperados en estos, vinculados con la carencia de gobernanza municipal (Henny y Meutia 2014). Adicionalmente, la inoperatividad de los programas y acciones de conservación, restauración y educación ambiental en los humedales bajo protección dentro de los parques y sin regulación del gobierno del estado, se ha reflejado en que desde el inicio de la década de los noventa se ha registrado una disminución en la fauna acuática e incluso una hipertrofia en la presencia de contaminación fecal y metales (Sánchez et al. 2012). Estas condiciones de perturbación ambiental y pérdida de biodiversidad han sido frecuentemente relacionadas con la fragmentación de los humedales en zonas urbanas y el manejo inadecuado de las aguas de escorrentía y residuales. Esto se debe principalmente, a los cambios de actitud de la población con respecto al valor de los ecosistemas y a la percepción que tienen de los beneficios o servicios que reciben de estos, aunado a que la importancia que le dan a estos ecosistemas radica en lo estrecha que sea su relación y el contexto cultural y social (Bekessy et al. 2012).

2.5. Sistemas de información geográfica (SIG) en los análisis de cambio y uso del suelo

Analizar las dinámicas en el cambio y usos del suelo, de manera multitemporal, en una determinada área geográfica, permite deducir el crecimiento de los sistemas

naturales o el impacto que tienen las acciones humanas sobre el entorno. En la mayoría de los casos, al realizar este tipo de análisis se observa que la urbanización, la agricultura y la ganadería son las principales actividades antropogénicas que degradan los ecosistemas (Ruiz et al. 2014). En la cuenca baja del río Grijalva se observa este mismo patrón, mostrando una tendencia a la conversión de la cobertura vegetal nativa a pastizales y especies agrícolas y la expansión de la ganadería y la mancha urbana (Jiménez et al. 2018).

Las herramientas de los SIG proporcionan un apoyo en el análisis de los cambios y usos del suelo, además, son extremadamente útiles en la planeación del ordenamiento territorial y urbano (Erba 2006). La administración de la información espaciotemporal es una de las principales razones para emplear los SIG. Esta herramienta es capaz de dividir los datos en diferentes capas temáticas y almacenarlas de forma independiente, lo que facilita trabajar con ellas de manera sencilla y rápida. Esto permite relacionar la información topológica de los datos analizados, para obtener un objeto nuevo con las características que se desean y que no pueden generarse de otra manera (Pineda Pastrana 2011). Por su versatilidad y amplio campo de aplicación, los SIG se utilizan en la mayoría de las investigaciones que requieren un análisis espaciotemporal y también son usados en el ordenamiento territorial y urbano. La reciente evolución de las nuevas tecnologías, han provocado el desarrollo exponencial de esta herramienta (López-Blanco et al. 1995; Fernández y Del Río 2011).

2.6. Percepción socioambiental

En el mundo, en las últimas décadas, se ha comenzado a discutir sobre el cambio climático y el impacto ambiental debido al creciente deterioro de los ecosistemas, causado principalmente por el actuar humano, poniendo en peligro su propia supervivencia y la de muchas otras especies (Borroto Pérez et al. 2011). La percepción de las personas sobre el ambiente es la que define las actitudes, sensibilidad y moderación de las acciones que ejercen en el entorno. Así es como la percepción socioambiental determina el entorno de manera holística, poniendo prioridad en las múltiples experiencias que un individuo o la sociedad puede tener

en correlación con su ambiente (Khizam 2008). Es necesario promover una conciencia socioambiental, orientada a convivir adecuadamente con el entorno, apreciarlo, conservarlo y transformarlo sin necesidad de provocar con esto, que las generaciones futuras no dispongan de las mismas oportunidades (Pérez y Sánchez 2006). Con la educación ambiental se procura que las personas y la comunidad adquieran conciencia de su ambiente y apliquen los valores, conocimientos, voluntad y experiencia que les dé la oportunidad para actuar como sociedad para resolver los problemas actuales y futuros de su entorno (Avendaño y William 2012).

El valor que una persona le da al ambiente está íntimamente relacionado a lo estrecha que sea su relación con él. Es decir, una persona que vive en el campo, el cual obtiene su sustento y modo de vida del entorno que lo rodea, tendrá una mayor conciencia y le otorgará un gran valor al ambiente, a comparación de una persona que vive en la ciudad (Marín Muñiz et al. 2016).

2.7. Delimitación de la zona metropolitana

Según la CONAPO (2018), un área metropolitana es aquella ciudad localizada entre dos municipios con una población mínima de 100 mil habitantes y donde se realizan un gran número de actividades económicas que sobrepasan los límites del municipio. Además de que existen relaciones socioeconómicas con los municipios vecinos, sobre todo con los urbanos.

Para el análisis y la delimitación de la zona urbana se utilizarán las herramientas de los sistemas de información geográfica. Los cuales son muy útiles para la integración de múltiples capas de información vectorial. En la delimitación realizada por la SEDATU (2018) y en años anteriores se emplearon capas de información como imágenes satelitales, la capa de la Red Nacional de Caminos, el Área Geoestadística Municipal (AGEM) y el Área Geoestadística Estatal (AGEE). Además, en este último ejercicio de delimitación de las zonas metropolitanas, se hace un énfasis en como los procesos de urbanización han modificado la realidad del país generando nuevas zonas metropolitanas y ampliando las ya existentes. Los cambios se dan principalmente por el desarrollo en la infraestructura de

comunicaciones y transporte; así como por las actividades de industrialización (Larrosa Rocamora 2012 Dec 17).

3. Justificación

Ya se han llevado a cabo investigaciones acerca de la pérdida de humedales y vegetación en el estado de Tabasco, así como la clasificación de los tipos de humedales que se encuentran en este territorio. Esto ha servido para tener una percepción más amplia de los impactos que han sufrido estos ecosistemas ocasionados principalmente por las actividades antropogénicas y el cambio climático; Sin embargo, no se ha estudiado estos cambios en un área de tanta importancia como la zona metropolitana de Villahermosa donde se llevan a cabo actividades económicas de gran desarrollo.

Estos tipos de estudios son importantes para generar información acerca de las dinámicas del cambio y usos de suelo que de usarse de manera correcta conlleva a generar programas de crecimiento y desarrollo urbano más eficientes y mejor adaptados a la conservación y cuidado ambiental. Lo que este estudio busca es analizar el deterioro de las coberturas de humedales y que estos datos ayuden a la conservación y protección estos ecosistemas que proporcionan una gran cantidad de servicios ambientales y que esto se traduzca en bienestar socioeconómico para los habitantes de esta zona.

4. Pregunta de investigación

¿Cuál es el grado de deterioro de las coberturas de humedales dentro de la zona metropolitana de Villahermosa debido a las dinámicas de cambios y usos del suelo entre los años 2000 y 2020?

¿Cuál es la percepción que tienen los habitantes de la zona metropolitana de Villahermosa acerca de los humedales y los servicios ambientales en comparación con otras unidades de paisaje?

5. Objetivos

5.1. General

Analizar los cambios y usos del suelo en las coberturas de humedales y la percepción de los servicios ambientales de los habitantes de la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco.

5.2. Específicos

Realizar un análisis espaciotemporal de las dinámicas en los cambios y usos del suelo en la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco en un periodo del 2000 al 2020 que permita determinar el nivel de deterioro de las coberturas de humedales.

Aplicar entrevistas semiestructuradas que permitan analizar la percepción acerca de los humedales y los servicios ambientales de los habitantes que la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco en comparación con otras unidades de paisaje.

6. Materiales y métodos

6.1. Zona de estudio

El estado de Tabasco se encuentra en el sureste de la república mexicana y abarca desde las montañas del norte de Chiapas, hasta las llanuras costeras del Golfo de México (Figura 1). Tiene una población de 2,402,598 habitantes, lo cual representa el 1.9% del total del país (INEGI 2021). El trabajo se realizó en la ZMV, Tabasco. Conformado por los municipios de Centro y Nacajuca con un territorio de 225,308.6 ha ubicados entre las coordenadas 17°59'33" N y 92°57'11" O (Linares Zarco 2012). La zona de estudio colinda por el oeste con los municipios de Jalpa de Méndez y Cunduacán; al este con Macuspana; al sur con Jalapa y Teapa y por el norte con Centla, así como también con el vecino estado de Chiapas (Ramos y Palomeque 2019). En la cuenca baja del río Grijalva, la zona metropolitana de Villahermosa representa uno de los cuatro ecosistemas más importantes (Jiménez et al. 2018). La ubicación de la ZMV, cuyo territorio es atravesado por importantes ríos y sistemas lagunares, acentúan la relevancia en la conservación de su vegetación,

humedales y zonas de amortiguamiento de aguas como prestadores de vitales servicios ecosistémicos para los asentamientos humanos (Palomeque-De la Cruz et al. 2017). En la ciudad de Villahermosa se encuentran 13 sistemas de lagunares de contacto y fluviales vinculados a los ríos Carrizal, Mezcalapa-Viejo y Sierra-Grijalva (Palomeque et al. 2017b); Sin embargo, el crecimiento periurbano ha ocasionado la constante modificación de la fisiografía de planicies y pantanos. Por lo que ha habido un aumento en la vulnerabilidad por inundaciones en muchas zonas de la mancha urbana (Perevochtchikova y Lezama 2010).

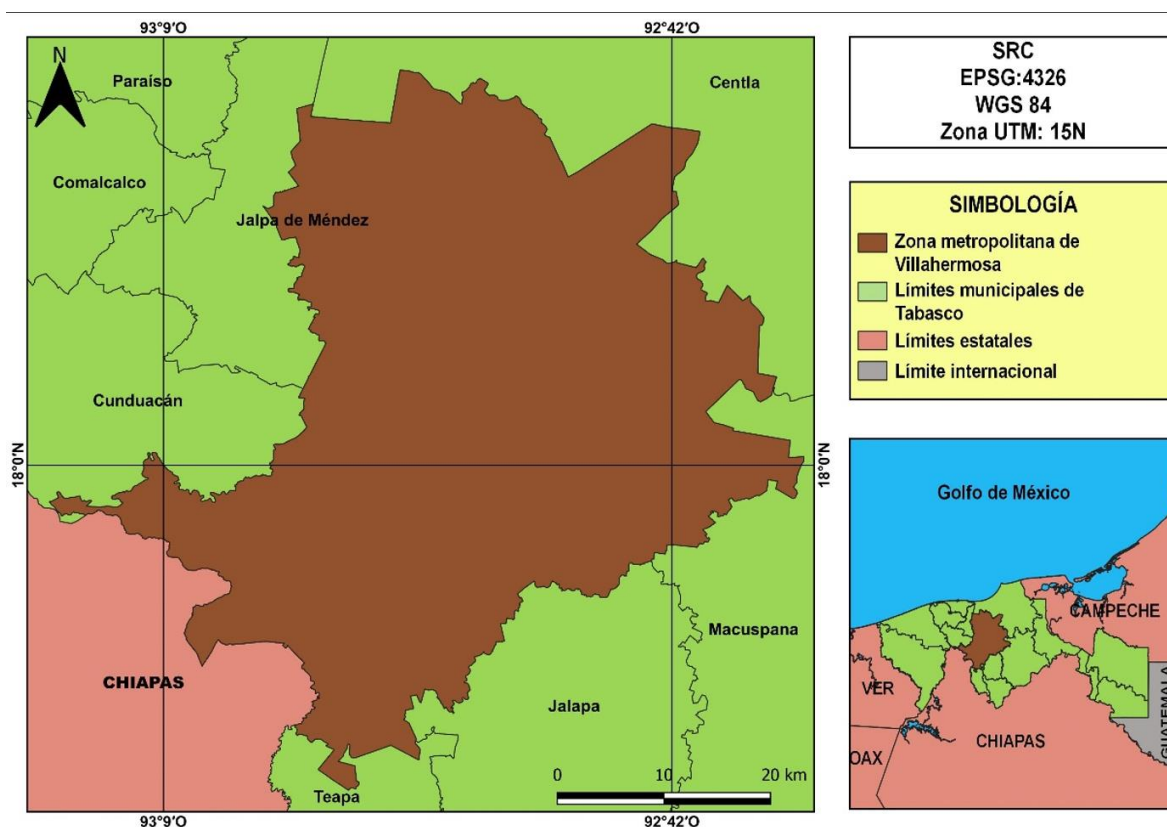


Figura 1 Mapa de ubicación de la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco.

6.2. Análisis Multitemporal de las coberturas dentro de la zona metropolitana de Villahermosa

6.2.1. Información espacial

Los datos utilizados incluyen imágenes satelitales LANDSAT 5 y LANDSAT 8 del área de estudio de los años 2000 y 2020, así como también la división política municipal del año 2020 de la república mexicana. Las imágenes de satélite se descargaron del sitio web oficial del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) ([GloVis \(usgs.gov\)](https://glovis.usgs.gov)). Las fechas de las imágenes son del 14 de febrero para el año 2000 y el 05 de febrero para el 2020 durante el periodo de secas. Mientras que la información de la división política municipal se descargó del Portal de Geoinformación de la CONABIO ([Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad \[14,117\] - CONABIO](#)).

Se utilizaron un total de 4 imágenes LANDSAT con un datum de WGS84 y una proyección UTM zona 15 en formato raster, para obtener la información de la cobertura terrestre de los dos periodos deseados. Por otro lado, se utilizó información vectorial a una escala de 1:250000 para obtener la información de los límites y la superficie de la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco.

6.2.2. Análisis y procesamiento de la información cartográfica

Un punto que cabe señalar es que la mayoría de los humedales están lidiando con sequías debido al cambio climático; por lo que algunas partes dentro de la zona se han secado permanentemente. Además, otras partes de estas zonas se secan temporalmente en algunos meses del año. Por esta razón es difícil determinar la degradación temporal y permanente de los humedales (Moya et al. 2005).

Para determinar las coberturas de humedales dentro de la zona metropolitana de Villahermosa y los cambios que estos han tenido a lo largo de 20 años. Se procesaron las imágenes satelitales en el software QGIS 3.16.2 y con ayuda del comando “Juego de bandas” se crearon dos raster virtuales de juego de bandas con la combinación 5, 4 y 3 para las imágenes del 2000 y con combinación 4, 3 y 2 para

las imágenes del 2020 (Qin et al. 2021; Glenn et al. 2016). De esta manera se generaron imágenes raster con filtro infrarrojo (Figura 2), el cual es útil para reconocer los límites entre los cuerpos de agua y suelo, también es sensible a la cobertura vegetal mostrando en distintas tonalidades de rojo. Los cuerpos de agua se representan en tonos oscuros azulados, dependiendo de la cantidad de sedimentos en suspensión. Mientras que las áreas urbanas o asentamientos humanos se muestran en colores más claros y brillantes (Al-Masaodi y Al-Zubaidi 2021 may; Naim y Kafy 2021).

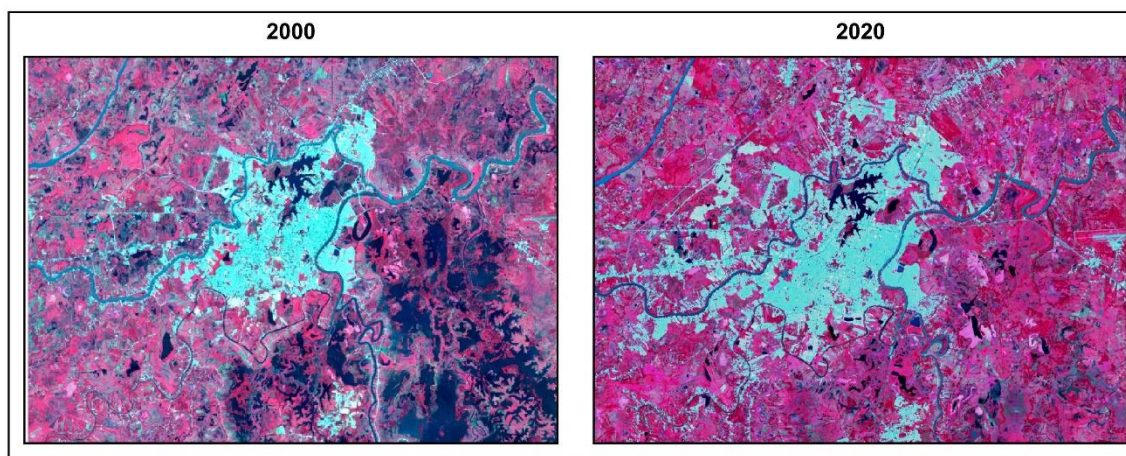


Figura 2 Raster virtual de juego de bandas de la zona urbana de Villahermosa del año 2000-2020 – Infrarrojo.

Una vez que se obtuvo la vista infrarroja de la zona de estudio, se procedió a usar el comando SPC Dock para realizar la clasificación supervisada de las coberturas que existen en las imágenes del 2000 y 2020. Para llevar a cabo la clasificación supervisada mediante QGIS primero se crea un archivo en formato ROI de “entrenamiento”, en el cual se cargaron las categorías de las diferentes coberturas (Martínez-Santos et al. 2021; Garilli et al. 2021). Se generaron polígonos de muestra sobre el raster virtual que funcionaron como guía para que el comando hiciera la clasificación supervisada. Para este estudio se definieron 4 categorías: Asentamientos humanos, humedales, vegetación arbórea y pastizales los cuales cualifican de manera contundente las observaciones hechas en las imágenes satelitales (Domínguez et al. 2019).

Ya habiendo definido las categorías y guardado las firmas de bases en el archivo ROI se procedió a utilizar el comando “Clasificación” de las herramientas de “Band processing” para generar los raster con las clasificaciones de las coberturas.

Por otra parte, con la información vectorial de la división política de México, se extrajeron los límites de los municipios de Centro y Nacajuca los cuales conforman el área de la zona metropolitana de Villahermosa. Ya con el límite de la zona metropolitana y con los raster obtenidos de la clasificación supervisada, se procedió a utilizar el comando “cortar raster por capa de mascara” de las herramientas de “extracción” de Raster. El resultado final fueron los datos de la cobertura de la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco. Con estos datos se realizó un análisis general de la dinámica de cambio y usos suelo en un periodo de 20 años.

Para calcular la Tasa anual de cambio se utilizó la fórmula de Palacio-Prieto (2004), la cual se expresa de la siguiente manera: $TC = [(S2/S1)^{(1/n)} - 1] * 100$, donde, TC= Tasa anual de cambio; S2= superficie en ha del periodo final; S1= superficie en ha del periodo inicial y n= el tiempo en años transcurrido entre los dos periodos.

6.3. Análisis de la percepción de los servicios ambientales en la zona metropolitana de Villahermosa

6.3.1. Importancia sociocultural de los servicios ambientales

Para analizar la percepción de los servicios ambientales de los habitantes de la zona metropolitana de Villahermosa se aplicaron entrevistas semiestructuradas a un total de 90 personas. Se procuró que los entrevistados representaron a la población joven, adulta y adulta mayor. Un aspecto muy importante fue que las personas entrevistadas tuvieron una completa disposición en participar. Además, se les pidió a los participantes que firmaran una carta de consentimiento informado (formato anexo) dando su autorización para utilizar la información obtenida en esta encuesta. La primera parte de las entrevistas consistió en recopilar información básica de los participantes: edad, sexo y escolaridad. Seguidamente, se aplicaron las cuatro técnicas para el análisis de la percepción: 1) Ordenamiento de las unidades de paisaje; 2) Listado libre; 3) Matriz de evaluación y 4) Percepción de los humedales.

El formato de la entrevista se encuentra en la información anexa. El trabajo se centró en analizar la percepción que tienen los habitantes de la ZMV acerca de los servicios ambientales que proporcionan los humedales en comparación con otras unidades de paisaje como la vegetación arbórea, los pastizales y los asentamientos humanos. Dentro de la ZMV habitan 830,000 personas aproximadamente, por lo que el tamaño de la muestra utilizado podría no reflejar la percepción real de toda la población. Por lo que sería factible hacer más repeticiones de las entrevistas para robustecer los datos.

La cobertura de humedales se dividió en 3 paisajes para que los participantes pudieran identificarlos con mayor facilidad: Lagunas (humedales lacustres), ríos (humedales ribereños) y pantanos (humedales palustres) (Barba-Macías et al. 2006). Con la finalidad de realizar las cuatro técnicas de valoración se definieron 6 unidades de paisaje (UP), las cuales representan perfectamente las encontradas dentro de la ZMV. Por lo cual, las UP utilizadas quedaron de la siguiente manera: Lagunas (LA), Ríos (RI), Pantanos (PA), Vegetación arbórea (VA), Pastizales (PZ) y Asentamientos humanos (AH). Ya fijadas las UP se buscaron imágenes que los participantes pudieran identificar fácilmente (Figura 3). A cada persona se le preguntó si podía reconocer cada una de las imágenes. Si respondían afirmativamente a esta cuestión se procedía a continuar con la entrevista.

6.3.2. Método de ordenamiento de las unidades de paisaje

Esta técnica permite conocer el favoritismo de las personas acerca una unidad de paisaje sobre otra. Consiste en pedirle a los participantes que organicen las imágenes de las seis UP de manera que la primera sería la de mayor importancia y la última la de menor importancia. A la primera posición considerada por los participantes como la más importante se le asignó el valor de 6, que es el número total de UP para este estudio. Mientras a la última posición que representa la de menor importancia se la asigna el valor de 1. Al final, se calcula el promedio para cada UP para atribuir el nivel de importancia que cada una tiene dentro de la zona metropolitana de Villahermosa indicada por sus habitantes. De manera adicional se puede calcular la desviación estándar de cada UP.

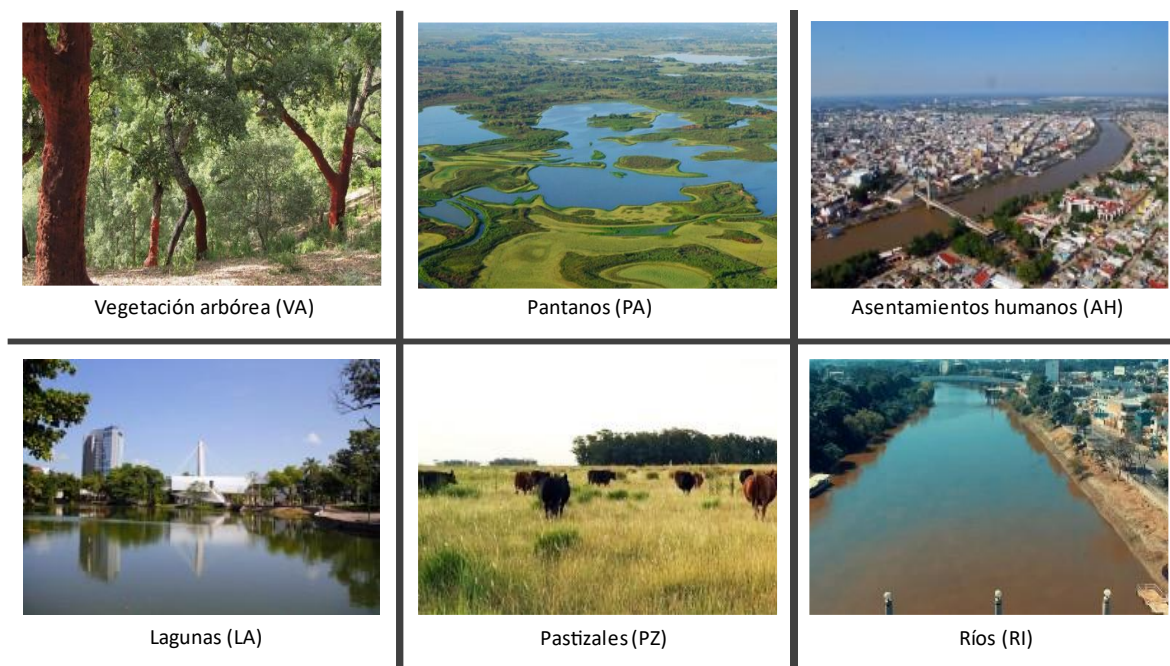


Figura 3 Fichas mostradas a los participantes para el análisis de la percepción.

6.3.3. Método del Listado Libre

El método del listado libre o free-listing, permite realizar una lista con todas aquellas respuestas que las personas consideren importantes al realizar una pregunta abierta, en este caso acerca de los servicios ambientales (Fagerholm et al. 2016). La pregunta hecha a los participantes fue: ¿Qué cosas valiosas, útiles buenas o importantes obtiene dentro de su comunidad por parte de las unidades de paisaje antes mencionadas o de la naturaleza en general? Para obtener el listado de los servicios ambientales desde el punto de vista de los actores locales, las respuestas se organizaron según la semántica. El listado se analizó utilizando los indicadores de riqueza (número de servicios), abundancia (porcentaje de participante que mencionaron cada servicio) y diversidad (índice de Shannon-Wiener).

Índice de Shannon-Wiener

$$H = -\sum p_i (\ln p_i)$$

Donde: H representa la diversidad, p_i = proporción de los servicios ambientales mencionados en comparación con el total de la lista. El índice nos proporcionará un valor entre 0 y 5, entre más cercano sea el valor a 5 mayor será la diversidad.

6.3.4. Matriz de evaluación

Esta matriz de evaluación se ejecutó con base en lo planteado por Burkhard et al. (2014). Esta técnica se adaptó para realizar un análisis sociocultural, dando por hecho la idea de que los habitantes de la ZMV son los expertos locales en los servicios y bienes que brindan las UP dentro de esta zona (Burkhard et al. 2015). Para esta técnica se enlistaron los 20 servicios ambientales más mencionados según la bibliografía. Se formuló una pregunta con relación a cada servicio y se les pidió a los participantes que señalaran con ayuda de las fichas cual o cuales UP proporcionaban dicho servicio, sus respuestas se anotaron en el formato. Por ejemplo, para el servicio ambiental de provisión de oxígeno se preguntó, ¿Cuáles de las UP proporciona el aire u oxígeno que respiramos?

De esta manera, se reconoce que UP es considerada por la población de la ZMV como más importante en términos socioculturales tomando en cuenta la cantidad de servicios ambientales que provee. Las ponderaciones se plantearon como: 5= de 73 a 90 participantes, que se considera de muy alta importancia; 4=de 55 a 72, alta importancia; 3=de 37 a 54, importancia media; 2= de 19 a 36, baja importancia; 1=de 1 a 18, muy baja importancia. En los casos donde ningún participante mencionara la provisión, se consideró como un valor 0=sin importancia. Así se determina cual UP es más importante para los habitantes de la ZMV según cuantos servicios ambientales proporciona.

6.3.5 Percepción de los humedales

Para este método también se utilizó el apoyo de las fichas con las imágenes de las UP. En esta ocasión se les pidió a los participantes que señalaran de acuerdo con su percepción ¿Cuál o cuáles de los paisajes presentados son humedales? Las respuestas de los entrevistados fueron anotadas en el formato anexo. Con este método se buscó identificar cuáles de los paisajes son considerados como

humedales según el criterio de los habitantes de la ZMV. Los participantes respondieron conforme sus conocimientos previos o a como asociaban la palabra humedal con las UP mostradas.

7. Resultados

7.1. Deterioro de las zonas de humedales

Los resultados muestran que hubo una gran pérdida de cobertura por parte de los humedales, al igual que de las zonas con cubierta vegetal arbóreo (Figura. 5). Estas coberturas disminuyeron en gran medida para darle paso a los pastizales y al crecimiento de la mancha urbana. Para este estudio, la jerarquía de las categorías no cambio con respecto a los periodos establecidos. El pastizal se mantuvo como la categoría dominante tanto en el año 2000 como en el 2020; seguido de la vegetación arbórea; en tercer lugar, lo ocupó los humedales y, por último, pero no menos importante los asentamientos humanos.

Como se puede apreciar en la figura 3, los humedales cercanos a la zona urbana de la ciudad de Villahermosa se perdieron. Esto como consecuencia de la creciente práctica de rellenar y fragmentar las zonas de amortiguamientos y cuerpos de agua, para luego ser utilizados en actividades antropogénicas como agricultura y ganadería o para el crecimiento periurbano.

Los humedales pasaron de ocupar un territorio de 33 822 ha, a reducirse a tan solo 11,193 ha para el año 2020 (Tabla 2). Es decir, que los humedales perdieron un equivalente al 67% (22 629 ha) de su territorio. Con una tasa anual de cambio de - 5.37%, los humedales se reducen a un ritmo alarmante, desapareciendo aproximadamente 1 131 ha al año. Estos ecosistemas son unos de los más afectados por mega tendencias como la urbanización, el cambio climático y el crecimiento demográfico.

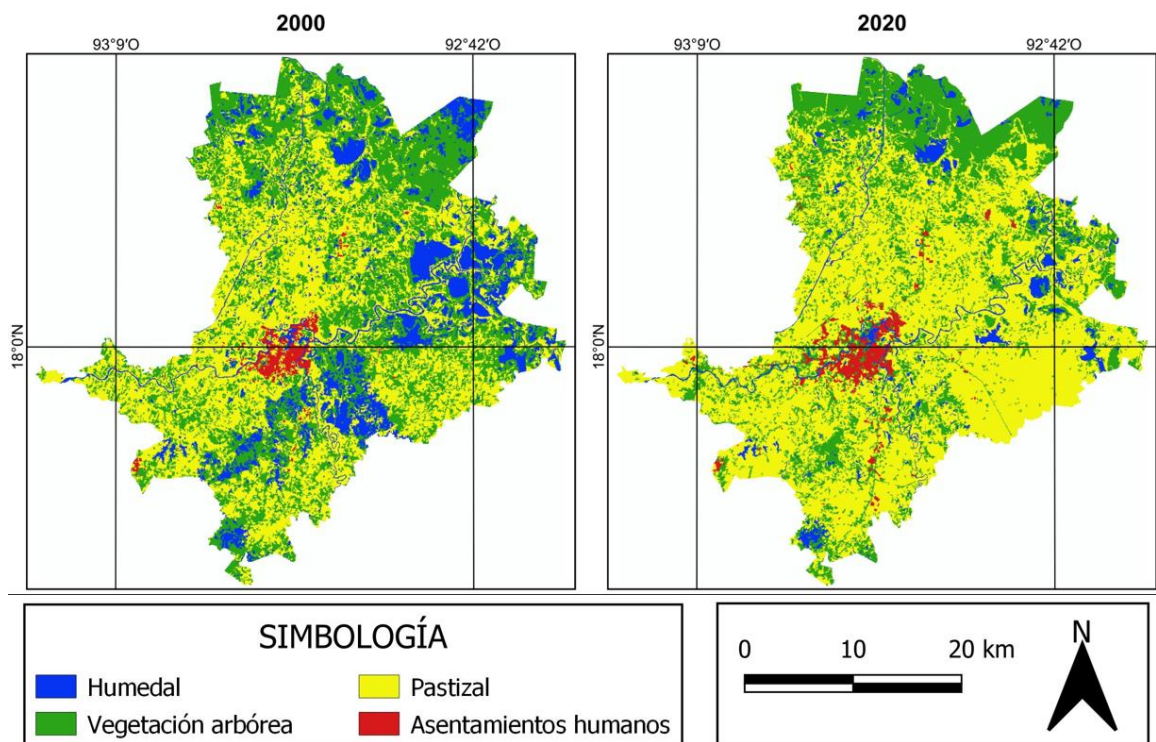


Figura 4 Clasificación supervisada de la Zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco. Año 2000 y 2020.

7.2 Zonas de vegetación arbórea

De igual manera, la vegetación arbórea ha sido una de las coberturas terrestres más afectadas por las actividades antropogénicas. En este caso, las zonas con vegetación arbórea tuvieron una pérdida total de 22 364 ha en el lapso del 2000 al 2020 (Tabla 2). Al principio de este periodo esta categoría contaba con un territorio total de 91 936 ha que representaban el 41% de la ZMV (Figura 5); Sin embargo, para el año 2020 este territorio se redujo a tan solo 69 572 ha. Esto quiere decir que las zonas con cobertura vegetal arbórea perdieron un aproximado de 24.3% de su territorio inicial. Esta categoría presentó una tasa anual de cambio de -1.38%, lo cual es equivalente a una pérdida de 1 118 ha al año (Tabla 2).

Al compararse el número de ha pérdidas de la vegetación arbórea con la de los humedales, podemos observar que presentar una diferencia mínima de tan solo unas 300 ha aproximadamente; Sin embargo, proporcionalmente los humedales

exhiben un impacto mucho mayor, ya que estos perdieron alrededor del 67% de su territorio inicial en comparación a la vegetación arbórea que perdió el 24.3%. Esto no minusvalora el obvio deterioro que la vegetación arbórea manifiesta, sino que, por el contrario, es una muestra de que el impacto ambiental se extiende sobre una gran variedad de ecosistemas.

Tabla 2 Usos por categoría de la Zona Metropolitana de Villahermosa.

2000			2020			Diferencia		Tasa anual de cambio	
Categoría	Ha*	%	Categoría	Ha*	%	Pérdida*	Ganancia*	%	Ha*
Humedal	33.8	15.0	Humedal	11.2	5.0	22.6	n/a	-5.37	-1.13
Asentamientos humanos	3.9	1.7	Asentamientos humanos	6.1	2.7	n/a	2.2	2.26	0.11
Vegetación arbórea	91.9	40.8	Vegetación arbórea	69.6	30.9	22.3	n/a	-1.38	-1.11
Pastizal	95.7	42.5	Pastizal	138.4	61.4	n/a	42.7	1.86	2.13
Total	225.3			225.3					
*Miles de ha									

7.3. Crecimiento de la mancha urbana

Analizar el crecimiento urbano es un proceso muy importante porque permite conocer de manera espaciotemporal el desarrollo de una ciudad. De esta manera podemos observar la expansión y desplazamiento de la mancha urbana, al igual que los cambios y la ruptura sobre las coberturas circundantes. Existen muchas razones por la que una ciudad tienda a crecer tan aceleradamente, entre ellas se encuentran principalmente el crecimiento demográfico, la inmigración y las aglomeraciones de la población rural que buscan mejores condiciones en su calidad de vida. En el sureste de la república mexicana, se dio un impulso en el desarrollo de las zonas urbanas debido al boom petrolero que surgió por la década de los 90 (Palomeque-De la Cruz et al. 2017).

Para el año 2000 en la ZMV los asentamientos humanos presentaron una cobertura de 6 878 ha lo que es equivalente a 1.7% del territorio total (Tabla 2). Para el año 2020 obtuvo una ganancia final de 2 236 ha, aumentando su territorio a 6 114 ha. Esta categoría presento una tasa anual de cambio de 2.26%, equivalente a crecer 112 ha por año.

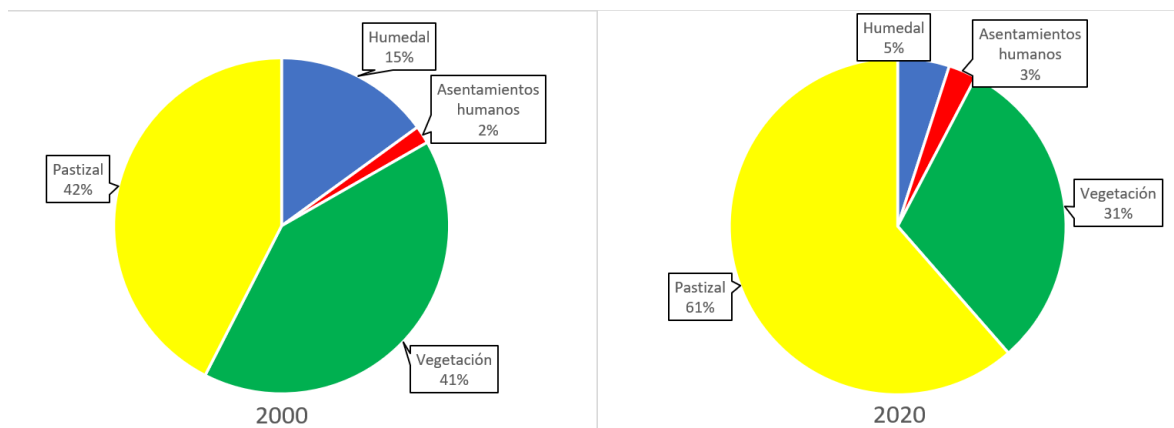


Figura 5 Gráfica de coberturas de la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco.

7.4. Aumento de coberturas de pastizales

Los pastizales naturales son biomas que juegan un papel ecológico importante como productores de recursos, corredores biológicos, capturadores de carbono, entre muchos otros servicios ecosistémicos. Por otro lado, los pastizales inducidos o cultivados son el resultado de la intervención del ser humano para la ejecución de actividades de producción agrícola y/o ganadera. Estos tienen como práctica usual la usurpación de zonas ocupadas por otras coberturas terrestres como bosques, selvas, humedales, etc. Este es el caso en la ZMV donde se han perdido una gran cantidad de ha de humedales y vegetación arbórea por estas prácticas que están cada vez más en tendencia. En la figura 6, se observa como en las zonas aledañas a zona urbana de Villahermosa muchas áreas que anteriormente pertenecían a zonas de vegetación arbórea o humedales fueron absorbidas o fragmentadas como consecuencia de la urbanización y actividades antropogénicas.

Para el año 2020, los pastizales ocupaban alrededor del 42.5% del total del territorio equivalente a 95 682 ha, con estas cifras se posicionó como la categoría predominante dentro de la ZMV. Pese a esto, ha habido un crecimiento constante de estas zonas llegando a ocupar el 61.4% para el 2020, lo que equivale a una cobertura final de 138 430 ha (Tabla 2). Aunque su tasa anual de cambio es de 1.86%, el cual es más bajo que el de los asentamientos humanos, su equivalente en ha es mucho mayor, ya que indica que los pastizales aumentan en un promedio de 2 137 ha al año. En los 20 años que abarcan este estudio, los pastizales crecieron en un 44.6%, es decir, tuvo una ganancia final de 42 747 ha.

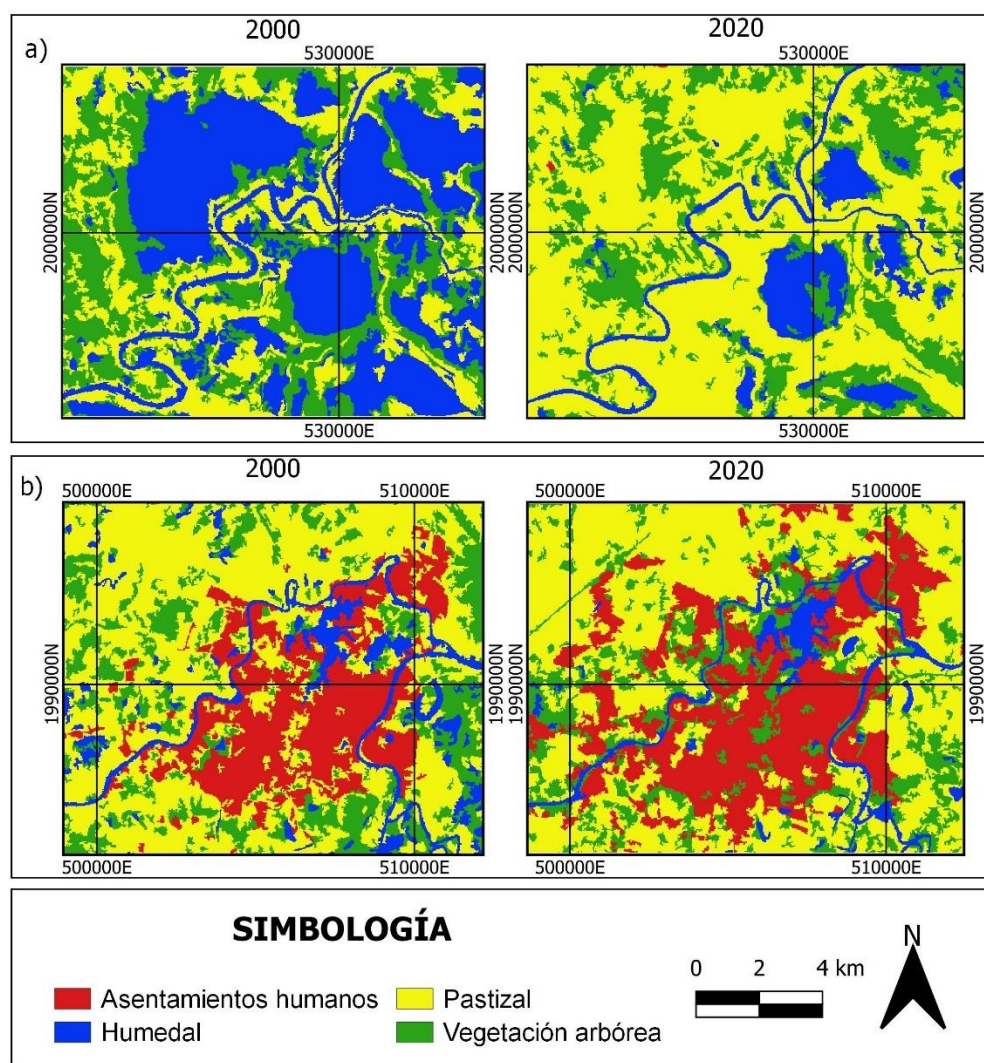


Figura 6 Evolución del cambio y usos del suelo dentro de la ZMV del 2000 al 2020.
a) Comunidad rural Cocoyol. b) Zona urbana de Villahermosa.

7.5. Análisis de la percepción de los humedales en la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco.

Se aplicaron encuestas a un total de 90 personas dentro de la ZMV, se obtuvieron datos generales de los participantes como edad, último grado de escolaridad y género (Tabla 3). Se entrevistaron a un total de 53 mujeres y 37 hombres, el promedio de edad fue de 39 años y el rango fue de 18 a 73. El 39% de los participantes tienen un grado de estudio de nivel medio superior y 37.8% obtuvieron un grado de licenciatura.

Tabla 3 Información general de los participantes.

Edad		Escolaridad (%)						Genero	
Promedio	Rango	Ninguna	Primaria	Secundaria	Bachiller	Licenciatura	Posgrado	Hombres	Mujeres
39	18-73	0	5.6	14.4	38.9	37.8	3.3	37	53

7.5.1. Ordenamiento de las unidades de paisaje.

Se identificó que los habitantes de la ZMV que participaron en las entrevistas ordenaron las unidades de paisaje según los beneficios que obtienen de ellas. Según los valores obtenidos la unidad de mayor importancia para los habitantes de la ZMV es la VA con un promedio de 5. Seguido de los RI y los PZ con valores de 4.8 y 3.3 respectivamente. Estos tres paisajes también fueron los más sobresalientes en la matriz de evaluación siendo considerados los que más servicios ecosistémicos proporcionan según los participantes. En cuarto y quinto lugar de importancia tenemos a las LA y los PA respectivamente con un promedio muy similar. El último lugar de importancia lo obtuvo los AH con un promedio final de 1.8. Los participantes identificaron las zonas de VA compuestas principalmente por árboles y arbustos como los más importantes, así como los que proveen un mayor número de servicios ambientales.

Tabla 4 Valoración de las unidades de paisaje.

Unidades de Paisaje	Promedio	D. E.
Vegetación arbórea (VA)	5	1.18
Ríos (RI)	4.8	1.17
Pastizales (PZ)	3.3	1.33
Lagunas (LA)	3.1	1.30
Pantanos (PA)	3	1.47
Asentamientos humanos (AH)	1.8	1.44

7.5.2. Listado libre

Como indicador de riqueza los participantes mencionaron un total de 21 servicios ambientales que fueron agrupados en la tabla 5. Algunas de las respuestas no fueron consideradas como servicios ecosistémicos por lo cual no fueron tomados en consideración. Los servicios ambientales más recurrentes se relacionan con las necesidades básicas de los habitantes; provisión de aire, agua y alimentos. Los otros servicios mencionados se relacionan con el bienestar social, el aprecio de la naturaleza y apoyos económicos. En cuanto a la diversidad el índice de Shannon-Wiener arrojó un valor de 2.73. Considerando que con esta ecuación se obtienen valores de entre 0 y 5, donde 0 equivale a diversidad baja y 5 se considera como diversidad alta. El resultado obtenido indica que con el método del listado libre se obtuvo una diversidad media. En la ZMV se reconoció la provisión de oxígeno como el servicio ambiental más abundante, siendo mencionado por el 82.2% de los participantes; seguido de la capacidad de producir alimentos con una abundancia de 80%; en tercer lugar, la provisión de agua con un 60% y en cuarto lugar la ganadería con un 56.7%. Estos servicios fueron los que presentaron mayor abundancia, ya que fueron mencionados por más de la mitad de los participantes.

Tabla 5 Listado de servicios ambientales mencionados en las entrevistas.

	Servicios ambientales	Número de participantes	% de participantes
1	Provisión de oxígeno	74	82.2
2	Capacidad para producir alimentos	72	80.0
3	Provisión de agua	54	60.0
4	Ganadería	51	56.7
5	Materiales para construcción	33	36.7
6	Capacidad para producir energía	30	33.3
7	Agricultura	28	31.1
8	Protección contra sequías	27	30.0
9	Hábitat de fauna	24	26.7
10	Regulación de temperatura	26	28.9
11	Paisaje	24	26.7
12	Capacidad para producir ingresos	23	25.6
13	Hábitat de flora	18	20.0
14	Plantas de ornato	15	16.7
15	Turismo o actividades de recreación	12	13.3
16	Almacenamiento de agua	11	12.2
17	Fibras	7	7.8
18	Protección contra inundaciones	6	6.7
19	Transporte	3	3.3
20	Captura de carbono	2	2.2
21	Minerales	1	1.1

7.5.3. Matriz de evaluación

En la ZMV la VA obtuvo los resultados más sobresalientes, siendo asociada por un mayor número de personas a más servicios ambientales que cualquier otra unidad de paisaje (Tabla 6). Estando relacionado con valores de muy alta importancia (valores de 5) los servicios de; provisión de oxígeno, fertilidad del suelo, hábitat de flora y fauna, obtención de fibras y materiales para construcción, extracción de plantas medicinales y de ornato y servicios educativos. En el caso de los humedales (LA, RI y PA), los servicios ambientales a los que fue mayormente

asociado (valores de 5) fueron al drenaje y el almacenamiento de agua. Otros servicios a los que fue asociado de manera importante (valores de 4) fueron a la regulación del clima, protección contra inundaciones, servicios educativos y hábitat de biodiversidad.

Por su parte los PZ fueron asociados con una importancia muy alta (valores de 5) al servicio de desarrollo de animales domésticos, seguido con una importancia alta (valores de 4) al hábitat de fauna. Por último, los AH fueron a los que menos servicios se les asoció siendo el de control de plagas el único que obtuvo un rango de importancia alta (valores de 4) en esta unidad de paisaje.

Tabla 6 . Matriz de evaluación de las unidades de paisaje de la ZMV.

Unidades de paisaje; LA=Lagunas, RI=Ríos, PA=Pantanos, VA=Vegetación arbórea, PZ=Pastizales y AH=Asentamientos humanos. Los números corresponden a los rangos de participantes que asociaron los servicios ambientales con las unidades de paisaje; 0 (0 entrevistados) = **sin importancia**, 1 (1 a 18 entrevistados) = **muy baja importancia**, 2 (19 a 36 entrevistados) = **baja importancia**, 3 (37 a 54 entrevistados) = **importancia media**, 4 (55 a 72 entrevistados) = **importancia alta** y 5 (73 a 90 entrevistados) = **muy alta importancia**.

Servicios ambientales		LA	RI	PA	VA	PZ	AH
1	Provisión de oxígeno	2	2	3	5	2	0
2	Regulación del clima	3	3	4	3	1	0
3	Drenaje de agua	3	5	2	0	0	1
4	Protección contra inundaciones	3	4	3	0	1	1
5	Almacenamiento de agua	3	5	1	1	0	0
6	Fertilidad del suelo	0	1	3	5	3	0
7	Polinización	1	1	3	4	2	1
8	Control de plagas	1	2	1	1	1	4
9	Hábitat de fauna	3	4	5	5	4	2
10	Hábitat de flora	1	2	4	5	2	1
11	Cacería	2	3	3	4	3	0
12	Fibras	0	0	2	5	3	1
13	Desarrollo de animales domésticos	1	1	1	3	5	3
14	Materiales para construcción	0	2	1	5	2	1
15	Plantas medicinales	1	1	3	5	2	1
16	Cultivos	0	1	1	4	5	1
17	Plantas ornamentales	1	1	2	5	2	1
18	Belleza escénica	3	3	2	4	0	0
19	Recreación	3	3	3	4	1	1
20	Educacional	2	2	4	5	2	2

7.5.4. Percepción de los humedales

Esta técnica se empleó para conocer la percepción de los humedales que tienen los habitantes de la ZMV en relación con las unidades de paisaje que se presentaron anteriormente. Se les preguntó a los participantes según su opinión, ¿cuál o cuáles de las UP presentadas en las fichas eran humedales? Los entrevistados respondieron conforme sus conocimientos previos o a como asociaron la palabra humedales con las UP (Tabla 7). Como resultado, el 90% de los participantes asociaron los humedales con los paisajes de PA (humedales palustres), el 71.1% con las LA (humedales lacustres) y el 61.1% con los RI (humedales ribereños). Cabe mencionar que algunos participantes desconocían o no asociaban la palabra humedal con algunas de las UP. Por lo que el 2.2% de los participantes se abstuvieron de contestar esta pregunta.

Tabla 7 Percepción de los humedales en relación con las unidades de paisaje según los habitantes de la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco.

Unidades de paisaje	Núm. de participantes	%
PA	81	90
LA	64	71.1
RI	55	61.1
VA	39	43.3
PZ	9	10
AH	5	5.6
NR (No respondió)	2	2.2

8. Discusión

8.1 Dinámicas en las coberturas y usos del suelo en la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco.

En el estudio realizado, el área analizada está ocupada mayormente por coberturas de pastizales las cuales van en constante aumento; al igual que las zonas ocupadas como asentamientos humanos; Por el lado contrario, las coberturas de humedales

son las que recibieron un mayor impacto por las dinámicas en el cambio y usos del suelo perdiendo una gran parte de su territorio inicial; A pesar de que los humedales y las zonas de vegetación proporciona servicios ecosistémicos fundamentales y que están asociados con la riqueza natural y la diversidad de especies. Este hecho resalta la importancia de conservar y cuidar los recursos hídricos protegiendo y estableciendo corredores biológicos interurbanos (Gastezzi-Arias et al. 2017). Esta situación se ve asociada a que en las zonas urbanas se da prioridad a los procesos de crecimiento urbano e infraestructura por sobre las necesidades de conservación y protección ambiental (Benegas et al. 2021).

Las coberturas de humedales y vegetación tienden a disminuir en gran medida para darle paso al crecimiento de la mancha urbana y principalmente a las coberturas de pastizales utilizados principalmente en actividades antropogénicas como agricultura y ganadería (Kolb y Galicia 2012; Domínguez Bautista et al. 2019). Esta predisposición en el cambio y usos del suelo también se ha presentado en otros estudios, como en el caso de la región Soconusco, Chiapas donde se registró una pérdida del 16.3% de la cobertura original de manglares en un lapso de 1994 a 2011 (Romero-Berny et al. 2015).

En los resultados de Vázquez-González et al. (2019) en la conurbación de Veracruz-Boca del río- Medellín, se registró una pérdida de 965.66 ha de humedales costeros entre los años 1980-2010, entre los cuales se encuentran pastizales inundados, ciénagas de agua dulce y manglares; También, en las costas de Fujian, China se registró una pérdida sin precedentes de humedales costeros con un área de 47,687 ha entre los años 1994 al 2018, muchos de estos fueron convertidos en puertos, estanques de acuicultura y áreas urbanas (Wu et al. 2022); Por el mismo lado, la deforestación de la vegetación arbórea y la transformación de las zonas de humedales es una consecuencia subyacente de la construcción y desarrollo de carreteras e infraestructura. Como revela un estudio realizado por (Penfound y Vaz 2022), en el sur de Ontario, E.U. en un periodo de más de 200 años (1800-2019) experimentaron una pérdida aproximada del 68% de los humedales, teniendo como causa principal carreteras y vías ferroviarias. Estos ecosistemas son unos de los

más afectados por megatendencias como el cambio climático, la urbanización, el rellanado de las zonas de amortiguamientos de aguas y el crecimiento demográfico (Holland et al. 2011; Ma et al. 2014). Todos estos acontecimientos provocan una aceleración en la dinámica del cambio y usos del suelo y el agua, especialmente en zonas costeras y de deltas fluviales.

México cuenta con un total de 142 sitios Ramsar y uno de ellos se encuentra en el estado de Tabasco en el municipio de Centla, conocido como La Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla (Secretaría de la Convención de Ramsar 2018). Pese a que la convención de Ramsar deja muy en claro la importancia que tienen los humedales para la vida de los seres humanos y del planeta, es muy poco o casi nulo el esfuerzo que se ejerce para el manejo y conservación de los demás humedales presentes en el estado y el resto del país (Middleton 2021 ene 1). El estado de degradación generalizado de este hábitat muestra que se deben establecer medidas de adaptación para el cuidado y conservación de estos ecosistemas y su biodiversidad (Blann et al. 2009).

En la ZMV la categoría de vegetación arbórea tuvo una pérdida final de 22 364 ha en un lapso de 20 años. Según Gallardo-Cruz et al. (2019), en la cuenca del río Usumacinta, en la parte que ocupa la región tabasqueña se registró una pérdida de 35 700 ha de cobertura arbórea entre los años 2000-2013. Esto representa tan solo el 1% de toda la vegetación arbórea que desapareció en toda la república mexicana. Un estudio similar realizado en el estado de Tabasco por Gallardo-Cruz et al. (2021) registró una pérdida de vegetación arbórea en los municipios de Balancán y Tenosique de 17 000 y 10 000 ha respectivamente, impulsada principalmente por actividades económicas como la agricultura, ganadería y plantaciones de palma de aceite. En otro estudio realizado por Escobar et al. (2021), en la zona del Soconusco, Chiapas determinaron que las coberturas de vegetación natural y semi-natural sufrieron un decremento, por ejemplo, las categorías de bosques y bosques perturbados pasaron de ocupar un 4.5% y 32.4% respectivamente, a reducirse a un 3.4% y 29.7% en un periodo de 25 años (1990-2015). Investigaciones recientes concuerdan en afirmar que la dinámica principal en los procesos de cambio y usos

del suelo es la transformación de bosques, vegetación arbórea y secundaria a pastizales para usos agrícolas y ganaderos (Belay y Mengistu 2019; Calzada et al. 2018). Además, en estas regiones también se registran procesos como deforestación y la reducción de sistemas agroforestales (Tuffour-Mills et al. 2020).

Como se mencionó anteriormente, existen muchas razones por que la una ciudad tiende a crecer tan aceleradamente entre las cuales están el crecimiento demográfico y las aglomeraciones de la población rural. Incluso desde comienzos del siglo XXI, México ha sido considerado como un país con una tendencia alta de urbanización, en donde las 57 zonas metropolitanas presentes en el país albergaban un aproximado del 83% de su población urbana (Garza y Schteingart 2010). En la ZMV los asentamientos humanos presentaron una tasa anual de cambio de 2.26%, es decir, crece un promedio de 112 ha al año. Menciona Mendoza-Ponce (2021), que dentro de la cuenca del Usumacinta los asentamientos humanos presentaron una tasa anual de cambio de 10.3% equivalente a 14 479 ha en un periodo de 7 años (2005-2012). Según Zaragoza et al. (2016) la modernización, urbanización y el crecimiento demográfico generan un alto grado de disturbio sobre los ecosistemas circundantes. Para el caso de la zona lacustre de Xochimilco, México esto ha ocasionado contaminación del agua y del aire, pérdida de diversidad biológica y cultural y ruptura del ciclo del agua.

En lo que a pastizales corresponde, en el sur de México ha habido un crecimiento exponencial de estas coberturas en las últimas décadas impulsado por la demanda de carne a nivel global y el carente nivel tecnológico y práctico de los sistemas agroproductivos (Gómez et al. 2002). Para el 2020 estos ocuparon el 61.4% del total del territorio de la ZMV equivalente a 138 430 ha. Caso similar presentan Geissen et al. (2009) que registran un aumento de los pastizales en un 179% en el sureste tropical de la república mexicana en un lapso de 1988 al 2003 mientras que otras coberturas como bosque primario disminuyeron en un 17% de su superficie inicial. En otro estudio realizado por López et al. (2019) se evidenció que la deforestación de la selva baja caducifolia en el municipio de Chiapas de corzo, Chiapas ha dado paso al aumento de las superficies destinadas a actividades agrícolas,

principalmente pastizal inducido; el cual es la categoría que mayor cobertura ganó a través de los años. Según Mendoza-Ponce *et al.* (2021), la agricultura y los pastizales presentan una tasa anual de cambio de 10.9% y 3.1% respectivamente y son unas causas principales de la deforestación de bosques y selvas tropicales en la cuenca del Usumacinta en el sureste de México.

8.2. Percepción de los humedales y los servicios ambientales en la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco.

En el listado libre los participantes de la ZMV nombraron 21 servicios ecosistémicos diferentes durante las encuestas y el índice de diversidad obtuvo un valor de 2.73 lo cual, lo coloca en un nivel medio. Las más importantes se relacionan con las necesidades básicas de las personas, la producción de alimentos y las que permiten realizar actividades socioeconómicas (Alpuche-Álvarez *et al.* 2019). Estos resultados son muy similares a obtenidos por Alpuche-Álvarez *et al.* (2019), que al realizar una prueba de listado libre en de dos comunidades mayas en el sureste de México obtuvo 29 servicios ecosistémicos en la comunidad modernizada y 28 en la comunidad tradicional, y con valores de 2.9 y 3.0 en el índice de diversidad respectivamente.

La matriz de evaluación mostró que el paisaje más importante en la provisión de servicios ambientales es la vegetación arbórea, seguidos de los humedales; Sin embargo, como se menciona anteriormente en el estudio de cambios y usos del suelo, estos paisajes son los más afectados por la urbanización y las actividades agropecuarias. La valoración sociocultural de las fuentes que proporcionan servicios ambientales demuestra que existe una estrecha relación entre la forma de ver el mundo y el valor que se le da a los servicios ecosistémicos y a los paisajes que los proporcionan (Hassan *et al.* 2005); Por lo que sería difícil argumentar que la urbanización ha transformado la percepción grupal dentro de esta comunidad (de Groot *et al.* 2002).

En el ordenamiento de las unidades de paisaje los humedales (RI, LA, PA) ocuparon el segundo lugar en importancia dentro de la ZMV. La razón por la cual los participantes determinaron que esta es una unidad de paisaje importante se debe a la capacidad que tiene para proveer agua, la cual resulta vital para realizar sus

actividades diarias; Además, también fue asociada a otros servicios ambientales como regulación del clima, protección contra desastres naturales y hábitats de flora y fauna (Maleki et al., 2021); Por otro lado, los pastizales (PZ) obtuvieron el tercer lugar como paisaje de importancia solo por encima de los asentamientos humanos (AH). Aunque los PZ son reconocidos principalmente por su capacidad de producir cultivos y ganadería fundamentales para la producción de alimentos, la mayor parte de los habitantes de la ZMV no se relacionan con este tipo de actividades por lo que este paisaje no es de los más importantes según su criterio (Toledo et al., 2008); Sin embargo, el análisis espaciotemporal muestra que los PZ han tenido el mayor crecimiento territorial en un periodo de 20 años dentro de los límites de la ZMV. Nuevamente se nota un gran contraste entre la percepción de las habitantes y la dinámica en el cambio y usos del suelo.

Manuel (2003), realizó un estudio en Nueva Escocia, Canadá, donde se determinó que el 52 % de los habitantes de vecindarios locales consideraba importantes la existencia de humedales, mientras que el 42 % opinaban de una manera muy distinta. En Kenya, África, se estudió la percepción de maestros de primaria acerca de los humedales, se encontró que estos ecosistemas son valorados principalmente por su función de suministro de agua (Ndaruga y Irwin 2010). Según Marín Muñiz et al.,(2016), la percepción es un factor cambiante afectado por las actividades que realicen los habitantes de un cierto lugar, en el caso de los humedales, su valor se relaciona con el valor económico potencial y los beneficios directos obtenidos de estos. Este argumento coincide con lo observado por Chávez (2007), quien determinó que habitantes de Monte Gordo, Veracruz, percibieron los recursos de suelo, vegetación y agua según la actividad y remuneración económica que obtienen utilizando tales recursos. En relación con los servicios ambientales que los humedales proporcionan, lo cuales no fueron notados por la mayoría de los participantes.

En este estudio se determinó que los encuestados asociaron a los humedales principalmente con el drenaje y provisión de agua, más fueron poco percibidos los servicios de regulación del clima, hábitat de flora y fauna, protección contra sequías e inundaciones (Valdez y Ruiz 2012); Siendo este último servicio muy importante en

las temporadas de lluvias dado que, en la ciudad de Villahermosa se han registrado inundaciones severas como la del 2007 (Sánchez et al. 2015); Ante esto, resalta la importancia de la difusión del conocimiento de los beneficios de los servicios ambientales y de los ecosistemas que los proporcionan, en el caso de los humedales estos actúan como barreras naturales y proporcionan servicios de regulación que nos protegen contra desastres naturales (Buenfil, 2009). La concientización de estos servicios para los habitantes de esta zona podría cambiar la dinámica en el cambio y usos del suelo a favor de los humedales.

9. Conclusiones

Durante los años 2000-2020, en la ZMV las coberturas de humedales y vegetación arbórea sufrieron modificaciones debido a las dinámicas del cambio y usos del suelo. Esto ocurre principalmente por la cesión de espacios para incrementar las superficies de pastizales y la mancha urbana. Esto genera un gran impacto provocando la pérdida de las funciones ambientales y servicios ecosistémicos.

Por su parte el análisis de la percepción reveló que los humedales ocupan el segundo puesto en cuanto a paisajes de importancia solo por debajo de la vegetación arbórea. De la misma manera, los humedales son considerados como fundamentales proveedores de servicios ecosistémicos; Sin embargo, es la cobertura más afectada por la urbanización y las actividades antropogénicas. Este trabajo se realizó con el objetivo de divulgar y hacer conciencia acerca del impacto que reciben los humedales debido a las actividades antropogénicas. Además de la información resultante de este estudio pueda ser considerada en conjunto con otros estudios y trabajos de investigación para generar programas de crecimiento urbanos que se centren en restablecer y conservar los servicios ambientales, ya que esto se traducirá en bienestar socioeconómico para las comunidades y habitantes de esta zona.

10. Bibliografía

- Al-Masaodi HJO, Al-Zubaidi HAM. 2021 May. Spatial-temporal changes of land surface temperature and land cover over Babylon Governorate, Iraq. *Mater Today Proc.* doi:10.1016/J.MATPR.2021.05.179. [accessed 2022 Jan 14]. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.179>.
- Alpuche-Álvarez Y, Ochoa-Gaona S, Monzón-Alvarado C, Cortina-Villar S. 2019. Modernización agrícola y valoración sociocultural de los servicios ecosistémicos en paisajes mayas del sureste de México. *Ecología Austral.* 29:223–238.
- Angel Pérez A, Rebolledo Martínez A, Villagómez Cortés J, Zetina Lezama R. 2009. Valoración del servicio ambiental hidrológico en el sector doméstico de San Andrés Tuxtla, Ver., México. *Estudios Sociales: Revista de investigación científica.* 17(33):225–258.
- Angeoletto F, Essy C, Ruiz Sanz JP, Silva F, Albertin R, Santos JW. 2015. *Ecología Urbana: La Ciencia Interdisciplinaria del Planeta Ciudad.* Desenvolvimento Em Questão. 13(32):6–20. doi:<https://doi.org/10.21527/2237-6453.2015.32.6-20>.
- Arnold CL, Gibbons J. 1996. Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Environmental Indicator. *Journal of the American Planning Association.* 62(2):243–258. doi:10.1080/01944369608975688. [accessed 2022 Sep 4]. <http://www.tandfonline.com/loi/rjpa20>.
- Athukorala D, Estoque RC, Murayama Y, Matsushita B. 2021. Impacts of Urbanization on the Muthurajawela Marsh and Negombo Lagoon, Sri Lanka: Implications for Landscape Planning towards a Sustainable Urban Wetland Ecosystem. *Remote Sens (Basel).* 13:316–336. [accessed 2022 Sep 4]. shorturl.at/fIJ09.
- Avendaño C, William R. 2012. La educación ambiental (EA) como herramienta de la responsabilidad social (RS). *Revista Luna Azul.* 1(35):94–115.
- Barba-Macías E, Rangel-Mendoza J, Ramos-Reyes R. 2006. Clasificación de los humedales de Tabasco mediante sistemas de información geográfica. *Universidad y Ciencia.* 22(2):101–110. [accessed 2022 Mar 9]. www.ujat.mx/publicaciones/uciencia.
- Bekessy SA, White M, Gordon A, Moilanen A, McCarthy MA, Wintle BA. 2012. Transparent planning for biodiversity and development in the urban fringe. *Landsc Urban Plan.* 10(2):140–149. doi:10.1016/j.landurbplan.2012.09.001.
- Belay T, Mengistu DA. 2019. Land use and land cover dynamics and drivers in the Muga watershed, Upper Blue Nile basin, Ethiopia. *Remote Sens Appl.* 15. doi:10.1016/J.RSASE.2019.100249.
- Benegas L, Rojas A, Iraheta A, Cárdenas J. 2021. Análisis del componente arbóreo y su contribución a los servicios ecosistémicos en la ciudad de Turrialba, Costa Rica. *Ecosistemas.* 30(2):1–10. doi:10.7818/ECOS.2083. [accessed 2022 Jan 26]. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/2083>.

- Bergh VD, Bartender JA, Gilbert A, van Herwijnen M, van Horssen P, Kandelaars P, Lorenz C. 2001. Spatial economic-hydroecological modelling and evaluation of land use impacts in the Vecht wet-lands area. *Environmental Modeling and Assessment*. 6:87–100.
- Berlanga-Robles CA, Ruiz-Luna A, Lanza Espino G. 2008. Esquema de clasificación de los humedales de México. *Investigaciones Geográficas*. 66:25–46. [accessed 2020 Mar 10]. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56911123003>.
- Blann KL, Anderson JL, Sands GR, Vondracek B. 2009. Effects of Agricultural Drainage on Aquatic Ecosystems: A Review. <http://dx.doi.org/10.1080/10643380801977966>. 39(11):909–1001. doi:10.1080/10643380801977966. [accessed 2022 Jan 16]. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10643380801977966>.
- Blázquez Entonado F. 2001. Sociedad de la información y la educación. Consejería de Educación, Ciencia y Tecnología. [accessed 2022 Sep 4]. <http://www.ub.edu/prometheus21/articulos/obsiberprome/blanquez.pdf>.
- Borroto Pérez M, Rodríguez Pérez L, Reyes Ramírez A, López Vázquez BA. 2011. Percepción ambiental en dos comunidades cubanas. *Revista Electrónica de Medioambiente*. 10:13–29. doi:10.5209/rev_MARE.2011.n10.15854. [accessed 2020 Apr 21]. <http://revistas.ucm.es/index.php/MARE/article/view/15854>.
- Buenfil J. 2009. Adaptación en humedales costeros del Golfo de México ante los impactos del cambio climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología. 2. [accessed 2022 Sep 1]. www.gob.mx/inecc.
- Burkhard B, Kandziora M, Hou Y, Müller F. 2014. Ecosystem service potentials, flows and demands—concepts for spatial localisation, indication and quantification. *Landscape Online*. 34(1):1–32. doi:10.3097/LO.201434.
- Burkhard B, Müller A, Müller F, Grescho V, Anh Q, Arida G, Bustamante JVJ, van Chien H, Heong KL, Escalada M, et al. 2015. Land cover-based ecosystem service assessment of irrigated rice cropping systems in southeast Asia—An explorative study. *Ecosyst Serv*. 14:76–87. doi:10.1016/J.ECOSER.2015.05.005.
- Calzada L, Meave JA, Bonfil C, Figueroa F. 2018. Lands at risk: Land use/land cover change in two contrasting tropical dry regions of Mexico. *Applied Geography*. 99:22–30. doi:10.1016/J.APGEOG.2018.07.021.
- Camacho-Valdez V, Tello-Alcaide EM, Wootton A, Valencia-Barrera E. 2019. Land Use Change and Urban Ecosystem Services: A Case Study of Urban Wetlands in a Rapidly Sprawling City in the Highlands of Chiapas, Mexico. *Journal of Management and Sustainability*. 9(1):67. doi:10.5539/jms.v9n1p67.
- Challenger A. 2009. Introducción a los servicios ambientales. :37. [accessed 2019 May 14]. https://tabasco.gob.mx/sites/all/files/sites/sernapam.tabasco.gob.mx/files/dpcc_introduccion_servicios_ambientales.pdf.

- Chávez Ballado G. 2007. Percepción del ecosistema por la comunidad de San Crisanto en Yucatán de acuerdo con su actividad. *Cuicuilco*. 14(39):99–114. [accessed 2022 Sep 1]. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=35111319005>.
- CONAFOR. 2010. El pago por servicios ambientales como instrumento de conservación. [accessed 2019 May 14]. http://www.ccmss.org.mx/descargas/El_pago_por_servicios_ambientales_como_instrumento_de_conservacion.pdf.
- CONAPO, SEDATU. 2018. Sistema Urbano Nacional 2018. Villeda M, editor. :1–66. [accessed 2022 Sep 11]. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/400771/SUN_2018.pdf.
- Costanza R, D'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R v., Paruelo J, et al. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 1997 387:6630. 387(6630):253–260. doi:10.1038/387253a0. [accessed 2022 Sep 4]. <https://www.nature.com/articles/387253a0>.
- Costanza R, de Groot R, Sutton P, van der Ploeg S, Anderson SJ, Kubiszewski I, Farber S, Turner RK. 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*. 26(1):152–158. doi:10.1016/J.GLOENVCHA.2014.04.002.
- Díaz Perera MÁ. 2014. La construcción de las condiciones históricas de posibilidad de un desastre: el caso de dos colonias de Villahermosa, Tabasco. In: Pablos J, editor. *Montañas, pueblos y agua. Dimensiones y realidades de la cuenca Grijalva*. 1st ed. México D.F.: El Colegio de la Frontera Sur. p. 181–212. [accessed 2020 Apr 9]. <http://bibliotecasibe.ecosur.mx/sibe/book/000006664>.
- Domínguez Bautista RJ, Tobías Baeza A, Ruiz Acosta S del C, Salvador Morales P, Galindo Alcántara A, Arrieta Rivera A, Sánchez Hernández R. 2019. Almacenamiento de carbono y agua en un área periurbana de Tabasco. *Terra Latinoamericana*. 37(2):197–208. doi:10.28940/terra.v37i2.452.
- Erba DA. 2006. *Sistemas de Información Geográfica Aplicados a Estudios Urbanos*. Cambridge: Instituto Lincoln de Políticas del Suelo. [accessed 2022 Sep 11]. https://www.lincolninst.edu/sites/default/files/pubfiles/sistemas-de-informacion-geografica-estudios-urbanos-full_0.pdf.
- Escobar Flores RE, Castillo Santiago MÁ. 2021. Cambios en la cobertura y uso del suelo en la región del Soconusco, Chiapas. *Rev Mex Cienc For*. 12(66):46–69. doi:10.29298/rmcf.v12i66.755. [accessed 2022 Jan 3]. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/755/2582>.
- Fagerholm N, Oteros-Rozas E, Raymond CM, Torralba M, Moreno G, Plieninger T. 2016. Assessing linkages between ecosystem services, land-use and well-being in an agroforestry landscape using public participation GIS. *Applied Geography*. 74:30–46. doi:10.1016/J.APGEOG.2016.06.007.
- Fernández SE, del Río JP. 2011. *Sistemas de Información Geográfica para el ordenamiento territorial*. Departamento Sistemas de Información Geográfica, editor. Buenos Aires: Ministerio de

- Infraestructura. [accessed 2022 Sep 11]. https://ingeniatte.es/wp-content/uploads/2019/03/Manual_SIG_UT.pdf.
- Gallardo-Cruz J, Fernández-Montes A. 2021. Escenarios de pérdida de cobertura arbórea en la cuenca baja del Usumacinta, en Tabasco: impactos demográficos y de las vías de comunicación en la región. In: Impacto de las vías de comunicación sobre la fauna silvestre en áreas protegidas. Primera ed. Chetumal, Quintana Roo: Ecología Aplicada del Sureste A.C. p. 204–219. [accessed 2022 Jan 4]. <https://biblioteca.ecosur.mx/cgi-bin/koha/opac-retrieve-file.pl?id=005cb6bb76a04c73170a6b9851acdeb2>.
- Gallardo-Cruz J, Fernández-Montes A, Rives C. 2019. Detección de amenazas y oportunidades para la conservación en la cuenca baja del Usumacinta a partir de técnicas de percepción remota. *Revista Ecosistemas*. 28(2):82–99. doi:10.7818/ECOS.1611. [accessed 2022 Jan 4]. www.revistaecosistemas.net.
- Garilli E, Bruno N, Autelitano F, Roncella R, Giuliani F. 2021. Automatic detection of stone pavement's pattern based on UAV photogrammetry. *Autom Constr*. 122. doi:10.1016/J.AUTCON.2020.103477.
- Garza G, Schteingart M. 2010. Los grandes problemas de México II Desarrollo Urbano y Regional. 1st ed. D.F.: El Colegio de México. [accessed 2020 Mar 6]. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/3397300204E80BC705257C2100600F59/\\$FILE/1_pdfsam_Desarrollo_Urbano_y_Regional.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/3397300204E80BC705257C2100600F59/$FILE/1_pdfsam_Desarrollo_Urbano_y_Regional.pdf).
- Gastezzi-Arias P, Alvarado-García V, Pérez-Gómez G. 2017. La importancia de los ríos como corredores interurbanos. *Biocenosis*. 31(1–2). [accessed 2022 Jan 26]. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/1725>.
- Geissen V, Sánchez-Hernández R, Kampichler C, Ramos-Reyes R, Sepulveda-Lozada A, Ochoa-Goana S, de Jong BHJ, Huerta-Lwanga E, Hernández-Daumas S. 2009. Effects of land-use change on some properties of tropical soils — An example from Southeast Mexico. *Geoderma*. 151(3–4):87–97. doi:10.1016/J.GEODERMA.2009.03.011.
- Glenn NF, Neuenschwander A, Vierling LA, Spaete L, Li A, Shinneman DJ, Pilliod DS, Arkle RS, McIlroy SK. 2016. Landsat 8 and ICESat-2: Performance and potential synergies for quantifying dryland ecosystem vegetation cover and biomass. *Remote Sens Environ*. 185:233–242. doi:10.1016/J.RSE.2016.02.039.
- Gómez H, Tewolde M, Nahed J. 2002. Análisis de los sistemas ganaderos de doble propósito en el centro de Chiapas, México. *Archivos Latinoamericanos*. 10(3):175–183. [accessed 2022 Jan 27]. <https://biblioteca.ecosur.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=000031191>.
- de Groot R, Brander L, van der Ploeg S, Costanza R, Bernand F, Braat L, van Buekering P. 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosyst Serv*. 1(1):50–61. [accessed 2022 Nov 20]. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.005>.
- de Groot R, Wilson M, Boumans R. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*. 41(2):393–408.

- Harris M. 1996. Antropología cultural. Ed. Alianza. España. [accessed 2022 Sep 4]. <https://diversidadlocal.files.wordpress.com/2012/09/harris-marvin-antropologia-cultural.pdf>.
- Hassan R, Scholes RJ, Ash N. 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends: Findings of the Condition and Trends Working Group. *Nature*. 443. www.conservation.org/xp/frontlines/.
- Henny C, Meutia AA. 2014. Urban Lakes in Megacity Jakarta: Risk and Management Plan for Future Sustainability. *Procedia Environ Sci*. 20:737–746. doi:10.1016/j.proenv.2014.03.088.
- Hernández Henao S. 2015. Indicadores de calidad ambiental de humedales [Unpublished Bachelor Thesis]. [accessed 2022 Sep 11]. <https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/1136/1/Santiago%20Hernandez%20Heno.pdf>.
- Holland TL, Romero JM, Davidson-Arnott R, Cardille J. 2011. Landscape changes in a coastal system undergoing tourism development: implications for Barra de Navidad Lagoon, Jalisco, Mexico. *Investigaciones Geográficas*. 74:7–18. [accessed 2021 Dec 6]. https://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n74/n74a2.pdf?origin=publication_detail.
- Horwitz P, Finlayson CM. 2011. Wetlands as Settings for Human Health: Incorporating Ecosystem Services and Health Impact Assessment into Water Resource Management. *Bioscience*. 61(9):678–688. doi:10.1525/bio.2011.61.9.6.
- Ibarra V, Puente S, Schteingart M. 1984. La ciudad y el medio ambiente. *Demogr Econ*. 18(1):110–143. doi:http://dx.doi.org/10.24201/edu.v18i01.1603.
- INEGI. 2021. Censo de Población y Vivienda 2020. [accessed 2021 Sep 5]. <https://www.inegi.org.mx/app/cpv/2020/resultadosrapidos/default.html?texto=comalcalco%20tabasco>.
- Jiménez A, Galindo A, Ruiz S, Palomeque MÁ. 2018. Delimitación y caracterización de la cuenca del río Teapa en la cuenca baja del río Grijalva [Unpublished Bachelor Thesis]. [Villahermosa, Tabasco]: Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca.
- Keddy PA. 2010 Jan 1. Wetland ecology: Principles and conservation. *Wetland Ecology: Principles and Conservation*.:1–497. doi:10.1017/CBO9780511778179. [accessed 2022 Mar 9]. <https://www.cambridge.org/core/books/wetland-ecology/911B63841ED039C204BE2E39ECA5526C>.
- Khzmam E. 2008. La percepción ambiental como significación del paisaje: Implicaciones teóricas desde la relación del ser humano y el entorno. *Ambiente Total*. 2:1–8. doi:0717.9839.
- Kolb M, Galicia L. 2012. Challenging the linear forestation narrative in the Neo-tropic: regional patterns and processes of deforestation and regeneration in southern Mexico. *Geogr J*. 178(2):147–161. doi:10.1111/j.1475-4959.2011.00431.x. [accessed 2020 Mar 17]. <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1475-4959.2011.00431.x>.

- Landgrave R, Moreno Casasola P. 2011. Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México Quantitative assessment of wetland loss in Mexico. *Investigación Ambiental*. 4(1):19–35. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/gacetitas/663/humedales.pdf>.
- Larrosa Rocamora JA. 2012 Dec 17. El Área urbana-metropolitana de Alicante-Elche. Delimitación y caracterización: Aplicación de los criterios funcionales de movilidad. Universidad de Alicante.:147. [accessed 2020 Nov 30]. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/27224>.
- Linares Zarco J. 2012. La importancia económica de los municipios en el México del siglo XXI. *Región y Sociedad*. XXIV(548):35–61. [accessed 2021 Sep 2]. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10223134002>.
- López A, Ríos M, Flamenco A, Farfán M. 2019. Análisis y modelación espacial de los patrones de deforestación (2005-2025) en la microcuenca La Unión del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas. *Sociedad y Ambiente*. 7(18):117–143. [accessed 2022 Jan 17]. https://biblioteca.ecosur.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=59150&query_desc=kw%2Cwrdl%3A+cobertura+pastizal.
- López-Blanco J, Galicia-Sarmiento L, García-Oliva F. 1995. Aplicación de un SIG para la caracterización morfológica y la delimitación de unidades de ladera de una cuenca tropical estacional en Chamela, Jalisco, México. *Investigaciones Geográficas Boletín*. Número esp:39–61.
- Ma Z, Melville DS, Liu J, Chen Y, Yang H, Ren W, Zhang Z, Piersma T, Li B. 2014. Rethinking China's new great wall. *Science* (1979). 346(6212):912–914. doi:10.1126/SCIENCE.1257258/SUPPL_FILE/1257258.MA.SM.PDF. [accessed 2022 Jan 16]. <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1257258>.
- Maleki S, Rahdari V, Baghdadi N, Pahlevanravi A. 2021. Where are Greater Climate Change Adaptation Measures Needed in a Wetland? *Wetlands*. 41(74):1–14. doi:10.1007/s13157-021-01471-0. [accessed 2021 Jul 5]. <https://doi.org/10.1007/s13157-021-01471-0>.
- Maltby E. 1991. Wetland management goals: wise use and conservation. *Landsc Urban Plan*. 20(1–3):9–18. doi:10.1016/0169-2046(91)90085-Z.
- Manuel PM. 2003. Cultural perceptions of small urban wetlands: Cases from the Halifax Regional Municipality, Nova Scotia, Canada | SpringerLink. *Wetlands*. 23(4):921–940. [accessed 2022 Sep 4]. [https://link.springer.com/article/10.1672/0277-5212\(2003\)023\[0921:CPOSUW\]2.0.CO;2](https://link.springer.com/article/10.1672/0277-5212(2003)023[0921:CPOSUW]2.0.CO;2).
- Mao D, Luo L, Wang Z, Wilson MC, Zeng Y, Wu B, Wu J. 2018. Conversions between natural wetlands and farmland in China: A multiscale geospatial analysis. *Science of The Total Environment*. 634:550–560. doi:10.1016/J.SCITOTENV.2018.04.009.
- Marín Muñiz J, Hernández Alarcón ME, Silva Rivera E, Moreno Casasola P. 2016. Percepciones sobre servicios ambientales y pérdida de humedales arbóreos en la comunidad de Monte Gordo, Veracruz. *Madera y Bosques*. 22(1):53–69. [accessed 2019 Jun 12]. <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v22n1/1405-0471-mb-22-01-00053.pdf>.

- Martínez-Santos P, Díaz-Alcaide S, de la Hera-Portillo A, Gómez-Escalonilla V. 2021. Mapping groundwater-dependent ecosystems by means of multi-layer supervised classification. *J Hydrol (Amst)*. 603. doi:10.1016/J.JHYDROL.2021.126873.
- Mendoza-Ponce A, Corona-Núñez RO, Nava LF, Estrada F, Calderón-Bustamante O, Martínez-Meyer E, Carabias J, Larralde-Corona AH, Barrios M, Pardo-Villegas PD. 2021. Impacts of land management and climate change in a developing and socioenvironmental challenging transboundary region. *J Environ Manage*. 300:1–10. doi:10.1016/J.JENVMAN.2021.113748.
- Middleton BA. 2021 Jan 1. Worldwide Wetland Loss and Conservation of Biodiversity and Ecosystem Services. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. doi:10.1016/B978-0-12-819166-8.00058-X.
- Mitsch WJ, Gosselink JG. 2015. Wetlands. John Wiley & Sons, Inc. 91(5):721. [accessed 2022 Mar 9]. https://www.researchgate.net/publication/271643179_Wetlands_5th_edition.
- Moya B v., Hernández AE, Elizalde Borrell H. 2005. Los humedales ante el cambio climático. *Investigaciones Geográficas (Esp)*.(37):127–132. [accessed 2020 Mar 10]. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17612746005>.
- Murillo LD, Martínez RJ. 2010. Comunicación para el desarrollo en México: reflexiones sobre una experiencia en el trópico húmedo. *Estudios sobre las culturas contemporáneas*. (31):201–225. [www.culturascontemporaneas.com/contenidos/8 Testimonio Murillo pp 201-225.pdf](http://www.culturascontemporaneas.com/contenidos/8%20Testimonio%20Murillo%20pp%20201-225.pdf).
- Naim MdNH, Kafy A-A. 2021. Assessment of urban thermal field variance index and defining the relationship between land cover and surface temperature in Chattogram city: A remote sensing and statistical approach. *Environmental Challenges*. 4:Article 100107. doi:10.1016/J.ENVC.2021.100107.
- Ndaruga AM, Irwin PR. 2010. Cultural Perceptions of Wetlands by Primary School Teachers in Kenya. <http://dx.doi.org/101080/10382040308667534>. 12(3):219–230. doi:10.1080/10382040308667534. [accessed 2022 Sep 4]. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10382040308667534>.
- Palacio-Prieto J, Sánchez-Salazar M, Casado Izquierdo J, Propin Frejomil E, Delgado Campos J, Velázquez Montes A, Chias Becerril L, Ortiz Álvarez M, González Sánchez J, Negrete Fernández G, et al. 2004 Oct 14. Indicadores para la caracterización y ordenamiento del territorio. *Instituto de Geografía*.:21–39. [accessed 2021 Dec 8]. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/434/indic1.pdf>.
- Palomeque de la Cruz MÁ, Galindo Alcántara A, Pérez Sánchez E, de Jesús Sánchez A, Escalona Maurice MJ. 2017. Modelos geomáticos con base en transición para el análisis espacial en Villahermosa, Tabasco. *Rev Mex De Cienc Agric*. 8(2):253–267.
- Palomeque de la Cruz MÁ, Galindo Alcántara A, Sánchez AJ, Escalona Maurice MJ. 2017. Pérdida de humedales y vegetación por urbanización en la cuenca del río Grijalva, México. *Investigaciones Geográficas*.(68):151–172. doi:10.14198/INGEO2017.68.09. <http://hdl.handle.net/10045/72015>.

- Palomeque-De la Cruz M, Galindo-Alcántara A, Escalona-Maurice MJ, Ruiz-Acosta SDC, Sánchez-Martínez AJ, Pérez-Sánchez E. 2017. Análisis del cambio de uso del suelo en un ecosistema urbano en la zona de drenaje del Río Grijalva, México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 23(1):105–120. doi:10.5154/r.rchscfa.2016.03.018.
- Penfound E, Vaz E. 2022. Analysis of 200 years of change in ontario wetland systems. *Applied Geography*. 138:1–15. doi:10.1016/J.APGEOG.2021.102625. [accessed 2022 Jan 16]. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0143622821002411>.
- Peralta-peláez L, Moreno-casasola P. 2009. Composición Florística y diversidad de la vegetación de humedales en los lagos interdunarios de Veracruz. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 85(85):89–99. [accessed 2022 Sep 4]. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-21282009000200009&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- Perevochtchikova M, Lezama TJL. 2010. Causas de un desastre: inundaciones del 2007 en Tabasco, México. *Latin American Geography*. 9(2):73–98.
- Pérez N, Sánchez J. 2006. Medio ambiente y percepción de la población en áreas del parque metropolitano de La Habana: el caso de los consejos populares del municipio Plaza de la Revolución, Cuba. *Revista Internacional de Ciencias de la Tierra*. 3:13–26.
- Pineda J. 2009. Servicios Ambientales: Servicios y beneficios del medio ambiente. *Temas Ambientales*.:7. [accessed 2019 Jun 10]. <https://www.temasambientales.com/2017/03/servicios-ambientales.html>.
- Pineda Pastrana O. 2011. Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de Valle de Santiago. *Centro de Investigación en Geografía y Geomática* .:88. [accessed 2019 Jun 10]. [https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/41/1/21-2011-Tesis-Pineda Pastrana%2C Oliva-Maestra en Geomática.pdf](https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/41/1/21-2011-Tesis-Pineda%20Pastrana%20Oliva-Maestra%20en%20Geomática.pdf).
- Qin Q, Xu D, Hou L, Shen B, Xin X. 2021. Comparing vegetation indices from Sentinel-2 and Landsat 8 under different vegetation gradients based on a controlled grazing experiment. *Ecol Indic*. 133. doi:10.1016/J.ECOLIND.2021.108363.
- Quiva D, Vera L. 2010. La educación ambiental como herramienta para promover el desarrollo sostenible Environmental Education as a Tool to Promote Sustainable Development. *TeloS*. 12(3):378–394.
- Ramos R, Palomeque M. 2019. La gran inundación del 2007 en Villahermosa, Tabasco, México: antecedentes y avances en materia de control. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. 39(2):387–413. doi:10.5209/aguc.66944. [accessed 2020 Nov 25]. <https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/66944/4564456552341>.
- Rey Benayas JM, Barral P, Meli P. 2015. Restauración de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. *Cuarto Congreso Internacional de Servicios Ecosistémicos en los Neotrópicos*.:91. [accessed 2022 Sep 11].

<https://josemrey.web.uah.es/Docencia/Materia1Master/RestauracionBiodiversidadServiciosEcosistemicos.pdf>.

- Rivera Berganza JR. 2014. Evaluación de los servicios ambientales agua, biodiversidad, suelo y carbono en la finca Los mangos, Estanzuela, Zacapa. Universidad Rafael Landívar.:120. [accessed 2019 May 15]. <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2014/06/09/Rivera-Julio.pdf>.
- Romero-Berny E, Acosta-Velázquez J, Tovilla-Hernández C, Schmook B, Gómez-Ortega R. 2015. Cambios de cobertura y fragmentación de manglares en la región del Soconusco, Chiapas, México, 1994-2011. *Revista Geográfica de América Central*.(54):153–169. [accessed 2021 Dec 6]. <https://biblioteca.ecosur.mx/cgi-bin/koha/opac-retrieve-file.pl?id=b7be07b097220af90e001049ad2133f2>.
- Rosete-Vergés FA, Pérez-Damián JL, Villalobos-Delgado M, Navarro-Salas EN, Salinas-Chávez E, Remond-Noa R. 2014. El avance de la deforestación en México 1976-2007. *Madera Bosques*. 20(1):21–35. doi:10.21829/myb.2014.201173.
- Ruiz V, Savé R, Herrera Herrera A. 2014. Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflor Moropotente Nicaragua, 1993 – 2011 Ruiz V, Savé R, Herrera Herrera A. 2014. Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido. *Revista Científica de FAREM-Estelí*. 22(e):117–123. doi:10.5377/farem.v0i11.1605.
- Sánchez A, Salcedo M, Macossay-Cortez A, Fera-Díaz Y, Vazquez L, Ovando N, Rosado L. 2012. Calidad ambiental de la laguna urbana La Pólvera en la cuenca del río Grijalva. *Tecnología y Ciencias del Agua*. III(3):143–152.
- Sánchez AJ, Salcedo MÁ, Florido R, Mendoza JDD, Ruiz-Carrera V, Álvarez-Pliego N. 2015. Ciclos de inundación y conservación de servicios ambientales en la cuenca baja de los ríos Grijalva-Usumacinta. *ContactoS*. 97(97):5–14.
- Schteingart M. 1987. Expansión urbana, conflictos sociales y deterioro ambiental en la ciudad de México. El caso de Ajusco. *Estud Demogr Urbanos Col Mex*. 2(3):449–477. doi:<http://dx.doi.org/10.24201/edu.v2i3.650>.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. 2010. Uso racional de los humedales Manual. Conceptos y enfoques para el uso racional de los humedales. 4ta edición. Suiza: Secretaria de la Convención de Ramsar. [accessed 2022 Mar 9]. <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-01sp.pdf>.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. 2014. Mexico | Convention on Wetlands. [accessed 2022 Nov 28]. <https://www.ramsar.org/wetland/mexico>.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. 2018. Perspectiva mundial de los humedales. Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas 2018. Nigel Dudley, editor. Gland, Suiza: Secretaría de la Convención de Ramsar. [accessed 2019 Jun 12]. https://static1.squarespace.com/static/5b256c78e17ba335ea89fe1f/t/5b9ffde60e2e7277f629f8df/1537211926308/Ramsar+GWO_SPANISH_WEB.pdf.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2015. Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (RAMSAR). [accessed 2022 Nov 28]. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/convencion-sobre-los-humedales-de-importancia-internacional-especialmente-como-habitat-de-aves-acuaticas-ramsar>.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), Conanp (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2017. Manual operativo del comité nacional de humedales. [accessed 2022 Sep 4]. <https://www.conanp.gob.mx/pdf/pdfhumedales/ManualOperativoCNH.pdf>.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), Inegi (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), Conabio (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), Conanp (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), INE (Instituto Nacional de Ecología), Conagua (Comisión Nacional del Agua). 2008. Inventario nacional de humedales. [accessed 2022 Sep 3]. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CD001073.pdf>.
- Song F, Su F, Mi C, Sun D. 2021. Analysis of driving forces on wetland ecosystem services value change: A case in Northeast China. *Science of The Total Environment*. 751:141778. doi:10.1016/J.SCITOTENV.2020.141778.
- Toledo Víctor M, Barrera-Bassols N, García-Frapolli E, Toledo VÍCTOR M, Barrera-bassols N. 2008. Uso múltiple y biodiversidad entre los Mayas Yucatecos (México). *Interciencia*. 33(5):352.
- Tuffour-Mills D, Antwi-Agyei P, Addo-Fordjour P. 2020. Trends and drivers of land cover changes in a tropical urban forest in Ghana. *Trees, Forests and People*. 2:Article 100040. doi:10.1016/J.TFP.2020.100040.
- Valdez V, Ruiz L. 2012. Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Revista Bio ciencias*. 1(4):3–15. [accessed 2022 Sep 1]. <https://revistabiociencias.uan.edu.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/19/17>.
- van der Valk AG. 2012. *The Biology of Freshwater Wetlands*. 2nd edn. Oxford University Press. [accessed 2022 Sep 3]. <https://academic.oup.com/book/12202>.
- Vázquez-González C, Moreno-Casasola P, Peralta Peláez LA, Monroy R, Espejel I. 2019. The value of coastal wetland flood prevention lost to urbanization on the coastal plain of the Gulf of Mexico: An analysis of flood damage by hurricane impacts. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 37:1–12. doi:10.1016/J.IJDRR.2019.101180.
- Vilardy S, Jaramillo Ú, Flórez C, Cortés-Duque J, Estupiñán L, Rodríguez J, Acevedo Ó, Santos A, Peláez S, Aponte C, et al. 2014. Principios y criterios para la delimitación de humedales continentales. Una herramienta para fortalecer la resiliencia y la adaptación al cambio climático en Colombia. 1st ed. Bogotá, Colombia: Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander von Humbolt. [accessed 2022 Mar 9]. <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/31444/255.pdf?sequence=1>.

- Wheeler BD, Money RP, Shaw SC, Perrow MR, J. DA. 2002. Freshwater Wetlands. In: Handbook of Ecological Restoration. Cambridge, United Kingdom. p. 325.354.
- Wu W, Zhi C, Gao Y, Chen C, Chen Z, Su H, Lu W, Tian B. 2022. Increasing fragmentation and squeezing of coastal wetlands: Status, drivers, and sustainable protection from the perspective of remote sensing. *Science of The Total Environment*. 811:1–11. doi:10.1016/J.SCITOTENV.2021.152339. [accessed 2022 Jan 16]. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969721074167>.
- Zaragoza R, Landázuri G, Vega E. 2016. Disturbio antropogénico como consecuencia del crecimiento urbano. El caso de la zona lacustre y de montaña en la delegación Xochimilco, México. *Sociedad y ambiente*. 4(11):42–67.

11. Anexos

11.1. Encuesta sobre la percepción de los servicios ambientales en la ZMV.

Nombre:		Fecha:	
Edad:	Sexo: M () H ()	Escolaridad:	
Dirección:			

1.- A continuación, asigna un valor del 1-6 a las siguientes Unidades de Paisaje, donde 6 se considera como el más importante y 1 el menos importante.

Ordenamiento de las Unidades de Paisaje					
Lagunas (LA)	Ríos (RI)	Pantano (PA)	Vegetación arbórea (VA)	Pastizales (PZ)	Asentamientos humanos (AH)

2.- ¿Qué cosas útiles, buenas, valiosas o importantes obtiene en su comunidad por parte de las unidades de paisajes antes mencionadas? Enlístalas.

1		11	
2		12	
3		13	
4		14	
5		15	
6		16	
7		17	
8		18	
9		19	
10		20	

3. Selecciona cual o cuales de las unidades de paisaje proporciona cada uno de los servicios ecosistémicos que aparecen a continuación.

Servicios Ecosistémicos		Unidades de Paisaje					
		LA	RI	PA	VA	PZ	AH
1	Provisión de oxígeno						
2	Regulación del clima local						
3	Drenaje de agua						
4	Protección contra inundaciones						
5	Almacenamiento de agua						
6	Fertilidad del suelo						
7	Polinización						
8	Control de plagas						
9	Hábitat de fauna						
10	Hábitat de flora						
11	Cacería						
12	Fibras						
13	Desarrollo de animales domésticos						
14	Materiales de construcción						
15	Plantas medicinales						
16	Cultivos						
17	Plantas ornamentales						
18	Belleza escénica						
19	Recreación						
20	Educacional						

4. Según su opinión, ¿Cuál o cuáles de los paisajes vistos anteriormente representa un humedal? Márquelo en la casilla del punto 1.

11.2. Borrador cuestionario

1. ¿Cuáles paisajes proporcionan el oxígeno o aire que respiramos?
2. ¿Cuáles hacen que el clima esté fresco o agradable?
3. ¿En cuáles se vierten las basuras o desechos que producimos?
4. ¿Cuál o cuáles de estos paisajes nos brinda protección contra inundaciones?
5. ¿De cuáles sacamos el agua que utilizamos día a día para vivir?
6. ¿En cuáles de estos paisajes podemos encontrar suelos fértiles?
7. ¿En cuáles hay una mayor presencia de insectos y plantas?
8. ¿Qué paisajes cree que mantiene a raya o alejado a los animales o insectos indeseados?
9. ¿En qué paisaje habitan animales?
10. ¿En cuáles se encuentran Una gran diversidad de plantas?
11. ¿En cuáles de estos paisajes se realiza la caza de animales terrestres y/o acuáticos?
12. ¿En cuáles se pueden obtener materiales como fibra de coco, algodón, lana o seda?
13. ¿En cuáles paisajes se pueden criar animales domésticos y para alimentación?
14. ¿En dónde se pueden extraer materiales como madera, bambú, arena o grava?
15. ¿Dónde podemos encontrar plantas medicinales utilizadas para remedios caseros?
16. ¿En cuáles de estos paisajes podemos establecer cultivos?
17. ¿En cuales encontramos plantas o árboles utilizados para decorar casas y jardines?
18. ¿Cuáles de estos paisajes le provoca un estado de tranquilidad y relajación?
19. ¿En cuales realizará actividades al aire libre?
20. ¿En cuál de estos paisajes se podrían hacer actividades escolares, de investigación o estudios científicos?

11.3 Carta de consentimiento informado

El Colegio de la Frontera Sur
Unidad Villahermosa
Centro Público de Investigación CONACYT

Lugar: _____ a: ____ de _____ del 2022

Investigadores principales:

Ing. Antonio de Jesús Jiménez Hidalgo
Dr. Rodimiro Ramos Reyes

Carta de consentimiento informado

Por medio de la presente, yo el C. _____ acepto por voluntad propia participar en la investigación **“Pérdida de humedales y percepción de los servicios ambientales en el área metropolitana de la ciudad de Villahermosa, Tabasco”**, dirigida por el **Ing. Antonio de Jesús Jiménez Hidalgo** estudiante de la **Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural de ECOSUR Unidad Villahermosa** con número de matrícula **202015008** y el **Dr. Rodimiro Ramos Reyes** director de tesis en ECOSUR unidad Villahermosa.

Se me ha informado que el motivo de esta investigación consiste en: el análisis de la percepción social que tienen los habitantes de la ciudad sobre los servicios ambientales que proporcionan los humedales. El estudio se realizará en la zona Metropolitana de la Ciudad de Villahermosa, Tabasco. Para lo cual, se aplicarán entrevistas de criterio simple relacionadas con el conocimiento y puntos de vista en general acerca de los servicios ambientales y los humedales

Me queda claro que la información de esta entrevista se utilizará únicamente con fines académicos y de investigación. Además, **mi participación es voluntaria y puedo retirarla en cualquier momento sin tener ningún perjuicio de algún tipo.**

El estudio se llevará a cabo en: las instalaciones de El Colegio de la Frontera Sur, unidad Villahermosa, carretera Villahermosa-Reforma Km. 15.5 s/n Ra, Guineo 2da. Sección. Por último, accedo a que la información y resultados que se obtengan pueden ser conservados y utilizados para futuras investigaciones.

Firma del participante

Entrevistador
Ing. Antonio de Jesús Jiménez Hidalgo

Para cualquier duda consultar al: 993 385 3452. O al correo antonio.jimenez@estudianteposgrado.ecosur.mx

11.4 Borrador artículo



Análisis bitemporal de las coberturas de humedales en la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco, México.

Bitemporal analysis of wetland covers in the metropolitan area of Villahermosa, Tabasco, Mexico.

Antonio de Jesús Jiménez-Hidalgo 1¹

Rodimiro Ramos Rayes 2^{2*}

Adalberto Galindo Alcántara 3³

Everardo Barba Macias 4⁴

Miguel Ángel Palomeque de la Cruz 5⁵

Resumen

El objetivo de este trabajo fue analizar las dinámicas en el cambio de los usos del suelo entre los años 2000 y 2020, para determinar qué impacto han tenido sobre las zonas de humedales. Se analizaron imágenes satelitales LANDSAT 5 y 7 para obtener las coberturas terrestres y calcular la tasa anual de cambio de cada categoría. Los principales resultados indican que los humedales y la vegetación arbórea se redujeron en un 67% y 24,3% respectivamente. Por otro lado, los asentamientos humanos tuvieron una ganancia final de 2.245,5 ha, es decir, aumentaron en un 58%. Por último, los pastizales crecieron en un 44,6% equivalente a una ganancia final de 42.747,84 ha. Los humedales presentaron una tasa de cambio de -5,37%, equivalente a perder 1.131 hectáreas al año. En conclusión, pese a que los humedales proporcionan más servicios ecosistémicos que cualquier otro ecosistema terrestre, se evidencia la poca valoración de estos, además de que presentan un alto grado de deterioro debido principalmente a la urbanización, el crecimiento demográfico desmedido y las actividades antropogénicas que causan que los humedales se vayan reduciendo año tras año.

Palabras clave: Coberturas terrestres; Mancha urbana; Servicios ecosistémicos; Deterioro ambiental; Sistemas de información geográfica.

¹ Departamento de Observación y Estudio de la Tierra, la Atmósfera y el Océano, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Villahermosa, Tabasco, México. Antonio.jimenez@estudianteposgrado.ecosur.mx. orcid.org/0000-0003-2968-3012.

² Departamento de Observación y Estudio de la Tierra, la Atmósfera y el Océano, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Villahermosa, Tabasco, México. rramos@ecosur.mx. orcid.org/0000-0003-3957-8160.

*Autor para la correspondencia.

³ División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), Villahermosa, Tabasco, México. Aga00700@docente.ujat.mx. orcid.org/0000-0001-9628-982X.

⁴ Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad, Manejo sustentable de cuencas y zonas costeras, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Villahermosa, Tabasco, México. ebarba@ecosur.mx. Orcid.org/0000-0001-7263-8941.

⁵ División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), Villahermosa, Tabasco, México. migueldacbiol@gmail.com. orcid.org/0000-0002-0407-8476.

Abstract

The objective of this work was to analyze the dynamics in the change of land uses between 2000 and 2020, to determine what impact they have had on wetland areas. LANDSAT 5 and 7 satellite imagery was analyzed to obtain land cover and calculate the annual rate of change for each category. The main results indicate that wetlands and tree vegetation were reduced by 67% and 24.3% respectively. On the other hand, human settlements had a final gain of 2,245.5 ha, that is, they increased by 58%. Finally, grasslands grew by 44.6% equivalent to a final gain of 42,747.84 ha. Wetlands had a change rate of -5.37%, equivalent to losing 1,131 hectares per year. In conclusion, despite the fact that wetlands provide more ecosystem services than any other terrestrial ecosystem, the low valuation of these is evident, in addition to the fact that they present a high degree of deterioration due mainly to urbanization, excessive population growth and anthropogenic activities that cause wetlands to be reduced year after year.

Keywords: Land cover; Urban spot; Ecosystem services; Environmental deterioration; Geographic information systems.

1. Introducción

Los humedales son zonas que se inundan de manera intermitente o permanentemente como pantanos, ríos, lagos, lagunas, marismas, manglares y arrecifes de coral, todos estos proporcionan servicios ecosistémicos que contribuyen a la calidad de vida de las personas (RAMSAR 2018). El principal factor dominante del medio y de la vida animal y vegetal es el agua (Horwitz y Finlayson, 2011). Los humedales contribuyen a mejorar los estilos de vida de las comunidades humanas y proporcionan servicios ecosistémicos esenciales (Hernández, 2015). El interés por comprender el funcionamiento y promover la conservación de los humedales ha aumentado en los últimos años, a causa del reconocimiento de los servicios ambientales que proporcionan y su papel fundamental en la adaptación y mitigación del cambio climático (de Groot *et al.*, 2012). Ejercen el papel de purificadores y fuentes de agua, protegen de las sequías, inundaciones y muchos otros desastres naturales, suministran alimento, son de los ecosistemas que más carbono almacena y son el hábitat de una rica biodiversidad de animales y plantas, siendo grandes los beneficios económicos al invertir en su conservación (Maltby y Acreman, 2011; Henny y Meutia, 2014; Rivera, 2014). Los humedales costeros y continentales a escala global abarcan cerca de 12,1 millones de km², con un 46 % inundado de manera estacional y 54 % inundado de forma permanente (Vidal *et al.*, 2015). Sin embargo, en todo el mundo los humedales naturales han disminuido a largo plazo: entre 1970 y 2015, tanto los humedales marinos como los terrestres se redujeron en un 35%. Por otro lado, los humedales artificiales como los embalses y arrozales en su mayoría se duplicaron. Esto último no compensa la pérdida de humedales naturales (RAMSAR, 2018). México se unió en 1971 al tratado internacional sobre los humedales, establecido en Ramsar, Irán. Este convenio sirvió como referencia para ejecutar las acciones nacionales e internacionales, en pro de la protección, uso racional y conservación de los humedales, sus recursos y su biodiversidad. México cuenta actualmente con 138 sitios RAMSAR, según la Secretaría de la Convención Ramsar (Berlanga-Robles *et al.*, 2008). En México, las coberturas de humedales disminuyeron en un 62% entre los años del 2002–2008, siendo la región de la cuenca baja del Grijalva ubicada en Tabasco, México una de las zonas donde más cobertura se perdió (Landgrave y Moreno, 2011).

Los humedales cercanos a zonas urbanas proporcionan una amplia variedad de servicios ambientales; control de inundaciones, depuración de aguas, reposición de aguas subterráneas, recreación y turismo (Figura 1) todos estos son de gran importancia para el bienestar de los seres humanos (Castelán *et al.*, 2015). A pesar de la importancia socioambiental, la degradación de los humedales urbanos prosigue principalmente a los cambios del uso del suelo provocados por la rápida urbanización y el aumento en las actividades antropogénicas (Camacho-Valdez *et al.*, 2019). A pesar de que los humedales proveen una gran variedad de servicios ambientales y el potencial económico que puede resultar al invertir en su conservación y aprovechamiento, los proyectos de desarrollo urbano en Villahermosa desde la segunda mitad del siglo XX han fragmentado a los humedales así como el relleno de estas zonas de amortiguamiento de agua para el crecimiento de los asentamientos humanos, ha provocado la pérdida de cientos de hectáreas de humedales (Palomeque-de la Cruz *et al.*, 2017a; Sánchez-Colón *et al.*, 2009; Navarro & Toledo, 2004). Para el 2008, solamente el 24,4% de los humedales en el estado de Tabasco habían sido decretados como Áreas Naturales Protegidas (SERNAPAM, 2012). Por lo que el resto quedó expuesto a seguir disminuyendo por la urbanización, el cambio climático y las acciones del ser humano (Díaz, 2014). Esto está ligado a la percepción de la población con respecto al valor de los ecosistemas y a los beneficios o servicios que reciben de estos, aunado a que la importancia que le otorgan a estos ecosistemas radica en lo estrecha que sea su relación y el contexto sociocultural (Bekessy *et al.*, 2012). Ya se han realizado estudios en el sureste de México para clasificar y analizar las coberturas de humedales-vegetación y como estos interactúan con las dinámicas de cambios y usos del suelo (Guerra-Martínez y Ochoa-Gaona, 2006; Zavala, y Castillo, 2007; Kolb *et al.*, 2013; Hernández-Melchor *et al.*, 2016; Gallardo-Cruz *et al.*, 2019). Sin embargo, no se ha analizado como estos actúan a una escala más local.

Figura 1. Humedales presentes en el estado de Tabasco, México. a) Laguna de Las Ilusiones, Villahermosa; b) Río Grijalva; c) Paso del río Grijalva a través de la zona urbana de Villahermosa; d) Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla.



Fuente: Google Earth. Elaboración propia.

En este contexto la zona metropolitana de Villahermosa (ZMV) es un territorio ideal para comprender la interacción de los elementos socioeconómicos y ambientales. De igual manera, es sustancial para promover la planificación de programas de crecimiento urbano que reduzcan los efectos negativos del cambio y uso del suelo como la pérdida de los servicios ecosistémicos. El objetivo de esta investigación fue realizar un análisis espacio-temporal la ZMV, Tabasco para determinar cuál es el nivel de deterioro que presentan los humedales, que sirva como base para generar un programa de desarrollo urbano que se oriente a restablecer los servicios y beneficios ambientales que se traduzcan en bienestar socioeconómico para los habitantes.

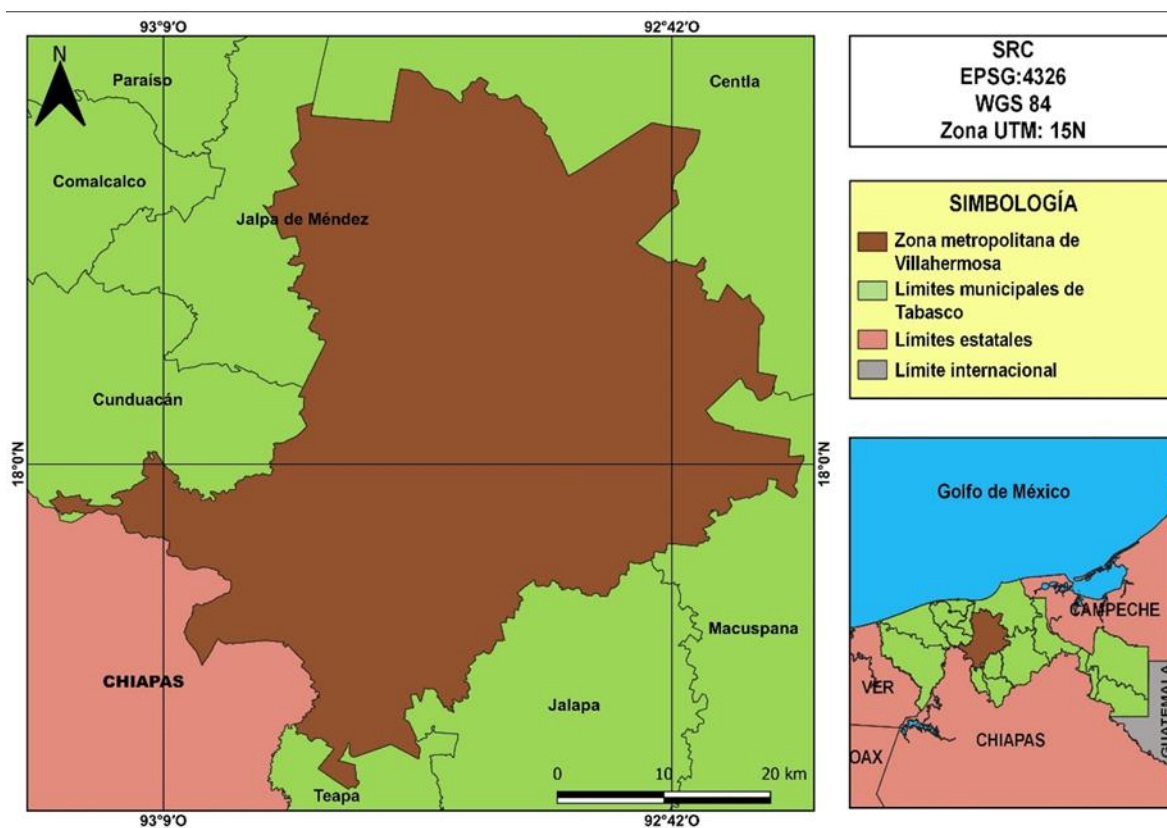
2. Metodología

2.1 Zona de estudio

El estado de Tabasco se encuentra en el sureste de la república mexicana y abarca desde las montañas del norte de Chiapas, hasta las llanuras costeras del Golfo de México (Figura 2). Tiene una población de 2.402.598 habitantes, lo cual representa el 1,9% del total del país (INEGI 2021). El trabajo se realizó en la zona metropolitana de Villahermosa (ZMV), capital de Tabasco. Conformado por los municipios de Centro y Nacajuca con un territorio de 225.308,6 ha ubicados entre las coordenadas 17°59'33'' N y 92°57'11'' O (Linares, 2012). La zona de estudio colinda por el oeste con los municipios de Jalpa de Méndez y Cunduacán; al este con Macuspana; al sur con Jalapa y Teapa y por el norte con Centla, así como también con el vecino estado de Chiapas (Cerna *et al.*, 2011). En la cuenca baja del río Grijalva, la zona metropolitana de Villahermosa representa uno de los cuatro ecosistemas más

importantes (Jiménez *et al.*, 2018). La ubicación de la ZMV, cuyo territorio es atravesado por importantes ríos y sistemas lagunares, acentúan la relevancia en la conservación de su vegetación, humedales y zonas de amortiguamiento de aguas como prestadores de vitales servicios ecosistémicos para los asentamientos humanos (Palomeque-de la Cruz *et al.*, 2017a). En la ciudad de Villahermosa se encuentran 13 ecosistemas de humedales de contacto y fluviales vinculados a los ríos Carrizal, Mezcalapa-Viejo y Sierra-Grijalva (Sánchez-Colón *et al.*, 2009). Sin embargo, el crecimiento periurbano ha ocasionado la constante modificación de la fisiografía de planicies y pantanos. Por lo que ha habido un aumento en la vulnerabilidad por inundaciones en muchas zonas de la mancha urbana (Perevochtchikova y Lezama, 2010).

Figura 2. Mapa de ubicación de la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco.



Elaboración propia.

2.2 Información cartográfica

Los datos utilizados incluyen imágenes satelitales LANDSAT 5 y LANDSAT 7 de la zona metropolitana de Villahermosa (ZMV) de los años 2000 y 2020, así como también la división política municipal de la república mexicana del año 2020. Las imágenes de satélite se descargaron del sitio web oficial del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) (GloVis (usgs.gov)). Las imágenes LANDSAT corresponden al mes de febrero para ambos periodos. Mientras que la información de la división política municipal se descargó del Portal de

Geoinformación de la CONABIO (Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad - CONABIO).

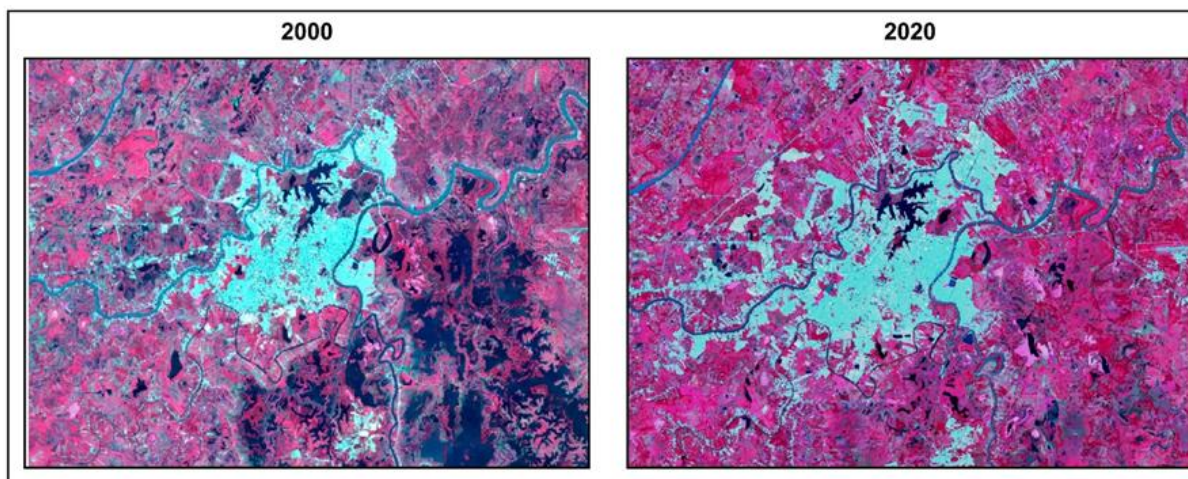
Se utilizaron un total de 4 imágenes LANDSAT con un datum de WGS84 y una proyección UTM zona 15 en formato ráster, para obtener la información de la cobertura terrestre de los dos periodos de interés. Por otro lado, se utilizó información vectorial a una escala de 1:250.000 para obtener la información de los límites y la superficie de la zona metropolitana de Villahermosa (ZMV).

2.3 Análisis y procesamiento de la información cartográfica

Un punto que cabe señalar es que la mayoría de los humedales están lidiando con sequías debido al cambio climático (Villanueva, 2019); por lo que algunas partes dentro de la zona se han secado permanentemente. Además, otras partes de estas zonas se secan temporalmente en algunos meses del año. Por esta razón es difícil determinar la degradación temporal y permanente de los humedales (Moya *et al.*, 2005).

Para determinar las coberturas de humedales dentro de la zona metropolitana de Villahermosa y los cambios que estos han tenido a lo largo de 20 años. Se procesaron las imágenes satelitales en el software QGIS 3.16.2 y con ayuda del comando “Juego de bandas” se crearon dos ráster virtuales de juego de bandas con la combinación 5, 4 y 3 para las imágenes del 2000 y con combinación 4, 3 y 2 para las imágenes del 2020 (Qin *et al.*, 2021; Glenn *et al.*, 2016). De esta manera se generaron imágenes ráster con filtro infrarrojo (Figura 3), el cual es útil para reconocer los límites entre los cuerpos de agua y suelo, también es sensible a la cobertura vegetal mostrando en distintas tonalidades de rojo. Los cuerpos de agua se representan en tonos oscuros azulados, dependiendo de la cantidad de sedimentos en suspensión. Mientras que las áreas urbanas o asentamientos humanos se muestran en colores más claros y brillantes (Al-Masaodi y Al-Zubaidi, 2021; Naim y Kafy, 2021).

Figura 3. Ráster virtual de juego de bandas de la zona urbana de Villahermosa, Tabasco.



Elaboración propia.

Una vez que se obtuvo la vista infrarroja de la zona de estudio, se procedió a usar el comando SPC Dock para realizar la clasificación supervisada de las coberturas que existen en las imágenes del 2000 y 2020. Para llevar a cabo la clasificación supervisada mediante QGIS

primero se crea un archivo en formato ROI de “entrenamiento”, en el cual se cargaron las categorías de las diferentes coberturas (Martínez-Santos *et al.*, 2021; Garilli *et al.*, 2021). Se generaron polígonos de muestra sobre el ráster virtual que funcionaron como guía para que el comando hiciera la clasificación supervisada. Para este estudio se definieron 4 categorías: Asentamientos humanos, humedales, vegetación arbórea y pastizales los cuales cualifican de manera contundente las observaciones hechas en las imágenes satelitales (Domínguez *et al.*, 2019).

Ya definidas las categorías y guardado las firmas de bases en el archivo ROI se procedió a utilizar el comando “Clasificación” de las herramientas de “Band processing” para generar los ráster con las clasificaciones de las coberturas.

Por otra parte, con la información vectorial de la división política de México, se extrajeron los límites de los municipios de Centro y Nacajuca los cuales conforman el área de la zona metropolitana de Villahermosa. Ya con el límite de la zona metropolitana y con los ráster obtenidos de la clasificación supervisada, se procedió a utilizar el comando “cortar ráster por capa de mascara” de las herramientas de “extracción” de ráster. El resultado final fueron los datos de la cobertura de la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco. Con estos datos se realizó un análisis general de la dinámica de cambio y usos suelo en un periodo de 20 años. Para calcular la Tasa anual de cambio se utilizó la fórmula: $TC = [(S2/S1)^{(1/n)} - 1] * 100$, donde, TC= Tasa anual de cambio; S2= superficie en ha del periodo final; S1= superficie en ha del periodo inicial y n= el tiempo en años transcurrido entre los dos periodos (Palacio-Prieto, 2004).

3. Resultados

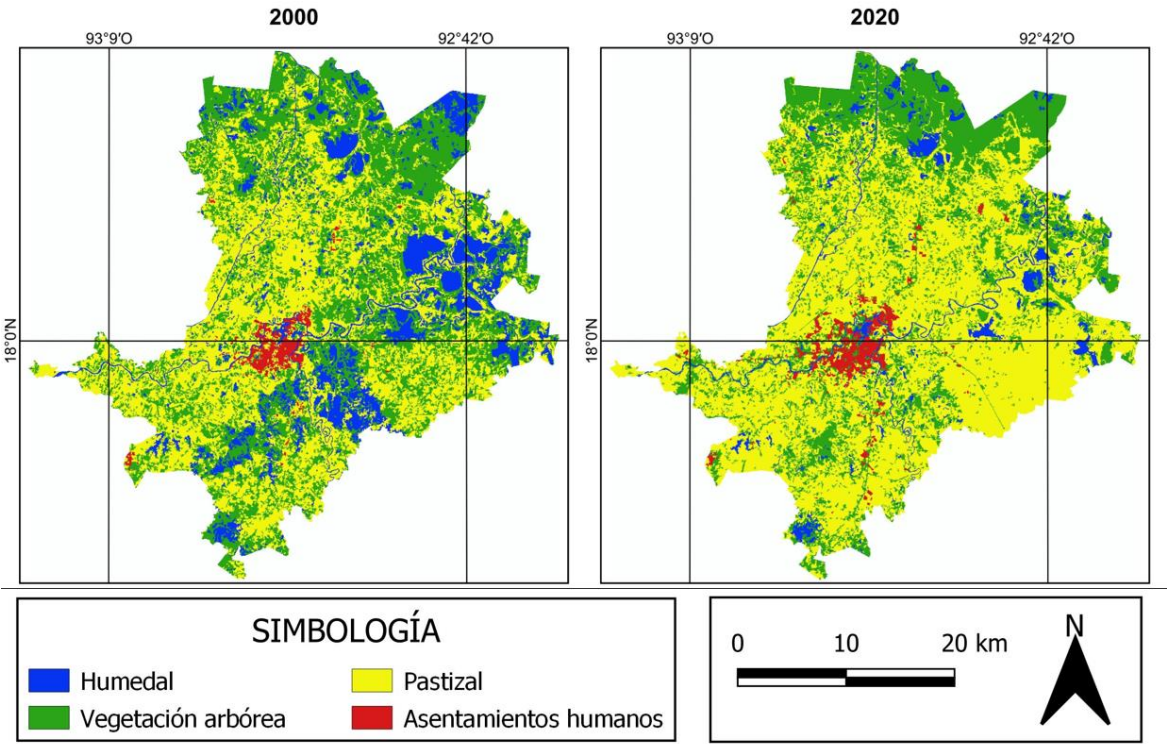
3.1 Dinámica de las coberturas de humedales

Durante el periodo 2000-2000, los humedales pasaron de ocupar un territorio de 33.822 ha, a reducirse a tan solo 11.193 ha para el año 2020. Es decir, que los humedales perdieron un equivalente al 67% (22.629 ha) de su territorio. Con una tasa anual de cambio de -5,37%, los humedales se reducen a un ritmo alarmante, desapareciendo aproximadamente 1 131 ha al año (Tabla 1). Estos ecosistemas son unos de los más afectados por mega tendencias como la urbanización, el cambio climático y el crecimiento demográfico (Moreno-Casasola, 2008; Hettiarachchi *et al.*, 2014).

Los humedales cercanos a los bordes de la zona urbana de la ciudad de Villahermosa se perdieron. Esto como consecuencia de la creciente práctica de rellenar y fragmentar las zonas de amortiguamientos y cuerpos de agua, para luego ser utilizados en actividades antropogénicas como agricultura y ganadería o para el crecimiento periurbano (Díaz-Perera, 2015; Hernández, 2011; Palomeque-de la Cruz *et al.*, 2017).

Los resultados muestran que hubo una gran pérdida de cobertura por parte de los humedales y la vegetación arbórea de aproximadamente 22.629,3 y 22.364 ha respectivamente (Tabla 1). Estas coberturas disminuyeron en gran medida para darle paso a los pastizales y al crecimiento de la mancha urbana (Palomeque-de la Cruz *et al.*, 2017). Para este estudio, la jerarquía de las categorías no cambio con respecto a los periodos establecidos. El pastizal se mantuvo como la categoría dominante tanto en el año 2000 como en el 2020; seguido de la vegetación arbórea; en tercer lugar, lo ocupó los humedales y, por último, pero no menos importante los asentamientos humanos.

Figura 4. Clasificación supervisada de la Zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco.
Año 2000 y 2020.



Elaboración propia.

3.2 Zonas de vegetación arbórea

De igual manera, la vegetación arbórea ha sido una de las coberturas terrestres más afectadas por las actividades antropogénicas. En este caso, las zonas con vegetación arbórea tuvieron una pérdida total de 22.364 ha en el lapso del 2000 al 2020. Al principio de este periodo esta categoría contaba con un territorio total de 91.936 ha que representaban el 41% de la ZMV (Tabla 1). Sin embargo, para el año 2020 este territorio se redujo a tan solo 69.572 ha. Esto quiere decir que las zonas con cobertura vegetal arbórea perdieron un aproximado de 24.3% de su territorio inicial. Esta categoría presentó una tasa anual de cambio de -1,38%, lo cual es equivalente a una pérdida de 1.118 ha al año (Tabla 1).

Al compararse el número de has pérdidas de la vegetación arbórea con la de los humedales, podemos observar que presenta una diferencia mínima de tan solo unas 300 ha aproximadamente. Sin embargo, proporcionalmente los humedales exhiben un impacto mucho mayor, ya que estos perdieron alrededor del 67% de su territorio inicial en comparación a la vegetación arbórea que perdió el 24,3%. Esto no minusvalora el obvio deterioro que la vegetación arbórea manifiesta, sino que, por el contrario, es una muestra de que el impacto ambiental se extiende sobre una gran variedad de ecosistemas.

Tabla 1. Usos por categoría de la Zona Metropolitana de Villahermosa

2000	2020	Diferencia	Tasa de cambio anual
------	------	------------	----------------------

Categoría	Ha	%	Ha	%	Pérdida	Ganancia	%	Ha
Humedales	33.822	15,0	11.193	4,97	22.629,3	0	-5,38	-1.131,5
Asentamientos humanos	3.868	1,72	6.114	2,71	0	2.245,5	2,31	112,27
Vegetación arbórea	91.936	40,80	69.572	30,88	22.364	0	-1,38	-1.118,2
Pastizales	95.682	42,47	138.430	61,44	0	42.747,84	1,86	2.137,39

Elaboración propia.

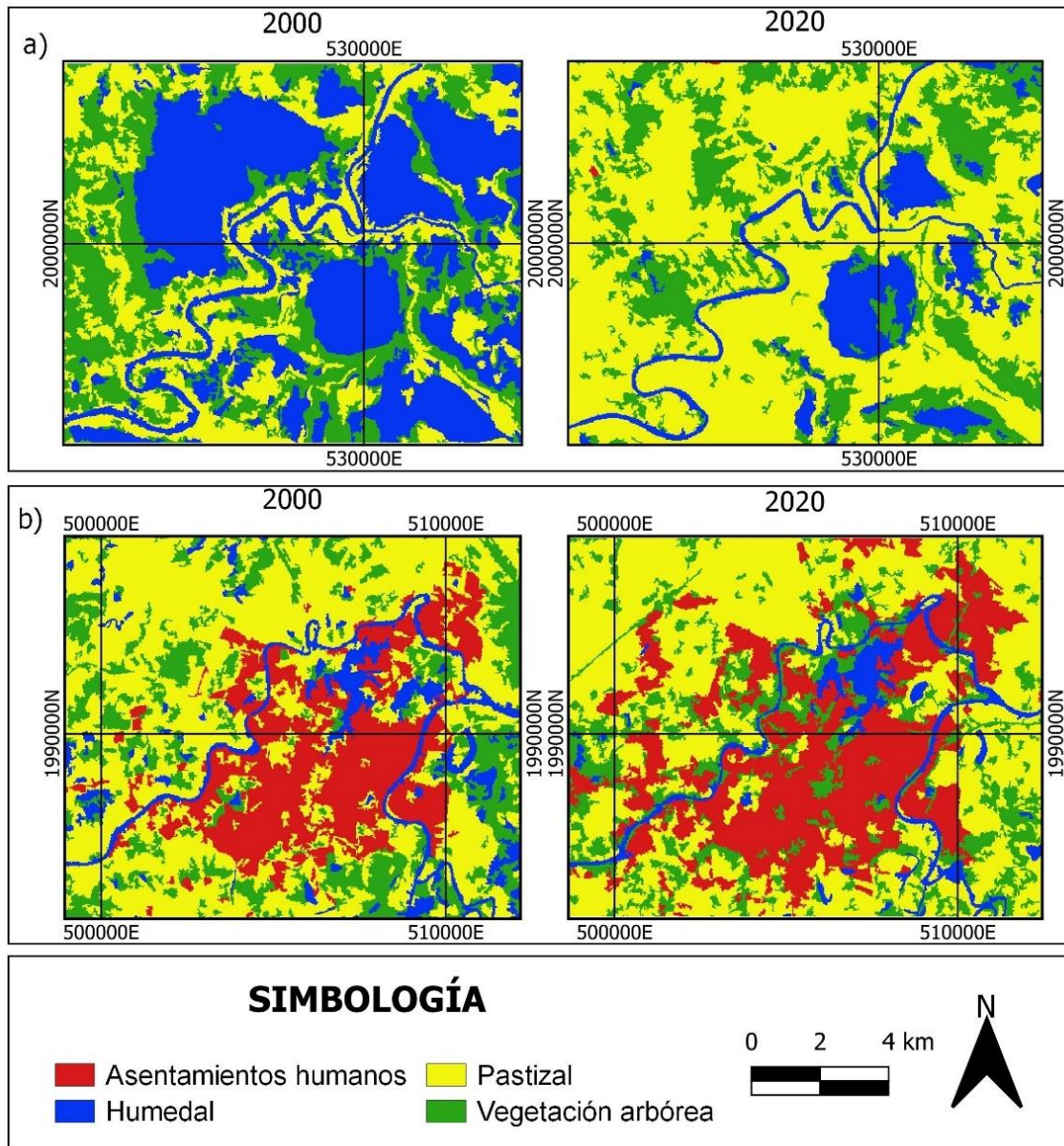
3.3 Crecimiento de la mancha urbana

Para el año 2000 en la ZMV los asentamientos humanos presentaron una cobertura de 6.878 ha lo que es equivalente a 1.7% del territorio total (Tabla 1). Para el año 2020 obtuvo una ganancia final de 2.236 ha, aumentando su territorio a 6.114 ha. Esta categoría presentó una tasa anual de cambio de 2,26%, equivalente a crecer 112 ha por año. En la Figura 5, se observa como en las zonas aledañas a zona urbana de Villahermosa muchas áreas que anteriormente pertenecían a zonas de vegetación arbórea o humedales fueron absorbidas o fragmentadas como consecuencia de la urbanización y actividades antropogénicas.

3.4 Aumento de coberturas de pastizales

Para el año 2020, los pastizales ocupaban alrededor del 42,5% del total del territorio equivalente a 95.682 ha, con estas cifras se posicionó como la categoría predominante dentro de la ZMV. Pese a esto, ha habido un crecimiento constante de estas zonas llegando a ocupar el 61,4% para el 2020, lo que equivale a una cobertura final de 138.430 ha (Tabla 1). Aunque su tasa anual de cambio es de 1,86%, el cual es más bajo que el de los asentamientos humanos, su equivalente en ha es mucho mayor, ya que indica que los pastizales aumentan en un promedio de 2.137 ha al año. En los 20 años que abarcan este estudio, los pastizales crecieron en un 44,6%, es decir, tuvo una ganancia final de 42.747 ha (Tabla 1). En algunas áreas como por ejemplo la zona urbana de Villahermosa y la comunidad rural del Cocoyol se notó un aumento considerable de esta cobertura, tomando el lugar de lo que antes eran humedales y vegetación arbórea (Figura 5).

Figura 5. Evolución del cambio y usos del suelo dentro de la ZMV del 2000 al 2020. a) Comunidad rural Cocoyol. b) Zona urbana de Villahermosa.



Elaboración propia.

4. Discusión de resultados

En el estudio realizado, el área analizada está ocupada mayormente por coberturas de pastizales, las cuales van en constante aumento; al igual que las zonas ocupadas como asentamientos humanos. Por el lado contrario, las coberturas de humedales son las que recibieron un mayor impacto por las dinámicas en el cambio y usos del suelo, perdiendo una gran parte de su territorio inicial, esta condición es predominante en el ecosistema urbano de la ZMV, a pesar de que los humedales y las zonas de vegetación proporciona servicios ecosistémicos fundamentales y que están asociados con la riqueza natural y la diversidad de especies. Estos impactos se relacionan con las grandes inundaciones del 2007 y 2008, que

afectaron aproximadamente 1.500 localidades y dañaron hasta el 75% de la población, causando enormes pérdidas millonarias en la infraestructura urbana; cultivos agrícolas, comercio y vivienda, principalmente en Villahermosa (Álvarez y Tuñón, 2016; Perevochtchikova y Lezama, 2007; García-García y Kauffer-Michel, 2011). Este hecho resalta la importancia de conservar y cuidar los recursos hídricos protegiendo y estableciendo corredores biológicos interurbanos (Gastezzi-Arias *et al.*, 2017). Esta situación se ve asociada a que en las zonas urbanas se da prioridad a los procesos de crecimiento urbano e infraestructura por sobre las necesidades de conservación y protección ambiental (Benegas *et al.*, 2021). Las coberturas de humedales y vegetación tienden a disminuir en gran medida para darle paso al crecimiento de la mancha urbana y principalmente a la categoría de pastizal utilizado principalmente en actividades antropogénicas como agricultura y ganadería (Kolb y Galicia 2012; Domínguez *et al.*, 2019). Esta predisposición en el cambio y usos del suelo también se ha presentado en otros estudios, como en el caso de la región Soconusco, Chiapas donde se registró una pérdida del 16,3% de la cobertura original de manglares en un lapso de 1994 a 2011 (Romero-Berny *et al.*, 2015). En los resultados de Vázquez-González *et al.* (2019) en la conurbación de Veracruz- Boca del río- Medellín, se registró una pérdida de 965,66 ha de humedales costeros entre los años 1980-2010, entre los cuales se encuentran pastizales inundados, ciénagas de agua dulce y manglares. También, en las costas de Fujian, China se registró una pérdida sin precedentes de humedales costeros con un área de 47.687 ha entre los años 1994 al 2018, muchos de estos fueron convertidos en puertos, estanques de acuicultura y áreas urbanas (Wu *et al.*, 2022).

Por el mismo lado, la deforestación de la vegetación arbórea y la transformación de las zonas de humedales es una consecuencia subyacente de la construcción y desarrollo de carreteras e infraestructura, como lo revela un estudio realizado por Penfound y Vaz (2022), en el sur de Ontario, E.U. en un periodo de más de 200 años (1800-2019) experimentaron una pérdida aproximada del 68% de los humedales, teniendo como causa principal carreteras y vías ferroviarias. Estos ecosistemas son unos de los más afectados por megatendencias como el cambio climático, la urbanización, el rellanado de las zonas de amortiguamientos de aguas y el crecimiento demográfico (Holland *et al.*, 2011; Ma *et al.*, 2014). Todos estos acontecimientos provocan una aceleración en la dinámica del cambio y usos del suelo y el agua, especialmente en zonas costeras y de deltas fluviales.

México cuenta con un total de 142 sitios Ramsar y uno de ellos se encuentra en el estado de Tabasco en el municipio de Centla, conocido como La Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla (RAMSAR, 2018). Pese a que la convención de Ramsar deja muy en claro la importancia que tienen los humedales para la vida de los seres humanos y del planeta, es muy poco o casi nulo el esfuerzo que se ejerce para el manejo y conservación de los demás humedales presentes en el estado y el resto del país (Middleto, 2021). El estado de degradación generalizado de este hábitat muestra que se deben establecer medidas de adaptación para el cuidado y conservación de estos ecosistemas y su biodiversidad (Blann *et al.*, 2009).

En la ZMV la categoría de vegetación arbórea tuvo una pérdida final de 22.364 ha en un lapso de 20 años. De esta zona, en el municipio de Centro el uso del suelo de acuerdo con Barba-Macías *et al.* (2006) estaba representado los humedales palustres con el 25,56%, lacustres con el 4,87%, mientras que los pastizales con el 53,54%, agricultura con 9,08% y superficie urbana con el 1,47%. Según Gallardo-Cruz *et al.* (2019), en la cuenca del río Usumacinta, en la parte que ocupa la región tabasqueña se registró una pérdida de 35.700 ha de cobertura arbórea entre los años 2000-2013. Esto representa tan solo el 1% de toda la

vegetación arbórea que desapareció en toda la república mexicana. Un estudio similar realizado en el estado de Tabasco por Gallardo-Cruz *et al.* (2021) registró una pérdida de vegetación arbórea en los municipios de Balancán y Tenosique de 17.000 y 10.000 ha respectivamente, impulsada principalmente por actividades económicas como la agricultura, ganadería y plantaciones de palma de aceite. En otro estudio realizado por Escobar *et al.* (2021), en la zona del Soconusco, Chiapas determinaron que las coberturas de vegetación natural y semi-natural sufrieron un decremento, por ejemplo, las categorías de bosques y bosques perturbados pasaron de ocupar un 4,5% y 32,4% respectivamente, a reducirse a un 3,4% y 29,7% en un periodo de 25 años (1990-2015). Investigaciones recientes (Belay y Mengistu 2019; Calzada *et al.*, 2018; Tuffour-Mills *et al.*, 2020) concuerdan en afirmar que la dinámica principal en los procesos de cambio y usos del suelo es la transformación de bosques, vegetación arbórea y secundaria a pastizales para usos agrícolas y ganaderos. Además, en estas regiones también se registran procesos como deforestación y la reducción de sistemas agroforestales.

Como se mencionó anteriormente, existen muchas razones por que la una ciudad tiende a crecer tan aceleradamente entre las cuales están el crecimiento demográfico y las aglomeraciones de la población rural. Incluso desde comienzos del siglo XXI, México ha sido considerado como un país con una tendencia alta de urbanización, en donde las 57 zonas metropolitanas presentes en el país albergaban un aproximado del 83% de su población urbana (Garza y Schteingart 2010). En la ZMV los asentamientos humanos presentaron una tasa anual de cambio de 2,26%, es decir, crece un promedio de 112 ha al año. Menciona Mendoza-Ponce (2021), que dentro de la cuenca del Usumacinta los asentamientos humanos presentaron una tasa anual de cambio de 10,3% equivalente a 14.479 ha en un periodo de 7 años (2005-2012). Según Zaragoza *et al.* (2016) la modernización, urbanización y el crecimiento demográfico generan un alto grado de disturbio sobre los ecosistemas circundantes. Para el caso de la zona lacustre de Xochimilco, México esto ha ocasionado contaminación del aguay del aire, pérdida de diversidad biológica y cultural y ruptura del ciclo del agua.

Analizar el crecimiento urbano es un proceso muy importante porque permite conocer de manera espacio-temporal el desarrollo de una ciudad. De esta manera podemos observar la expansión y desplazamiento de la mancha urbana, al igual que los cambios y la ruptura sobre las coberturas circundantes. Existen muchas razones por la que una ciudad tienda a crecer tan aceleradamente, entre ellas se encuentran principalmente el crecimiento demográfico, la inmigración y las aglomeraciones de la población rural que buscan mejores condiciones en su calidad de vida. En el sureste de la república mexicana, se dio un impulso en el desarrollo de las zonas urbanas debido al boom petrolero que surgió por la década de los 70 (Allub & Michel, 1979; Pinkus-Rendón & Contreras-Sánchez, 2012; Palomeque-De la Cruz *et al.*, 2017).

En lo que a pastizales corresponde, en el sur de México se ha presentado un crecimiento exponencial de estas coberturas en las últimas décadas impulsadas por la demanda de carne a nivel global y el carente nivel tecnológico y práctico de los sistemas agroproductivos (Gómez *et al.*, 2002). Para el 2020 estos ocuparon el 61,4% del total del territorio de la ZMV equivalente a 138.430 ha. Caso similar presentan Geissen *et al.* (2009) que registran un aumento de los pastizales en un 179% en el sureste tropical de la república mexicana en un lapso de 1988 al 2003 mientras que otras coberturas como bosque primario disminuyeron en un 17% de su superficie inicial. En otro estudio realizado por López *et al.*, (2019) se evidenció que la deforestación de la selva baja caducifolia en el municipio de Chiapas de

corzo, Chiapas ha dado paso al aumento de las superficies destinadas a actividades agrícolas, principalmente pastizal inducido; el cual es la categoría que mayor cobertura ganó a través de los años. Según Mendoza-Ponce (2021), la agricultura y los pastizales presentan una tasa anual de cambio de 10,9% y 3,1% respectivamente y son unas causas principales de la deforestación de bosques y selvas tropicales en la cuenca del Usumacinta en el sureste de México.

Los pastizales naturales son biomas que juegan un papel ecológico importante como productores de recursos, corredores biológicos, capturadores de carbono, entre muchos otros servicios ecosistémicos. Por otro lado, los pastizales inducidos o cultivados son el resultado de la intervención del ser humano para la ejecución de actividades de producción agrícola y/o ganadera. Estos tienen como práctica usual la usurpación de zonas ocupadas por otras coberturas terrestres como bosques, selvas, humedales, etc. Este es el caso en la ZMV donde se han perdido una gran cantidad de ha de humedales y vegetación arbórea por estas prácticas que están cada vez más en tendencia.

5. Conclusiones

Durante los años 2000-2020, en la ZMV las coberturas de humedales y vegetación arbórea sufrieron modificaciones debido a los patrones de cambio de uso del suelo comunes en las ciudades mexicanas y gran la gran mayoría en Latinoamérica. Esto ocurre principalmente por la cesión de espacios para incrementar las superficies de pastizales y la mancha urbana. Esto genera un gran impacto provocando la pérdida de las funciones ambientales y servicios ecosistémicos. Sobresale la pérdida de la vegetación natural y de grandes superficies de humedales lacustres y palustre que contribuyeron a los grandes eventos de inundación registrados en 2007, 2008, y recientemente en 2020 en Tabasco, que afectaron principalmente a la Ciudad de Villahermosa, causando enormes pérdidas millonarias a todos los sectores económicos. Este trabajo se realizó con el objetivo de divulgar y hacer conciencia acerca del impacto que reciben los humedales debido a las actividades antropogénicas. Además de la información resultante de este estudio puede ser considerada en conjunto con otros estudios y trabajos de investigación para generar programas de desarrollo urbano que se centren en restablecer y conservar los servicios ambientales, ya que esto se traducirá en bienestar socioeconómico para las comunidades y habitantes de esta zona.

Referencias

- Allub, L., & Michel, M. A. (1979). La formación socioeconómica de Tabasco y el petróleo. *Investigación económica*, 38(148/149), 327-355.
- Álvarez, G. D. C. y Tuñón, E. (2016). Vulnerabilidad social de la población desplazada ambiental por las inundaciones de 2007 en Tabasco (México). *Cuadernos de Geografía-Revista Colombiana de Geografía*, 25(1), 123-138. <http://dx.doi.org/10.15446/rcdg.v25n1.52591>
- Al-Masaodi, H.J.O., Al-Zubaidi, H.A.M. 2021. Spatial-temporal changes of land surface temperature and land cover over Babylon Governorate, Iraq. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.179>
- Barba-Macías, E., Rangel-Mendoza, J., Ramos-Reyes, R. 2006. Clasificación de los humedales de Tabasco mediante sistemas de información geográfica. *Universidad y Ciencia* 22: 101–110.

- Bekessy, S.A., White, M., Gordon, A., Moilanen, A., McCarthy, M.A., Wintle, B.A. 2012. Transparent planning for biodiversity and development in the urban fringe. *Landscape and Urban Planning* 10: 140–149.
- Belay, T., Mengistu, D.A. 2019. Land use and land cover dynamics and drivers in the Muga watershed, Upper Blue Nile basin, Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 15. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100249>
- Benegas, L., Rojas, A., Iraheta, A., Cárdenas, J. 2021. Análisis del componente arbóreo y su contribución a los servicios ecosistémicos en la ciudad de Turrialba, Costa Rica. *Ecosistemas* 30: 1–10.
- Berlanga-Robles, C.A., Ruiz-Luna, A., Lanza Espino, G. 2008. Esquema de clasificación de los humedales de México. *Investigaciones Geográficas* 66: 25–46.
- Blann, K.L., Anderson, J.L., Sands, G.R., Vondracek, B. 2009. Effects of Agricultural Drainage on Aquatic Ecosystems: A Review. <http://dx.doi.org/10.1080/10643380801977966> 39: 909–1001.
- Calzada, L., Meave, J.A., Bonfil, C., Figueroa, F. 2018. Lands at risk: Land use/land cover change in two contrasting tropical dry regions of Mexico. *Applied Geography* 99: 22–30.
- Camacho-Valdez, V., Tello-Alcaide, E.M., Wootton, A., Valencia-Barrera, E. 2019. Land Use Change and Urban Ecosystem Services: A Case Study of Urban Wetlands in a Rapidly Sprawling City in the Highlands of Chiapas, Mexico. *Journal of Management and Sustainability* 9: 67.
- Castelán, R., Contreras, A., Tapia, O. 2015. Los últimos humedales en el Distrito Federal: Xochimilco y Tláhuac, servicios ambientales y la ruta hacia su preservación. En *Gestión de humedales españoles y mexicanos. Apuesta conjunta por su futuro*, pp. 43–69.
- Díaz Perera, M.Á. 2014. La construcción de las condiciones históricas de posibilidad de un desastre: el caso de dos colonias de Villahermosa, Tabasco. En *Montañas, pueblos y agua. Dimensiones y realidades de la cuenca Grijalva*, pp. 181–212. México D.F.
- Domínguez Bautista, R.J., Tobías Baeza, A., Ruiz Acosta, S. del C., Salvador Morales, P., Galindo Alcántara, A., Arrieta Rivera, A., Sánchez Hernández, R. 2019. Almacenamiento de carbono y agua en un área periurbana de Tabasco. *Terra Latinoamericana* 37: 197–208.
- Escobar Flores, R.E., Castillo Santiago, M.Á. 2021. Cambios en la cobertura y uso del suelo en la región del Soconusco, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12: 46–69.
- Gallardo-Cruz, J., Fernández-Montes, A. 2021. Escenarios de pérdida de cobertura arbórea en la cuenca baja del Usumacinta, en Tabasco: impactos demográficos y de las vías de comunicación en la región. En *Impacto de las vías de comunicación sobre la fauna silvestre en áreas protegidas*, pp. 204–219. *Ecología Aplicada del Sureste A.C.*, Chetumal, Quintana Roo.
- Gallardo-Cruz, J., Fernández-Montes, A., Rives, C. 2019. Detección de amenazas y oportunidades para la conservación en la cuenca baja del Usumacinta a partir de técnicas de percepción remota. *Revista Ecosistemas* 28: 82–99.
- Garilli, E., Bruno, N., Autelitano, F., Roncella, R., Giuliani, F. 2021. Automatic detection of stone pavement's pattern based on UAV photogrammetry. *Automation in Construction* 122. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103477>

- García García, A., & Kauffer Michel, E. F. (2011). Las cuencas compartidas entre México, Guatemala y Belice: un acercamiento a su delimitación y problemática general. *Frontera norte*, 23(45), 131-161.
- Garza, G., Schteingart, M. 2010. Los grandes problemas de México II Desarrollo Urbano y Regional. El Colegio de México, D.F. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/3397300204E80BC705257C2100600F59/\\$FILE/1_pdfsam_Desarrollo_Urbano_y_Regional.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/3397300204E80BC705257C2100600F59/$FILE/1_pdfsam_Desarrollo_Urbano_y_Regional.pdf)
- Gastezzi-Arias, P., Alvarado-García, V., Pérez-Gómez, G. 2017. La importancia de los ríos como corredores interurbanos. *Biocenosis* 31. 1-2. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/1725>
- Geissen, V., Sánchez-Hernández, R., Kampichler, C., Ramos-Reyes, R., Sepulveda-Lozada, A., Ochoa-Goana, S., de Jong, B.H.J. *et al.*, 2009. Effects of land-use change on some properties of tropical soils — An example from Southeast Mexico. *Geoderma* 151: 87–97.
- Glenn, N.F., Neuenschwander, A., Vierling, L.A., Spaete, L., Li, A., Shinneman, D.J., Pilliod, D.S. *et al.*, 2016. Landsat 8 and ICESat-2: Performance and potential synergies for quantifying dryland ecosystem vegetation cover and biomass. *Remote Sensing of Environment* 185: 233–242.
- Guerra Martínez, V., & Ochoa Gaona, S. (2006). Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990-2000). *Investigaciones geográficas*, (59), 7-25.
- Gómez, H., Tewolde, M., Nahed, J. 2002. Análisis de los sistemas ganaderos de doble propósito en el centro de Chiapas, México. *Archivos Latinoamericanos* 10: 175–183.
- de Groot, R., Brander, L., Van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernand, F., Braat, L., Van Buekerling, P. 2012. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services* 1: 50–61.
- Henny, C. y 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>
- Hernández Henao, S. 2015. Indicadores de calidad ambiental de humedales. Universidad catolica de manizales, facultad de ingeniería y arquitectura. <https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/1136/1/Santiago%20Hernandez%20Henao.pdf>
- Hernández Melchor, G. I., Ruíz Rosado, O., Sol Sánchez, Á., & Valdez Hernández, J. I. (2016). Cambios de uso del suelo en manglares de la costa de Tabasco. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(SPE14), 2757-2767.
- Hernández, H. M. M. (2011). Inundación, reubicación y cotidianidad. El caso de Villahermosa, Tabasco, 2007. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, Unidad Golfo, 133 pp., Xalapa, México. Recuperado de <http://docencia.ciesas.edu.mx/Tesis/PDF/488.pdf>
- Hettiarachchi, M., Morrison, T. H., Wickramsinghe, D., Mapa, R., De Alwis, A. y McAlpine, C. A. (2014). The eco-social transformation of urban wetlands: A case study of Colombo, Sri Lanka. *Landscape and Urban Planning*, 132, 55–68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.08.006>
- Holland, T.L., Romero, J.M., Davidson-Arnott, R., Cardille, J. 2011. Landscape changes in a coastal system undergoing tourism development: implications for Barra de Navidad Lagoon, Jalisco, Mexico. *Investigaciones Geográficas* 74: 7–18.

- Horwitz, P., Finlayson, C.M. 2011. Wetlands as Settings for Human Health: Incorporating Ecosystem Services and Health Impact Assessment into Water Resource Management. *BioScience* 61: 678–688.
- INEGI. 2021. Censo de Población y Vivienda 2020. Disponible en: [https://www.inegi.org.mx/app/cpv/2020/resultadosrapidos/default.html?texto=comalcalco tabasco](https://www.inegi.org.mx/app/cpv/2020/resultadosrapidos/default.html?texto=comalcalco%20tabasco) [Consultado el 6 de septiembre de 2021].
- Jiménez, A., Galindo, A., Ruiz, S., Palomeque, M.Á. 2018. Delimitación y caracterización de la cuenca del río Teapa en la cuenca baja del río Grijalva. Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca.
- Kolb, M., Mas, J. F., & Galicia, L. (2013). Evaluar los impulsores del cambio de uso de la tierra y los modelos potenciales de transición en un panorama complejo en el sur de México. *Revista Internacional de Ciencias de la Información Geográfica*, 27(9), 1804-1827. doi: 10.1080/13658816.2013.770517
- Kolb, M., Galicia, L. 2012. Challenging the linear forestation narrative in the Neo-tropic: regional patterns and processes of deforestation and regeneration in southern Mexico. *The Geographical Journal* 178: 147–161.
- Landgrave, R., Moreno Casasola, P. 2011. Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México Quantitative assessment of wetland loss in Mexico. *Investigación Ambiental* 4: 19–35.
- Linares Zarco, J. 2012. La importancia económica de los municipios en el México del siglo XXI. *Región y Sociedad* XXIV: 35–61.
- López, A., Ríos, M., Flamenco, A., Farfán, M. 2019. Análisis y modelación espacial de los patrones de deforestación (2005-2025) en la microcuenca La Unión del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas. *Sociedad y Ambiente* 7: 117–143.
- Maltby, E. y Acreman, M. C. (2011). Ecosystem services of wetlands: pathfinder for a new paradigm. *Hydrological Sciences Journal*, 56, 1341-1359. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.631014>
- Ma, Z., Melville, D.S., Liu, J., Chen, Y., Yang, H., Ren, W., Zhang, Z. *et al.*, 2014. Rethinking China's new great wall. *Science* 346: 912–914.
- Martínez-Santos, P., Díaz-Alcaide, S., De la Hera-Portillo, A., Gómez-Escalonilla, V. 2021. Mapping groundwater-dependent ecosystems by means of multi-layer supervised classification. *Journal of Hydrology* 603. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126873>
- Mendoza-Ponce, A., Corona-Núñez, R.O., Nava, L.F., Estrada, F., Calderón-Bustamante, O., Martínez-Meyer, E., Carabias, J. *et al.*, 2021. Impacts of land management and climate change in a developing and socioenvironmental challenging transboundary region. *Journal of Environmental Management* 300: 1–10.
- Middleton, B.A. 2021. Worldwide Wetland Loss and Conservation of Biodiversity and Ecosystem Services. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences.
- Moreno-Casasola, P. (2008). Los humedales en México: tendencias y oportunidades. *Cuadernos de biodiversidad*, (28), 10-18. <https://doi.org/10.14198/cdbio.2008.28.02>
- Moya, B. V., Hernández, A.E., Elizalde Borrell, H. 2005. Los humedales ante el cambio climático. *Investigaciones Geográficas (Esp)* 127–132.
- Naim, M.N.H., Kafy, A.-A. 2021. Assessment of urban thermal field variance index and defining the relationship between land cover and surface temperature in Chattogram city: A remote sensing and statistical approach. *Environmental Challenges* 4: 100107.

- Navarro, J.M., & Toledo, H. (2004). Transformación de la cuenca del río Grijalva. *Revista Noticias AMIP*, 4(16), 11-22. Recuperado de <http://www.amip.org.mx/htm/RevAMIP/A4NUM16/AMIP41611.pdf>
- Palacio-Prieto, J., Sánchez-Salazar, M., Casado Izquierdo, J., Propin Frejomil, E., Delgado Campos, J., Velázquez Montes, A., Chias Becerril, L. *et al.*, 2004. Indicadores para la caracterización y ordenamiento del territorio. *Instituto de Geografía* 21–39.
- Palomeque-De la Cruz, M., Galindo-Alcántara, A., Escalona-Maurice, M.J., Ruiz-Acosta, S.D.C., Sánchez-Martínez, A.J., Pérez-Sánchez, E. 2017. Análisis del cambio de uso del suelo en un ecosistema urbano en la zona de drenaje del Río Grijalva, México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 23: 105–120.
- Palomeque de la Cruz, M.Á., Galindo Alcántara, A., Pérez Sánchez, E., de Jesús Sánchez, A., Escalona Maurice, M.J. 2017a. Modelos geomáticos con base en transición para el análisis espacial en Villahermosa, Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8, 253-267.
- Palomeque de la Cruz, M.Á., Galindo Alcántara, A., Sánchez, A.J., Escalona Maurice, M.J. 2017b. Pérdida de humedales y vegetación por urbanización en la cuenca del río Grijalva, México. *Investigaciones Geográficas* 151–172.
- Perevochtchikova, M. y Lezama, T. J. L. (2010). Causas de un desastre: Inundaciones del 2007 en Tabasco, México. *Journal of Latin American Geography*, 9(2), 73-98. <https://doi.org/10.1353/lag.2010.0010>
- Penfound, E., Vaz, E. 2022. Analysis of 200 years of change in ontario wetland systems. *Applied Geography* 138: 1–15.
- Perevochtchikova, M., Lezama, T.J.L. 2010. Causas de un desastre: inundaciones del 2007 en Tabasco, México. *Latin American Geography* 9: 73–98.
- Qin, Q., Xu, D., Hou, L., Shen, B., Xin, X. 2021. Comparing vegetation indices from Sentinel-2 and Landsat 8 under different vegetation gradients based on a controlled grazing experiment. *Ecological Indicators* 133: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108363>.
- Ramos, R., Palomeque, M. 2019. La gran inundación del 2007 en Villahermosa, Tabasco, México: antecedentes y avances en materia de control. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* 39: 387–413.
- RAMSAR. 2018. Perspectiva mundial de los humedales. Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas 2018. Gland, Suiza.
- Rivera Berganza, J.R. 2014. Evaluación de los servicios ambientales agua, biodiversidad, suelo y carbono en la finca Los mangos, Estanzuela, Zacapa. Universidad Rafael Landívar. <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2014/06/09/Rivera-Julio.pdf>
- Sánchez-Colón, S., Flores-Martínez, A., Cruz-Leyva, I. A., & Velázquez, A. (2009). Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. En Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (Ed.), *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio, (pp. 75-129). México
- Romero-Berny, E., Acosta-Velázquez, J., Tovilla-Hernández, C., Schmook, B., Gómez-Ortega, R. 2015. Cambios de cobertura y fragmentación de manglares en la región del Soconusco, Chiapas, México, 1994-2011. *Revista Geográfica de América Central* 153–169.
- SERNAPAM. 2012. Áreas Naturales Protegidas del Estado de Tabasco. Villahermosa, Tabasco. https://transparencia.tabasco.gob.mx/media/RN/76/110059_2.pdf

- Tuffour-Mills, D., Antwi-Agyei, P., Addo-Fordjour, P. 2020. Trends and drivers of land cover changes in a tropical urban forest in Ghana. *Trees, Forests and People* 2: 100040.
- Vázquez-González, C., Moreno-Casasola, P., Peralta Peláez, L.A., Monroy, R., Espejel, I. 2019. The value of coastal wetland flood prevention lost to urbanization on the coastal plain of the Gulf of Mexico: An analysis of flood damage by hurricane impacts. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 37: 1–12.
- Vidal, L., Vallarino, A., Benítez, I., Correa, J. 2015. Implementación del plan estratégico Ramsar en humedales costeros de la Península de Yucatán: normativas y regulación. *Latin American Journal of Aquatic Research* 43: 873–887.
- Villanueva, R. 2019. Restauración exitosa de los humedales costeros y la recuperación de sus servicios ambientales en América. *El Colegio de la Frontera Sur*, Chetumal.
- Wu, W., Zhi, C., Gao, Y., Chen, C., Chen, Z., Su, H., Lu, W., Tian, B. 2022. Increasing fragmentation and squeezing of coastal wetlands: Status, drivers, and sustainable protection from the perspective of remote sensing. *Science of The Total Environment* 811: 1–11.
- Zaragoza, R., Landázuri, G., Vega, E. 2016. Disturbio antropogénico como consecuencia del crecimiento urbano. El caso de la zona lacustre y de montaña en la delegación Xochimilco, México. *Sociedad y ambiente* 4: 42–67.
- Zavala, J. y Castillo, A. O. (2007). Cambio de uso de la tierra en el estado de Tabasco. En D. J. Palma y A. Triano (Eds.), *Plan de uso sustentable de los suelos del estado de Tabasco* (vol, II, pp. 38–56). Villahermosa: Colegio de Posgraduados. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/293958386_Plan_de_uso_sustentable_de_los_suelos_de_Tabasco_Vol_II