



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
División Académica de Ciencias Biológicas



“IMPACTO EN LOS RECURSOS NATURALES POR EL CRECIMIENTO URBANO EN CIUDADES DEL SURESTE MEXICANO”

Trabajo recepcional, en la modalidad de:

Tesis Maestría

Para obtener el grado en:

Maestría en Ciencias Ambientales

Presenta:

Lupita Herminia Triana Acevedo

Directores:

Dr. Adalberto Galindo Alcántara
Dr. Miguel Ángel Palomeque de la Cruz

Villahermosa, Tabasco, México

Junio, 2022



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



2022 Flores
Año de Magón
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN

Villahermosa, Tab., a 08 de Marzo de 2022

ASUNTO: Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
PRESENTE**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza a la **C. LUPITA HERMINIA TRIANA ACEVEDO** egresada de la Maestría en **CIENCIAS AMBIENTALES** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **"IMPACTO EN LOS RECURSOS NATURALES POR EL CRECIMIENTO URBANO EN CIUDADES DEL SURESTE MEXICANO"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E


DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

C.c.p. - Expediente Alumno de la División Académica
C.c.p.- Interesado



DIRECCIÓN



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



2022 **Flores**
Año de **Magón**
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN

MARZO 08 DE 2022

**C. LUPITA HERMINIA TRIANA ACEVEDO
PAS. DE LA MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales titulado: **"IMPACTO EN LOS RECURSOS NATURALES POR EL CRECIMIENTO URBANO EN CIUDADES DEL SURESTE MEXICANO"**, asesorado por el Dr. Adalberto Galindo Alcántara y Dr. Miguel Ángel Palomeque de la Cruz sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado integrado por la Dra. Silvia del Carmen Ruiz Acosta, Dr. Miguel Alberto Magaña Alejandro, Dr. Adalberto Galindo Alcántara, MIH. Tania Gudelia Núñez Magaña y Miguel Ángel Palomeque de la Cruz.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE

DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR

C.c.p.- Expediente del Alumno.
C.c.p.- Archivo

U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



División
Académica
de Ciencias
Biológicas

Jefatura de Posgrado



2022 Ricardo Flores Magón
Año de Magón
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

Villahermosa, Tabasco a 22 febrero de 2022.

C. LUPITA HERMINIA TRIANA ACEVEDO
EST. DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
PRESENTE

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad, y por instrucciones de la Dirección de Posgrado, se implementó la revisión de los documentos recepcionales (tesis), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad, el Reglamento General de Estudios de Posgrado, el Código Institucional de Ética para la Investigación y con los requerimientos para los posgrados en el PNPC-CONACyT.

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones y el reporte de originalidad de su documento recepcional. Con el objetivo de fortalecer y enriquecer el programa de posgrado, el responsable del programa de maestría, realizó la revisión del documento en la plataforma iThenticate, obteniendo el reporte de originalidad, el índice de similitud y emitió las siguientes sugerencias y recomendaciones para dar seguimiento en el documento de tesis del proyecto de investigación: ***“Impacto en los recursos naturales por el crecimiento urbano en ciudades del sureste mexicano”***.

OBSERVACIONES:

1. El índice de similitud obtenido fue de 7%, el cual se considera razonablemente bajo y dentro del estándar (15 - 20%) de tolerancia de acuerdo a las Políticas y Lineamientos para el uso y manejo del Software Antiplagio de la UJAT.
2. Aun que el índice de similitud obtenido indica coincidencias, éstas se refieren a frases cortas en las secciones de antecedentes y área de estudio. Lo anterior no demerita el trabajo recepcional, por el contrario, se confirma su originalidad. Sin embargo, se recomienda revisar las oraciones identificadas con similitud y ajustarlas a una redacción propia de la estudiante.

KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA

Tel. (993) 358-1500 Ext. 6407. Correo e: posgrado.dacbiol@ujat.mx

Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



**División
Académica
de Ciencias
Biológicas**

Jefatura de Posgrado



2022 Flores
Año de
Magón
PRECURSOR DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

3. Se adjunta, el reporte de revisión de la tesis a través de la herramienta Turnitin iThenticate.
4. Finalmente, se le solicita a la C. Lupita Herminia Triana Acevedo, integrar en la versión final de tesis, este oficio e informe de originalidad, realizado por el Turnitin iThenticate

Sin otro particular al cual referirme, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”


DR. ALLAN KEITH CRUZ RAMÍREZ
JEFATURA DE POSGRADO

UJAT



**DIVISION ACADEMICA
CIENCIAS BIOLOGICAS
JEFATURA DE POSGRADO**

C.C.P. Dr. Adalberto Galindo Alcántara. Director de tesis
Dr. Miguel Ángel Palomeque de la Cruz. Co-Director de tesis
Archivo

KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA

Tel. (993) 358-1500 Ext. 6407. Correo e: posgrado.dacbiol@ujat.mx



Impacto en los recursos naturales por el crecimiento urbano en ciudades del sureste mexicano

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	cienciasagricolas.inifap.gob.mx Internet	531 palabras — 4%
2	www.scielo.org.mx Internet	159 palabras — 1%
3	sursureste.org.mx Internet	90 palabras — 1%
4	www.dgip.unach.mx Internet	34 palabras — < 1%
5	www.diariooficial.gvamundial.com.mx Internet	30 palabras — < 1%
6	revista-agroproductividad.org Internet	27 palabras — < 1%
7	www.ub.edu Internet	16 palabras — < 1%
8	doaj.org Internet	15 palabras — < 1%

CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **"IMPACTO EN LOS RECURSOS NATURALES POR EL CRECIMIENTO URBANO EN CIUDADES DEL SURESTE MEXICANO"**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el día 08 de marzo del dos mil veintidós.

AUTORIZO



LUPITA HERMINIA TRIANA ACEVEDO

DEDICATORIAS

Acto que dedico a Dios por la vida y el entendimiento.

A mi padre Héctor Triana Hernández y mi madre María Herminia Acevedo Hernández, por apoyarme incondicionalmente.

A mis Hermanos por siempre apoyarme y alentarme.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

AGRADECIMIENTOS

Dr. Adalberto Galindo Alcántara, responsable del laboratorio de sistemas de información geográfica por el asesoramiento y revisiones en el proceso de elaboración del presente trabajo.

Dr. Miguel Ángel Palomeque de la Cruz, Coasesor de tesis por el asesoramiento y revisiones en el proceso de elaboración del presente trabajo.

Dra. Adriana Morales Hernández, por el asesoramiento en el proceso de elaboración del presente trabajo.

Dra. Silvia del Carmen Ruíz Acosta, por el apoyo proporcionado en la elaboración del presente trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo brindado con la beca de Maestría, para los posgrados pertenecientes al Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC).

Al Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Tabasco (CCYTET), por otorgarme apoyo económico, mediante la convocatoria Apoyo a la Actividad Académica de los recursos humanos para la ciencia y la tecnología 2021.

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), División académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL), por permitirme el ingreso a la Maestría.

ÍNDICE

RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
CAPÍTULO 1	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	4
1.3 ANTECEDENTES	5
1.4 HIPOTESIS	7
1.5 OBJETIVOS	8
1.5.1 Objetivo general	8
1.5.2 Objetivos específicos	8
1.6 METODOLOGÍA GENERAL	9
1.6.1 Área de estudio	9
1.6.2 Obtención del material cartográfico	11
1.6.3 Digitalización de las categorías de uso y coberturas el suelo y rasterización	12
1.6.4 Land Change Modeler (LCM) for <i>Ecological Sustainability</i>	13
1.6.5 Tasa de cambio de uso del suelo	15
1.7 LITERATURA CITADA	16
CAPÍTULO 2 (Artículo)	21
2.1 Crecimiento urbano y pérdida de recursos naturales en ciudades del Sureste de México	22
2.2 Resumen	23
2.3 Abstract	24
2.4 Introducción	24
2.5 Metodología	26

2.5.1 Área de estudio	26
2.5.2 Elaboración de la base de datos cartográfica.....	28
2.5.3 Modelación del cambio de uso del suelo.....	32
2.5.4 Calculo de las tasas de cambio.....	33
2.6 Resultados y discusión.....	34
2.6.1 Evolución del crecimiento urbano.....	34
2.6.2 La pérdida de recursos naturales y efectos adversos	41
2.7 Conclusiones.....	46
2.8 Referencias	48
CAPITULO 3	56
3.1 DISCUSIÓN GENERAL	56
3.2 CONSIDERACIONES FINALES	59
3.3 LITERATURA CITADA.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de la Región del Sureste de México.....	10
Figura 2 Diagrama metodológico del proyecto de investigación	10
Figura 3 Mapa de la Región del Sureste de México.....	28
Figura 4 Mapas de usos del suelo de las ciudades capitales del Sureste de México	31
Figura 5 Mapas y gráficas de las principales transiciones de las ciudades capitales del Sureste de México.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características de las ortofotos descargadas en la base de datos de INEGI.....	11
Tabla 2 Características de las imágenes satelitales descargadas en Copernicus open Access hub.....	12
Tabla 3 Matriz de tabulación cruzada para dos mapas de diferentes fechas.....	15
Tabla 4 Características de las ortofotos descargadas en la base de datos de INEGI	29
Tabla 5 Características de las imágenes satelitales descargadas en Copernicus open Access hub.....	29
Tabla 6 Promedio de probabilidades Cramer's, y Overall Kappa	33
Tabla 7 Cuantificación del cambio de uso del suelo en las ciudades del Sureste de México	37

RESUMEN

Se determinó la pérdida de recursos naturales ocasionados por la expansión urbana en ciudades capitales de la Región del Sureste de México, empleando modelación del cambio de uso de suelo en dos periodos de tiempo (periodo promedio de 1995-2020). Como resultado global se obtuvo que, el crecimiento urbano total del Sureste de México fue de 44,841 ha, mientras que la pérdida de la vegetación arbórea fue de 33,845. El cálculo de las transiciones o cambios demostró (1) el remplazo de coberturas de vegetación arbórea a uso urbano y (2) el desplazamiento de pastizales a uso urbano. Los efectos de la pérdida de los recursos naturales han sido la pérdida de servicios ecosistémicos de control de inundaciones, protección contra huracanes, regulación de la temperatura, y pérdida de la biodiversidad por la incesante deforestación. El deterioro ambiental por producto del crecimiento urbano insostenible afecta principalmente a la calidad de vida de población con mayor vulnerabilidad en la región. La información generada es primordial para actualizar el conocimiento de las tendencias de los procesos de degradación de los ecosistemas para la planeación urbana y ambiental, siendo primordial que los gobiernos municipales en conjunto con los gobiernos estatales y la federación, rediseñen los programas urbanos o en su caso metropolitanos, los modelos de ordenamiento ecológico territorial, los atlas de riesgos entre otros, que sean sustentables, que respete y actualice las reservas territoriales para regular el crecimiento urbano y periurbanización.

Palabras clave: humedales, vegetación arbórea, uso de suelo

ABSTRACT

The loss of natural resources caused by urban expansion in capital cities of the Southeast Region of Mexico was determined, using land use change modeling in two time periods (average period of 1995-2020). As a global result, it was obtained that the total urban growth of the Southeast of Mexico was 44,841 ha, while the loss of tree vegetation was 33,845. The calculation of the transitions or changes showed (1) the replacement of tree vegetation covers to urban use and (2) the displacement of grasslands to urban use. The effects of the loss of natural resources have been the loss of ecosystem services of flood control, protection against hurricanes, temperature regulation, and loss of biodiversity due to incessant deforestation. Environmental deterioration as a result of unsustainable urban growth mainly affects the quality of life of the most vulnerable population in the region. The information generated is essential to update the knowledge of the trends of the processes of degradation of the ecosystems for urban and environmental planning, being essential that the municipal governments, together with the state governments and the federation, redesign the urban programs or in their metropolitan case, the models of territorial ecological ordering, the risk atlases among others, that are sustainable, that respect and update the territorial reserves to regulate urban growth and periurbanization.

Keywords: wetlands, timberline vegetation, land use

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN

América Latina es la zona geográfica más subdesarrollada más urbanizada del mundo, ya que el 79.5% de su población vive en zonas urbanas debido a grandes transformaciones de las sociedades que en el siglo XX contribuyeron a un explosivo crecimiento urbano donde las constantes migraciones del campo a la ciudad, las transformaciones del mercado y la industrialización modificaron la estructura social permanentemente (Montero & García, 2017; Daude et al., 2017). El desarrollo económico en el siglo XX y las primeras dos décadas del XXI no ha sido sostenido y lleva consigo, fuertes contrastes de pobreza y desigualdad que se relacionan estrechamente con el deterioro ambiental y efectos ambientales severos (Da Cunha & Vignoli, 2009).

México no es ajeno a la situación ambiental que sufren países como China o Brasil en donde hay marcados desarrollos urbanos desiguales con dominio del ámbito económico sobre los espacios naturales, y núcleos de pobreza extrema que afectan a la calidad de vida a las poblaciones más pobres (Cortés, 2015). El crecimiento urbano en México presenta patrones crecimiento típico en gran parte de Latinoamérica donde predominan la fragmentación del paisaje, el aislamiento, la dispersión de centros de población y la exuberante concentración de las poblaciones en las ciudades capitales (Azócar-García, 2010).

El 83% de su población mexicana está concentrado en zonas urbanas, causando una degradación de la vegetación forestal (Velázquez et al., 2002), esto queda en evidencia en el estudio realizado por Méndez, Martínez, Cecon, & Guariguata, (2018), el cual registro una pérdida de los bosques primarios de México, con un 25.7% de cambio de uso del suelo por deforestación durante 25 años, de 1990 a 2015 respectivamente alentado principalmente por la expansión agrícola y urbana.

Estas actividades antropogénicas ocasionan pérdida de biodiversidad, reducción de los servicios ecosistémicos y una disminución de la producción de alimentos básicos para la sobrevivencia humana en las tierras urbanas (Collas et al., 2017). Particularmente se presentan problemáticas muy similares en el Sureste de México, registrando un incremento en la agricultura comercial, misma que se expandió sobre los bosques y selvas afectando de forma severa estos ecosistemas. Provocando la pérdida creciente de la biodiversidad, servicios ecosistémicos y la capacidad productiva del suelo, lo cual trajo consecuencias sociales, económicas y ambientales (Schmitter et al., 2016).

El crecimiento urbano en las ciudades capitales del Sureste de México ha ido en aumento durante finales de la década de los noventa y durante las dos primeras décadas del siglo XXI (Garza, 2002; Schmitter et al., 2016 Michel & Ribardiére, 2017). El proceso de ocupación del suelo se caracteriza por las acciones derivadas de las interacciones sociales entre los ejidatarios y la población que demanda espacio para la vivienda, cuyo único recurso es la ocupación irregular al crecimiento de la mancha urbana, muchas veces fuera de la normatividad establecida en los planes de desarrollo urbano municipal con impactos en los recursos naturales (Jiménez-Sánchez et al., 2021). A pesar de la importancia fisiográfica y ecológica de la Región del Sureste de México, en el pasado, hubo una marcada degradación de los ecosistemas ante un incremento en la agricultura comercial, misma que se expandió sobre los bosques y selvas (Schmitter et al., 2016).

Se desconocen los recientes procesos de urbanización, y la dinámica de las coberturas arbóreas, humedales, y su estrecha relación los efectos ambientales de las últimas tres décadas que han causado estragos, perdidas millonarias y deterioro en la calidad de vida de las poblaciones humanas y no humanas en la región del Sureste de México. Obtener esta información es primordial para establecer estrategias de planeación ambiental, ordenamiento ecológico, territorial, y restauración de ecosistemas y de los servicios ambientales que estos nos proporcionan (Villaseñor et al., 2017).

La importancia estudiar el crecimiento urbano por cambio de uso del suelo permite a obtener los fundamentos cualitativos y cuantitativos para conocer las tendencias de las dinámicas antropogénicas en el territorio (Ramos-Reyes et al., 2016), y de esta manera obtener información primordial para establecer estrategias de planeación ambiental, ordenamiento ecológico, territorial, y restauración de ecosistemas y de los servicios ecosistémicos que estos nos proporcionan (Villaseñor et al., 2017).

Este trabajo tiene como finalidad determinar el impacto ambiental sobre los recursos naturales ocasionado por la expansión urbana de las ciudades capitales del Sureste de México, mediante un análisis del cambio uso de suelo de cada ciudad en dos periodos de tiempo. Este permitirá obtener información fundamental para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, pérdida de humedales continentales y costeros, y sus efectos sobre la biodiversidad, los servicios ecosistémicos, la regulación de la temperatura local y toda su relación con la calidad de vida de las poblaciones humanas y no humanas de la región. Estos resultados son necesario para contribuir en la implementación de nuevos modelos de planificación territorial.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Estudiar la dinámica del cambio de uso del suelo en zonas urbanas, es muy necesario para conocer cómo se distribuyen las diversas coberturas ante la invasión antropogénica, y conocer que zonas son las más desbastadas y los ecosistemas fueron perdidos con la finalidad de buscar alternativas de restauración y conservación (Paegelow et al., 2003; Velázquez et al., 2002; Rosete-Vergés et al., 2008, Pineda-James et al., 2009, Eastman, 2012).

La metodología más utilizada para medir el cambio de uso del suelo es la modelación de la dinámica espacio-temporal (Berry *et al.*, 1996) o análisis de cambios (Turner & Meyer 1994; Velázquez *et al.*, 2002). El análisis espacial, está apoyada por los Sistemas de Información Geográfica y la Teledetección, y proporciona la base para comprender los procesos de remplazo de coberturas naturales por la influencia de las actividades antropogénicas en que influyen en la deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad (Lambin *et al.*, 2001). También es primordial para estudios de la evaluación del impacto ambiental y construcción de escenarios ambientales y sociales-económicos (deseables, y no deseables), con la finalidad de establecer las políticas de ordenamiento ecológico-territorial (Leh & Chaubey, 2011; Paegelow *et al.*, 2003).

Hoy en día, la herramienta más usual es Land Change Modeler (LCM) *for Ecological Sustainability*, que se encuentra orientado al constante problema de la conversión del terreno y a las necesidades de conservación de la biodiversidad. Integra tanto el análisis de los datos raster, la dinámica real de cambios de usos del suelo y la predicción de escenarios (Eastman, 2012; Camacho-Olmedo *et al.*, 2010). LCM está organizado en: 1) análisis de cambio de uso del suelo, 2) cambios futuros, y 3) evaluación del hábitat e impacto sobre la biodiversidad 3 (4) intervenciones de ordenamiento ecológico territorial (Eastman, 2012; Mishra *et al.*, 2014).

1.3 ANTECEDENTES

En este apartado hacemos una descripción cronológica de estudios relevantes sobre la modelación del cambio de uso de suelo por crecimiento urbano en ciudades en México y en la Región Sureste.

Por ejemplo, estudios realizados en México, particularmente en la cuenca del río Metztlán Hidalgo de 1985 a 2007, realizaron un análisis del cambio de uso del suelo. Encontrando un incremento de la mancha urbana del 4.3%, y una deforestación de bosques de coníferas y latifoliadas del 0.5% (Valdez, Aguirre, & Ángeles, 2011).

Otro estudio efectuado en una porción Surponiente del Estado de México (PSEM), mediante un análisis de cambios de coberturas y usos del suelo, indicó una disminución de la cobertura del bosque de 19 262 ha, está perdida asociada principalmente a las actividades agrícolas (Camacho et al., 2015).

López & Plata, (2009) llevaron a cabo un estudio de los cambios de cobertura y usos del suelo en la zona metropolitana de la Ciudad de México de 1990 a 2000, utilizando información cartográfica, sistemas de información geográfica (SIG) y análisis estadístico, el cual demostró un crecimiento de la ciudad del 16% entre los años 1990 a 2000 que influyó en una metropolización abismal.

En la subcuenca del río San Marcos en Puebla, Castelán et al., (2007) realizaron un análisis de cambio de uso del suelo de 1976, 1993 y 2000. Encontrando una degradación en bosques mesófilos de montaña del 62.65% y una degradación en selvas del 62%, causado principalmente por el crecimiento exponencial en la zona urbana del 574%. Por su parte las actividades agrícolas presentaron un aumento exponencial en cultivos permanentes del 151% y pastizal inducido un leve incremento de 7.3% en comparación con el anterior.

Otro estudio efectuado en la Sierra Norte de Puebla (SNP) mediante teledetección y SIG en los periodos 1988 a 2003, demostró un cambio en la cobertura vegetal del

41.6% por las actividades antropogénicas. Cabe destacar que el tipo de cambio con mayor superficie fue el de superficies de pastizal a plantaciones de cafetal con sombra, y vegetación secundaria (Evangelista, López, Caballero, & Martínez, 2010).

En cuanto a la Región Sureste de México, Cortina et al, (1999) llevaron a cabo un análisis de cambio de uso del suelo de 1995 y 1990, en ejidos a lo largo de Escárcega-Chetumal. Encontrando un 25% de degradación en selvas, principalmente por actividades agrícolas, y un notable incremento de las zonas urbanas.

Lo anterior tiene cierta similitud con lo registrado por Gordillo & Castillo, (2016) los cuales evaluaron la dinámica espacio temporal en el territorio de la cuenca del río Sabinal, en Chiapas, México, entre los periodos 1992 a 2009. Demostrando una deforestación del 0.5%, un incremento de las áreas urbanas del 63 %. Debido principalmente al enfoque de desarrollo que actualmente tiene esta región.

Ramos, Sánchez, & Gama, (2016) Identificaron el cambio de uso de suelo en el polígono del municipio de Comalcalco, Tabasco, México de 2000 al 2010. En el cual se observó una disminución del pastizal en 4.06 % (36 595 a 33 448 ha) para emplearlo en el uso agrícola, la urbanización incremento un 23.33 %, pérdida de vegetación hidrófila un 0.81% para sustituirse por pastizales, y por causas naturales el manglar creció un 1.32%.

Palomeque, Galindo, Sánchez, & Escalona, (2017) realizaron un estudio del cambio de uso del suelo en la ciudad de Villahermosa, Tabasco (México) desde 1984 al 2002 Mediante un análisis espacial y una modelación de escenarios futuros del año 2020 al 2040. Los resultados demostraron adversas tasas de degradación en humedales y deforestación de la cobertura arbórea urbana (-0.50 y -4.63 %), el crecimiento urbano insostenible ocasionó la pérdida de 4.008 ha de vegetación arbórea y 289 ha de humedales debido al incremento de la urbanización y los planes Chontalpa, Balancan-Tenosique y el auge petrolero de los años 70.

1.4 HIPOTESIS

La falta de planeación urbana que considere un entorno natural y control sobre el uso del suelo en las ciudades capitales del Sureste de México, está provocando diferentes formas de crecimiento urbano desordenado y pérdida de la vegetación natural que contribuye a la pérdida de la biodiversidad, así como la desaparición grandes superficies de humedales, y fuentes importantes de servicios ambientales de protección contra eventos climatológicos control de inundaciones que afectan directamente a la población.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Determinar el impacto ambiental sobre los recursos naturales ocasionado por la expansión urbana de ciudades del sureste mexicano.

1.5.2 Objetivos específicos

Identificar los recursos naturales afectados por el crecimiento de la mancha urbana para cada una de las ciudades estudiadas.

Determinar la tasa de crecimiento anual de la superficie en las principales ciudades del sureste de México.

Determinar los efectos ambientales del cambio de uso del suelo por crecimiento urbano.

1.6 METODOLOGÍA GENERAL

1.6.1 Área de estudio

La Región Sureste de México, se ubica al Sur del Eje Neovolcánico y desde la Sierra Madre del Sur, ampliándose a las llanuras Costeras del Golfo de México, la gran Península de Yucatán hasta la Cordillera de Centroamérica. Geográficamente, se localiza desde los 20° a los 15° de Latitud Norte, aproximadamente entre los 102 a 87 de Longitud Oeste (INEGI, 2010). Abarca las entidades federativas de Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán (Figura 1), los cuales comparten afinidades ambientales, climáticas, económicas y culturales (Aguilar-Domínguez, 2003).

Forma parte de dos regiones geográficas importantes para su estudio y conocimiento de su riqueza, la parte considerada como Mesoamérica y la región Neotropical, por lo que es una zona importante para la conservación de los ecosistemas. En el territorio predominan diversos ecosistemas de selva tropical húmeda, y posee la riqueza biológica más crucial de México, y se presentan los mayores números de especies de vertebrados, plantas y artrópodos, principalmente en estados como Oaxaca, Veracruz y Chiapas (Llorente-Bousquets & Ocegueda, 2008; Pérez-Bocanegra *et al.*, 2014).

En la región hay distintos tipos de condiciones climáticas, prevaleciendo el tropical húmedo y seco principalmente. Sin embargo, cabe mencionar que la Península de Yucatán, y en especial los estados de Quintana Roo y Yucatán, presentan superficies áridas y semiáridas (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2001). También se dan las condiciones para el desarrollo de ecosistemas de humedales lacustres, palustres y ribereños asociados a pastizales tropicales (principalmente en la llanura del Golfo de México) (Aguilar-Domínguez, 2003).

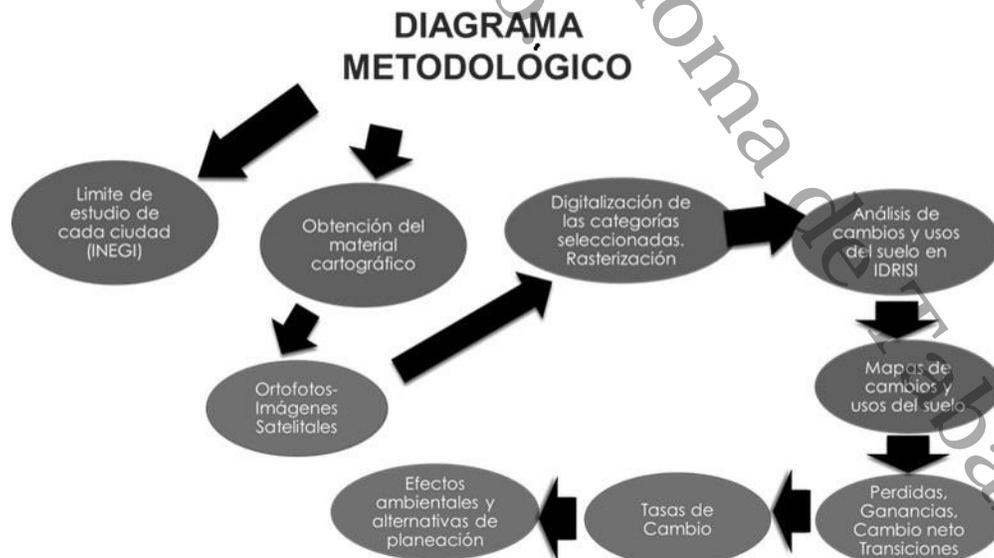
Figura 1 Mapa de la Región del Sureste de México



Fuente: Google Earth

El diagrama metodológico de la obtención del material cartográfico y la modelación del cambio de uso del suelo puede observarse en la figura 2.

Figura 2 Diagrama metodológico del proyecto de investigación



Fuente: Elaboración propia

1.6.2 Obtención del material cartográfico.

Se descargaron siete ortofotos de la plataforma Instituto Nacional de estadística y Geográfica (INEGI) para cada ciudad seleccionada (Villahermosa, Tuxtla, Campeche, Mérida, Chetumal, Playa del Carmen, y Cancún) para el primer periodo de tiempo (Tabla 1), esta serie de ortofotos pueden ser consultadas en la página web del INEGI en <https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/ortoimagenes/>. También se localizaron y descargaron siete imágenes satelitales del sensor SENTINEL 2 con bandas 1,2,3 desde la plataforma *Copernicus open Access hub* para los periodos de tiempo más actuales (Tabla 2), esta información está disponible en <https://scihub.copernicus.eu/>

Tabla 1 Características de las ortofotos descargadas en la base de datos de INEGI.

Estado	Ciudad	Año	Escala	Resolución	Tono	Referencia espacial
Tabasco	Villahermosa	2007	1:10,000	1 m	Color	WGS 1984 UTM Zona 15N
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	2007	1:10,000	1 m	Color	WGS 1984 UTM Zona 15N
Campeche	Campeche	2005	1:10,000	1 m	Blanco y Negro	WGS 1984 UTM Zona 15N
Quintana Roo	Chetumal	1998	1:20,000	2 m	Blanco y Negro	WGS 1984 UTM Zona 16N
	Playa del Carmen	2004	1:20,000	1.5 m	Blanco y Negro	WGS 1984 UTM Zona 16N
	Cancún	2004	1:10,000	1 m	Blanco y Negro	WGS 1984 UTM Zona 16N
Yucatán	Mérida	1995	1:20,000	2 m	Blanco y Negro	WGS 1984 UTM Zona 16N

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2 Características de las imágenes satelitales descargadas en Copernicus open Access hub

Estado	Ciudad	Año	Sensor	Resolución	Tono	Referencia espacial
Tabasco	Villahermosa	2020	SENTINEL 2	10 m	Color	WGS 1984 UTM Zona 15N
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	2020	SENTINEL 2	10 m	Color	WGS 1984 UTM Zona 15N
Campeche	Campeche	2020	SENTINEL 2	10 m	Color	WGS 1984 UTM Zona 15N
Quintana Roo	Chetumal	2019	SENTINEL 2	10 m	Color	WGS 1984 UTM Zona 16N
	Playa del Carmen	2020	SENTINEL 2	10 m	Color	WGS 1984 UTM Zona 16N
	Cancún	2019	SENTINEL 2	10 m	Color	WGS 1984 UTM Zona 16N
Yucatán	Mérida	2019	SENTINEL 2	10 m	Color	WGS 1984 UTM Zona 16N

Fuente: Elaboración propia

1.6.3 Digitalización de las categorías de uso y coberturas el suelo y rasterización

Para estudiar cualitativa y cuantitativamente las coberturas naturales, los usos del suelo y el crecimiento urbano en las catorce imágenes, se llevó a cabo una fotointerpretación a escala 1:15.000. A partir de esto, se crearon dos shapefile con Datum WGS84, Proyección UTM zona 15N, para cada una de las siete ciudades seleccionadas elaborados mediante digitalización, o vectorización en pantalla con el programa Arc GIS 10.5®, en total fueron elaborados catorce shapefile con categorías que variaron entre ciudades: zona urbana, terrenos baldíos, humedales, vegetación arbórea, pastizal y playa.

De acuerdo con la metodología de Ramos-Reyes et al., (2021) los catorce shapefile (vectores) resultantes fueron transformados a formato raster con el comando Polygon to Raster del programa Arc Gis 10.5[®], esta conversión vectorial-raster para obtener pixeles o celdas, facilita la ejecución de los diversos modeladores en los que se incluye Land Change Modeler (LCM) puedan ejecutarse en IDRISI TerrSet[®] con mayor rapidez sin afectar los valores generados en la digitalización de vectores en Arc GIS 10.5[®]. Posteriormente, los catorce archivos convertidos a raster fueron exportados a formato TIFF para facilitar la exportación de los dos archivos al programa IDRISI TerrSet[®] empleando el comando GeoTIFF/Tiff to Idrisi (Figura 2).

1.6.4 Land Change Modeler (LCM) for Ecological Sustainability

Land Change Modeler (LCM) for *Ecological Sustainability* está integrado en el software IDRISI TerrSet[®], y se emplea para obtener un análisis matemático de imágenes raster en dos o más periodos de tiempo, mediante el uso de una matriz de tabulación cruzada que consiste en una tabla con arreglos simétricos que permite ubicar con gran precisión las cantidades de cambio de usos y coberturas, las permanencias y las diversas transformaciones (ganancias, pérdidas, cambio neto y transiciones) (Pontius et al., 2004; Pineda-Jaimes et al., 2009).

Pontius et al., (2004) señala que en la matriz de tabulación cruzada (Tabla 3) las filas representan las categorías del mapa en el tiempo 1 (T1) y las columnas las categorías del mapa en el tiempo 2 (T2).

La diagonal principal interpreta las persistencias entre el T1 y T2, y los valores fuera de la diagonal muestran las transiciones ocurridas entre el T1 y T2 para cada categoría.

En la fila 6 se suma el total ocupado por cada categoría en el T2 ($P+j$), mientras que en la columna 6 el total de cada categoría en el tiempo T1 (P_i+).

La fila 7 muestra la ganancia que tuvo cada categoría entre el T1 y T2 y la columna 7 la pérdida que tuvo cada categoría entre el T1 y T2.

Una vez obtenida la matriz de tabulación cruzada, es posible calcular una serie de parámetros primordiales en la modelación del cambio de uso del suelo (Pontius et al., 2004; Pineda et al., 2009).

Las ganancias, expresadas como la diferencia de la suma total de la fila 6 y los valores de la diagonal principal, es decir $G_{ij} = P_{+j} - P_{jj}$;

Las pérdidas, expresadas como la diferencia de la suma total de la columna 6 y los valores de la diagonal principal, es decir $L_{ij} = P_{j+} - P_{jj}$.

El cambio neto se determina como el valor absoluto de la diferencia de las pérdidas y las ganancias de cada categoría $D_j = |L_{ij} - G_{ij}|$;

Las transiciones, expresado como el doble del valor mínimo de las ganancias o las pérdidas, es decir $S_j = 2 \times \text{MIN} (P_{j+} - P_{jj}, P_{j+} - P_{jj})$.

La matriz de tabulación cruzada (Pontius et al., 2004; Pineda-Jaimes et al., 2009)(Tabla 3) incluye (1) matriz de tabulación cruzada que muestra las cantidades de pixeles o celdas que corresponden a cada combinación de categorías en las imágenes de que se comparan; y (2) un resumen estadístico que incluye Chi Cuadrada (Para juzgar la probabilidad de la asociación, y en los casos donde las categorías de las dos imágenes son idénticas produce un Índice de Acuerdo Kappa total y por categoría (Eastman, 2006).

Tabla 3 Matriz de tabulación cruzada para dos mapas de diferentes fechas

		Tiempo 1			Tiempo 2		
	1	2	3	4	5	6	7
1	Tiempo 1	Clase 1	Clase 2	.....	Clase n	Suma T 1	Perdidas
2	Clase 1	P11	P12	.....	P 1n	P 1+	P 1+ - pjj
3	Clase 2	P21	P22	.....	P2n	P 2+	P 2+ - pjj
4	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
5	Clase n	P n1	Pn2	.....	Pnn	Pn+	Pn+ - pjj
6	Total T2	P+1	P+2	.....	P+n	P	P
7	Ganancias	P+1 - Pjj	P+2 - Pjj	.....	P+n - Pjj		

Fuente: Pontius et al., (2004).

1.6.5 Tasa de cambio de uso del suelo.

Otro indicador que identifica el tipo y magnitud de la presión sobre los recursos naturales es la tasa de cambio de uso del suelo, lo cual indica de manera porcentual el cambio anual de la superficie de una categoría de uso al inicio de cada año de análisis (Velásquez et al., 2002; Palacio et al., 2004). Para su cálculo, se utilizaron las áreas de cada categoría de cobertura y uso de los periodos y regiones de estudio definidas anteriormente (Palacio et al., 2004).

$$d = [(S2/S1)^{1/n} - 1] \cdot 100$$

Dónde:

S1, es el área cubierta por determinado uso del suelo al inicio del período

S2, es el área cubierta por determinado uso del suelo al final del periodo

T, es el número de años transcurridos durante el periodo de análisis.

1.7 LITERATURA CITADA

- Aguilar-Domínguez, Y. (2003). Visión General de las Áreas Naturales Protegidas del Trópico. Veracruz, México: En: *Hacia una evaluación de las áreas naturales protegidas tropicales*. Centro de Investigaciones Tropicales. Universidad Veracruzana. <http://sinacver.mx/anpbook/ANP/Capítulo%202.pdf>.
- Azócar García, G., Aguayo Arias, M., Henríquez Ruiz, C., Vega Montero, C., & Sanhueza Contreras, R. (2010). Patrones de crecimiento urbano en la Patagonia chilena: el caso de la ciudad de Coyhaique. *Revista de Geografía Norte Grande*, (46), 85-104.
- Berry, M. W., Flamm, R. O., Hazen, B. C., & MacIntyre, R. L. (1994). *The Land-use Change Analysis System (LUCAS) for evaluating landscape management decisions*. Knoxville: University of Tennessee.
- Burel, F., & Baudry, J. (2002). Ecología del paisaje. Conceptos, métodos y aplicaciones [Landscape ecology. Concepts, methods and applications]. Madrid: Mundiprensa
- Black, D., & Henderson, V. (1999). Una teoría del crecimiento urbano. *Revista de economía política*, 107(2), 252-284.
- Camacho, J., Pérez, J., Pineda, N., Cadana, E., Bravo, L., & Sánchez, M. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la zona de transición mexicana de montaña. *Madera Bosques*, 21(1), 93–112.
- Castelán Vega, R., Ruiz Careaga, J., Linares Fleites, G., Pérez Avilés, R., & Tamariz Flores, V. (2007). Dinámica de cambio espacio-temporal de uso del suelo de la subcuenca del río San Marcos, Puebla, México. *Investigaciones geográficas*, (64), 75-89.
- Cortés, J. J. S. (2015). El crecimiento urbano de las ciudades: enfoques desarrollista, autoritario, neoliberal y sustentable. *Paradigma económico*, 7(1), 127-149.
- Cortina Villar, S., Macario Mendoza, P., & Ogneva-Himmelberger, Y. (1999). Cambios en el uso del suelo y deforestación en el sur de los estados de Campeche y Quintana Roo, México. *Investigaciones geográficas*, (38), 41-56.

- Collas, L., Green, R. E., Ross, A., Wastell, J. H. y Balmford, A. (2017). Desarrollo urbano, distribución de suelo y ahorro de suelo: la importancia de considerar la restauración. *Revista de ecología aplicada*, 54(6), 1865-1873.
- Daude, C., Fajardo, G., Brassiolo, P., Estrada, R., Goytia, C., Sanguinetti, P., ... & Vargas, J. (2017). *RED 2017. Crecimiento urbano y acceso a oportunidades: un desafío para América Latina*. CAF.
- Da Cunha, J. M. P., & Vignoli, J. R. (2009). Crecimiento urbano y movilidad en América Latina. *Revista Latinoamericana de Población*, 3(4), 27-64.
- Eastman, J. R. (2006). IDRISI Andes Tutorial. Massachusetts. USA: Clark Labs
- Evangelista Oliva, V., López Blanco, J., Caballero Nieto, J., & Martínez Alfaro, M. Á. (2010). Patrones espaciales de cambio de cobertura y uso del suelo en el área cafetalera de la sierra norte de Puebla. *Investigaciones geográficas*, (72), 23-38.
- Garza, G. (2002). Evolución de las ciudades mexicanas en el siglo XX. *Revista de información y análisis*, 19, 7-16.
- Galindo, L. M., Escalante, R., & Asuad, N. (2004). El proceso de urbanización y el crecimiento económico en México. *Estudios demográficos y Urbanos*, 289-312.
- Gallón, J. C. (2003). Modelo Gallón para la evaluación de impactos ambientales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, (13), 103–108. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101311>
- Gordillo, M., & Castillo, M. (2016). Cambio de uso del suelo en la cuenca del río Sabinal, Chiapas, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(10), 39. <https://doi.org/10.19136/era.a4n10.803>
- INEGI. (2010). Marco Geoestadístico. Aguas Calientes, México: INEGI. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/>
- Jiménez-Sánchez, P. L., González-Vera, M. A., Rosas-Ferresca, F. J., & Calderón-Maya, J. R. (2021). Impactos socio ambientales de los asentamientos humanos irregulares en zonas y áreas naturales protegidas: Chetumal, Quintana Roo, México. *Revista Ciudades, Estados y Política*, 8(1). <https://doi.org/10.15446/cep.v8n1.85013>

- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., & Bruce, J. W. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global environmental change*, 11(4), 261-269.
- Leh, M., Bajwa, S., & Chaubey, I. (2013). Impact of land use change on erosion risk: an integrated remote sensing, geographic information system and modeling methodology. *Land Degradation & Development*, 24(5), 409-421.
- López, V., & Plata, W. (2009). Análisis de los cambios de cobertura de suelo derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2000. *Investigaciones Geograficas*, 68, 85–101. <https://doi.org/10.14350/rig.18000>
- Llorente-Bousquets, J., & Ocegueda, S. (2008). Estado del conocimiento de la biota. *Capital natural de México*, 1, 283-322.
- Montero, L., García, J., & Francesa, C. R. (2017). *Panorama multidimensional del desarrollo urbano en América Latina y el Caribe*.
- Michel, A. y Ribardière. (2017). Crecimiento demográfico y formas de urbanización de las pequeñas ciudades en México. *Territorios* (37), 101-121. Doi: <http://dx.doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.4742>
- Mishra, K., Boynton, L., & Mishra, A. (2014). Driving employee engagement: The expanded role of internal communications. *International Journal of Business Communication*, 51(2), 183-202.
- Paegelow, M., Camacho, M. T., & Menor, J. (2003). Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (3), 22-44.
- Palacio-Prieto, J. L.; Sánchez-Salazar, M. T.; Casado, J. M.; Propin, F. E.; Delgado, C. J., & Velázquez, M. A. 2004. Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial. Ciudad de México: SEMARNAT
- Palomeque de la Cruz, M. Á., Galindo Alcántara, A., Pérez Sánchez, E., Sánchez, A. D. J., & Escalona Maurice, M. J. (2017). Modelos geomáticos con base en transición para el análisis espacial en Villahermosa, Tabasco. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), 253-267.

- Pérez-Bocanegra, E., Isaac-Márquez, R., & Ayala-Arcipreste, M. E. (2014). Marco legal y oportunidades de desarrollo de la conservación voluntaria en México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(5), 15-27.
- Perevochtchikova, M. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y política pública*, 22(2), 283-312.
- Pineda-Jaimes, N. B., Bosque-Sendra, J., Gómez-Delgado, M., & Plata-Rocha, W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes: Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones geográficas*. (69). 33-52. <https://www.redalyc.org/pdf/569/56912295004.pdf>
- Pontius Jr, R. G., Huffaker, D. y Denman, K. (2004). Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models. *Ecological Modelling*. 179(4). 445-461. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.05.010>
- Ramos Reyes, Rodimiro, Miguel Ángel Palomeque de la Cruz, y Joel Zavala Cruz. 2021. «Impacto De Las Actividades Agropecuarias Y Petroleras Sobre Las Coberturas Naturales Del Campo Petrolero Samaria, Tabasco». *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas* 12 (8). México, ME:1429-43. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.2767>.
- Ramos-Reyes, R., Sánchez-Hernández, R., & Gama-Campillo, L. M. (2016). Análisis de cambios de uso del suelo en el municipio costero de Comalcalco, Tabasco, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 3(8), 151-160.
- Rosete Vergés, F. A., Pérez Damián, J. L., & Bocco, G. (2008). Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de Baja California, México. *Investigaciones geográficas*, (67), 39-58.
- Schmitter, J., Mariaca, R., & Soto, M. (2016). Una breve historia del conocimiento y uso de la biodiversidad en la frontera sur de México. *Sociedad y Ambiente*, 11, 160–173.
- Segal, D. (1976). Are There Returns to Scale in City Size? *The Review of Economics and Statistics*, 58(3), 339. <https://doi.org/10.2307/1924956>
- Turner, B. L., & Meyer, W. B. (1994). Global land-use and land-cover change: an overview. *Changes in land use and land cover: a global perspective*, 4(3).

- Velázquez, A., Mas, J. F., Gallegos, J. D., Saucedo, R. M., Alcántara, P. C., Castro, R., ... & Palacio, J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta ecológica*, (62), 21-37.
- Valdez, J., Aguirre, C., & Ángeles, G. (2011). Análisis De Los Cambios En El Uso Del Suelo En La Cuenca Del Río Metztlán (México) Usando Imágenes De Satélite: 1985-2007. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, XVII(3), 313–324. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.06.041>
- Villaseñor, N., Tulloch, A., Driscoll, D., Gibbons, P., & Lindenmayer, D. (2017). Compact development minimizes the impacts of urban growth on native mammals. *Journal of Applied Ecology*, 54

CAPÍTULO 2 (Artículo)

- Nombre del artículo: Crecimiento urbano y pérdida de recursos naturales en ciudades del Sureste de México
- Revista: Investigaciones Geográficas (Universidad de Alicante)
- Fecha de envió: 30 de enero 2022
- Características de la revista:

ISSN: 02134691, 19899890

E-ISSN:

Temática: es una revista científica internacional de difusión del conocimiento geográfico.

Institución Editora: Instituto Interuniversitario de Geografía y Universidad de Alicante

Editor (es):

Periodicidad:

Tipo de revisión por pares:

The screenshot shows the journal's website interface. At the top, there are logos for 'Universitat d'Alacant Universidad de Alicante' and 'UA Revistes Científiques'. Below is a navigation bar with 'INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS' and a menu with options like 'INICIO', 'ACERCA DE', 'ÁREA PERSONAL', 'BUSCAR', 'ACTUAL', 'ARCHIVOS', 'ESTADÍSTICAS', 'INDEXACIÓN', and 'EN PRENSA'. The main content area displays the article title '#21813 Resumen' and 'Envío'. It lists authors: Lupita Herminia Triana Acevedo, Miguel Ángel Palomeque de la Cruz, Silvia del C. Ruiz Acosta, and Adalberto Galindo Alcantara. The title is 'Crecimiento urbano y pérdida de recursos naturales en ciudades del Sureste de México'. It shows the original file '21813-58247-3-SM.DOCX' and a complementary file '21813-58249-1-SP.DOCX'. The submission date is 30-01-2022. On the right, there are Scopus and WoS logos, a 'Servicio de ayuda de la revista' link, and social media icons for Instagram, Twitter, and Facebook. A user login section shows 'USUARIO/A' and 'Ha iniciado sesión como... galager'. At the bottom, there is an 'IDIOMA' section with 'Español' selected and an 'ENTREGAR' button.

“IMPACTO EN LOS RECURSOS NATURALES POR EL CRECIMIENTO URBANO EN CIUDADES DEL SURESTE MEXICANO”

2.1 Crecimiento urbano y pérdida de recursos naturales en ciudades del Sureste de México

Lupita Herminia Triana Acevedo¹

Miguel Ángel Palomeque de la Cruz²

Silvia del C. Ruiz Acosta³

Adalberto Galindo Alcántara⁴

1. Programa de Maestría en Ciencias Ambientales. DACBiol. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, México. lupitahta@outlook.com
2. DACBiol. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, México. migueldacbiol@hotmail.com.
3. ITZO. Tecnológico Nacional de México, Villa Ocuitzapotlan, Centro, Tabasco, México. silvia.ra@zolmeca.tecnm.mx.
4. DACBiol. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, México. aga2003a@hotmail.com Autor de correspondencia.

2.2 Resumen

Se determinó la pérdida de recursos naturales ocasionados por la expansión urbana en ciudades capitales de la Región del Sureste de México, empleando modelación del cambio de uso de suelo en dos periodos de tiempo (periodo promedio de 1995-2020). Como resultado global se obtuvo que, el crecimiento urbano total del Sureste de México fue de 44,841 ha, mientras que deforestación de la vegetación arbórea fue de 33,845. El cálculo de las transiciones demostró (1) el remplazo de coberturas de vegetación arbórea a uso urbano y (2) el desplazamiento de pastizales a uso urbano. Los efectos de la pérdida de los recursos naturales han sido la pérdida de servicios ecosistémicos de control de inundaciones, protección contra huracanes, regulación de la temperatura, y pérdida de la biodiversidad deforestación. Este deterioro ambiental afecta principalmente a la calidad de vida de población más vulnerable en la región.

Palabras clave: Humedales, vegetación arbórea, uso de suelo

Urban growth and loss of natural resources in cities in southeastern Mexico

2.3 Abstract

The loss of natural resources caused by an urban expansion in capital cities of the Southeast Region of Mexico was determined, using land-use change modeling in two time periods (average period of 1995-2020). As a global result, it was obtained that the total urban growth of the Southeast of Mexico was 44,841 ha, while deforestation of the arboreal vegetation was 33,845. The calculation of the transitions showed (1) the replacement of tree vegetation covers to urban use and (2) the displacement of grasslands to urban use. The effects of the loss of natural resources have been the loss of ecosystem services of flood control, protection against hurricanes, temperature regulation, and loss of biodiversity deforestation. This environmental deterioration mainly affects the quality of life of the most vulnerable population in the region.

Keywords: Wetlands, timberline vegetation, land use

2.4 Introducción.

América Latina es la zona geográfica más subdesarrollada más urbanizada del mundo, ya que el 79,5% de su población vive en áreas urbanas y periurbanas (Montero & Garcia, 2017). México no escapa de esta problemática, porque sus ciudades más importantes presentan urbanizaciones severas, debido a esto el 83% de su población está concentrado en zonas urbanas que a su vez desplazan diversos tipos de ecosistemas (Velázquez *et al.*, 2002). Los bosques primarios de México han tenido un 25.7% de deforestación en un período de 25 años, de 1990 a 2015, principalmente alentado por la expansión agrícola y urbana (Méndez *et al.*, 2018). En gran parte del territorio mexicano, se calcularon tasas negativas de deforestación durante las décadas de los 70s, a los 90s en 0.25 y 0.76 % por año para los bosques templados y selvas tropicales respectivamente (Mas *et al.*, 2004; Velázquez *et al.*, 2002).

Debido a su situación geográfica, ecológica y climática, la región Sureste de México ha sido considerada como el epicentro de la mega diversidad biológica, con gran

importancia regional, nacional e internacional en el ámbito de la conservación de los ecosistemas de América (Aguilar-Domínguez, 2003). En la región prevalecen los climas tropicales húmedo y seco, en la Península de Yucatán, y en los estados de Quintana Roo y Yucatán, hay una extensión de superficies áridas y semiáridas (Secretaría de Comunicaciones y Transporte, 2001). En el territorio predominan los ecosistemas de bosque tropical húmedo, y posee la tercera diversidad de mamíferos de la nación (Pérez-Bocanegra *et al.*, 2014). También se dan las condiciones para el desarrollo de ecosistemas de humedales lacustres, palustres y ribereños asociados a pastizales tropicales, principalmente en la llanura del Golfo de México (Aguilar-Domínguez, 2003).

Sin embargo, esta región ha experimentado importantes transformaciones durante inicios de los años setenta por llegada de la extracción de hidrocarburos por parte de PEMEX, el desarrollo turístico internacional y otros sectores que cambiaron el panorama económico y aceleraron el crecimiento poblacional y urbano (García, 1984). En la mayoría de las ciudades del Sureste de México, los procesos de urbanización se han caracterizado por la precariedad de servicios, empleo inseguro y falta de seguridad a la ciudadanía y bienestar social, incluso en términos de vivienda, se observan archipiélagos de población de escasos recursos, donde crecen los problemas de déficit de servicios públicos, educación y salud (Michel y Ribardiére, 2017; Garza, 2002).

El crecimiento urbano en las ciudades capitales del Sureste de México ha ido en aumento durante finales de la década de los noventa y durante lo que va de la década del siglo XXI (Garza, 2002; Schmitter *et al.*, 2016 Michel & Ribardiére, 2017). El proceso de ocupación del suelo se caracteriza por las acciones derivadas de las relaciones las actividades primarias, secundarias y la dinámica poblacional que demanda espacio para la vivienda, cuyo único recurso es la ocupación irregular al crecimiento de la mancha urbana, muchas veces fuera de la normatividad establecida en los planes de desarrollo urbano municipal con impactos en los recursos naturales (Jiménez-Sánchez *et al.*, 2021). A pesar de sus ventajas físicas y ecológicas de la Región del Sureste de México, en el pasado, hubo una marcada

degradación de los ecosistemas ante un incremento en la agricultura comercial, misma que se expandió sobre los bosques y selvas, provocando una pérdida de la biodiversidad (Schmitter *et al.*, 2016).

En la actualidad se desconocen los recientes procesos de urbanización, y los remplazos de coberturas arbóreas, humedales, y su cercana relación con los efectos ambientales de las últimas tres décadas que han causado estragos, pérdidas millonarias y deterioro en la calidad de vida de las poblaciones humanas y no humanas en la región del Sureste de México. Obtener esta información es primordial para establecer estrategias de planeación ambiental, ordenamiento ecológico, territorial, y restauración de ecosistemas y de los servicios ecosistémicos que estos nos proporcionan (Villaseñor *et al.*, 2017).

Este estudio tuvo como objetivo general determinar el impacto ambiental sobre los recursos naturales y su relación con los efectos ambientales ocasionado por la expansión urbana de las últimas tres décadas en las ciudades capitales de la Región del Sureste de México. Para ello se realizó una serie de modelaciones del cambio de uso de suelo en dos periodos de tiempo empleando *Land Change Modeler for Ecological Sustainability*, que variaron como máximo un rango de 15 años en cada ciudad (periodo promedio de 1995-2020). Esto permitirá obtener información fundamental para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, pérdida de humedales continentales y costeros, y sus efectos sobre la biodiversidad, los servicios ecosistemas, la regulación de la temperatura local y toda su relación con la calidad de vida de las poblaciones humanas y no humanas de la región.

2.5 Metodología

2.5.1 Área de estudio

La Región Sureste de México, se ubica al Sur del Eje Neovolcánico y desde la Sierra Madre del Sur, ampliándose a las llanuras Costeras del Golfo de México, la gran Península de Yucatán hasta la Cordillera de Centroamérica. Geográficamente, se localiza desde los 20° a los 15° de Latitud Norte, aproximadamente entre los 102 a

87 de Longitud Oeste (INEGI, 2010). Abarca las entidades federativas de Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán (Figura 1), los cuales comparten afinidades ambientales, climáticas, económicas y culturales (Aguilar-Domínguez, 2003).

Forma parte de dos regiones geográficas importantes para su estudio y conocimiento de su riqueza, la parte considerada como Mesoamérica y la región Neotropical, por lo que es una zona importante para la conservación de los ecosistemas. En el territorio predominan diversos ecosistemas de selva tropical húmeda, y posee la riqueza biológica más crucial de México, y se presentan los mayores números de especies de vertebrados, plantas y artrópodos, principalmente en estados como Oaxaca, Veracruz y Chiapas (Llorente-Bousquets & Ocegueda, 2008; Pérez-Bocanegra *et al.*, 2014). En la región hay distintos tipos de condiciones climáticas, prevaleciendo el tropical húmedo y seco principalmente. Sin embargo, cabe mencionar que la Península de Yucatán, y en especial los estados de Quintana Roo y Yucatán, presentan superficies áridas y semiáridas (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2001). También se dan las condiciones para el desarrollo de ecosistemas de humedales lacustres, palustres y ribereños asociados a pastizales tropicales (principalmente en la llanura del Golfo de México) (Aguilar-Domínguez, 2003).

Figura 3 Mapa de la Región del Sureste de México



Fuente: Google Earth

2.5.2 Elaboración de la base de datos cartográfica.

Se descargaron siete ortofotos de la plataforma Instituto Nacional de estadística y Geográfica (INEGI) para cada ciudad seleccionada (Villahermosa, Tuxtla, Campeche, Mérida, Chetumal, Playa del Carmen, y Cancún) para el primer periodo de tiempo (Tabla 1), estas pueden ser consultadas en <https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/ortoimagenes/>. También se localizaron y descargaron siete imágenes satelitales del sensor SENTINEL 2 con bandas 1,2,3 desde la plataforma *Copernicus open Access hub* para los periodos de tiempo más actuales (Tabla 2), esta información está disponible en <https://scihub.copernicus.eu/>.

Tabla 4 Características de las ortofotos descargadas en la base de datos de INEGI

Estado	Ciudad	Año	Escala	Resolución	Tono	Referencia espacial
Tabasco	Villahermosa	2007	1:10,000	1 m	Color	WGS 1984 UTM Zona 15N
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	2007	1:10,000	1 m	Color	WGS 1984 UTM Zona 15N
Campeche	Campeche	2005	1:10,000	1 m	Blanco y Negro	WGS 1984 UTM Zona 15N
Quintana Roo	Chetumal	1998	1:20,000	2 m	Blanco y Negro	WGS 1984 UTM Zona 16N
	Playa del Carmen	2004	1:20,000	1.5 m	Blanco y Negro	WGS 1984 UTM Zona 16N
	Cancún	2004	1:10,000	1 m	Blanco y Negro	WGS 1984 UTM Zona 16N
Yucatán	Mérida	1995	1:20,000	2 m	Blanco y Negro	WGS 1984 UTM Zona 16N

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5 Características de las imágenes satelitales descargadas en Copernicus open Access hub

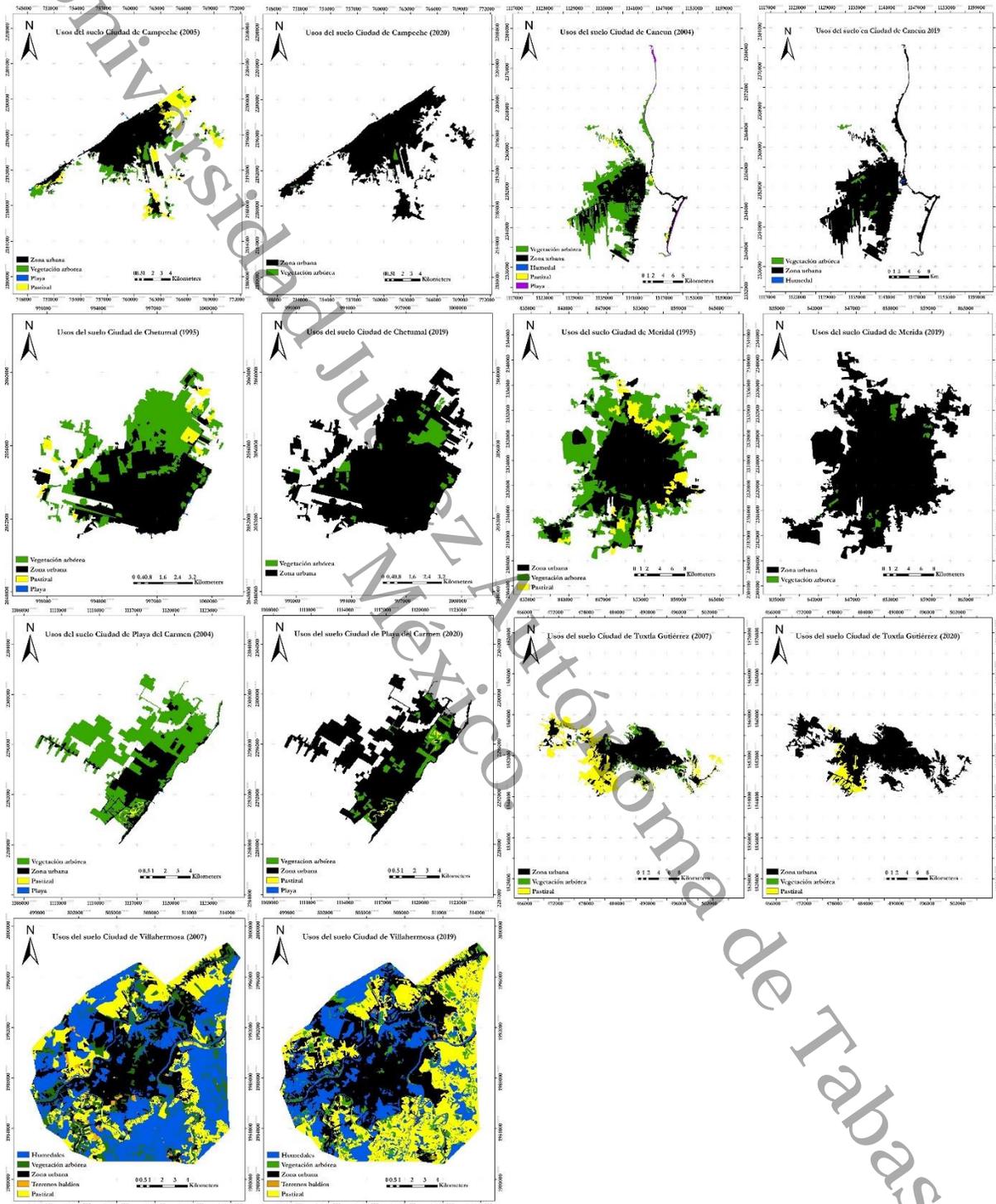
Estado	Ciudad	Año	Sensor	Resolución	Tono	Referencia espacial
Tabasco	Villahermosa	2020	SENTINEL 2	10 m	Color	WGS 1984 UTM Zona 15N
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	2020	SENTINEL 2	10 m	Color	WGS 1984 UTM Zona 15N
Campeche	Campeche	2020	SENTINEL 2	10 m	Color	WGS 1984 UTM Zona 15N
Quintana Roo	Chetumal	2019	SENTINEL 2	10 m	Color	WGS 1984 UTM Zona 16N
	Playa del Carmen	2020	SENTINEL 2	10 m	Color	WGS 1984 UTM Zona 16N
	Cancún	2019	SENTINEL 2	10 m	Color	WGS 1984 UTM Zona 16N
Yucatán	Mérida	2019	SENTINEL 2	10 m	Color	WGS 1984 UTM Zona 16N

Fuente: Elaboración propia

Para estudiar cualitativa y cuantitativamente las coberturas naturales, los usos del suelo y el crecimiento urbano en las catorce imágenes, se llevó a cabo una fotointerpretación a escala 1:15.000. A partir de esto, se crearon dos shapefile con Datum WGS84, Proyección UTM zona 15N, para cada una de las siete ciudades seleccionadas elaborados mediante digitalización, o vectorización en pantalla con el programa Arc GIS 10.5[®], en total fueron elaborados catorce shapefile con categorías que variaron entre ciudades: zona urbana, terrenos baldíos, humedales, vegetación arbórea, pastizal y playa.

De acuerdo con la metodología de Ramos-Reyes et al., (2021) los catorce shapefile (vectores) resultantes fueron transformados a formato raster con el comando Polygon to Raster del programa Arc Gis 10.5[®], esta conversión vectorial-raster para obtener píxeles o celdas, facilita la ejecución de los diversos modeladores en los que se incluye Land Change Modeler (LCM) puedan ejecutarse en IDRISI TerrSet[®] con mayor rapidez sin afectar los valores generados en la digitalización de vectores en Arc GIS 10.5[®]. Posteriormente, los catorce archivos convertidos a raster fueron exportados a formato TIFF para facilitar la exportación de los dos archivos al programa IDRISI TerrSet[®] empleando el comando GeoTIFF/Tiff to Idrisi (Figura 2).

Figura 4 Mapas de usos del suelo de las ciudades capitales del Sureste de México



Fuente: Elaboración propia

“IMPACTO EN LOS RECURSOS NATURALES POR EL CRECIMIENTO URBANO EN CIUDADES DEL SURESTE MEXICANO”

2.5.3 Modelación del cambio de uso del suelo

Los modelos geomáticos para el estudio del cambio de uso del suelo en zonas tropicales y otras regiones del globo terráqueo, generan mayor certeza y precisión en para estudios del territorio y su relación con las actividades de la sociedad en comparación los Sistemas de Información Geográfica tradicionales, por ejemplo, Land Change Modeler (LCM) *Land Change Modeler for Ecological Sustainability*, hace comprender con mayor facilidad las complejidades del cambio de uso del suelo, y utiliza el cambio histórico de la cobertura para modelar empíricamente la relación entre las transiciones de la cubierta terrestre (Eastman, 2012).

Land Change Modeler (LCM) *for Ecological Sustainability* está integrado en el software IDRISI TerrSet®, y se emplea para obtener un análisis matemático de imágenes raster en dos o más periodos de tiempo, mediante el uso de una matriz de tabulación cruzada que consiste en una tabla con arreglos simétricos que permite ubicar con gran precisión las cantidades de cambio de usos y coberturas, las permanencias y las diversas transformaciones (ganancias, pérdidas, cambio neto y transiciones) (Pontius et al., 2004; Pineda-Jaimes et al., 2009).

Las catorce imágenes raster fueron cruzados con el módulo Land Change Modeler (LCM) y el comando CrossTab “para obtener una matriz de probabilidades de cambio validada”. Los siete cruces con módulo CrossTab generó un promedio de probabilidades, Cramer’s V = 0.67, y Overall Kappa: 0.71, demostrando que el resultado del cruce de las dos imágenes de cada ciudad, es precisa y apegada a la realidad espacial. Los resultados incluyen un resumen cartográfico, tabular y gráfico que muestra la superficie de cada categoría, en comparación con otras, en términos de pérdidas, ganancias, cambio neto y transiciones.

Tabla 6 Promedio de probabilidades Cramer's, y Overall Kappa

Estado	Ciudad	Cramer's V	Overall Kappa
Tabasco	Villahermosa	0.6119	0.6597
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	0.6261	0.7771
Campeche	Campeche	0.7168	0.7807
Quintana Roo	Chetumal	0.7437	0.7117
	Playa del Carmen	0.6711	0.6502
	Cancún	0.5858	0.7243
Yucatán	Mérida	0.7132	0.6856
Promedio		0.6669	0.7127

Fuente: Elaboración propia

2.5.4 Cálculo de las tasas de cambio

Las tasas de cambio de uso del suelo fueron calculadas con la fórmula: $Td = [(S2 / S1) (1 / n) - 1] * 100$, donde: Td = Tasa de cambio anual (%), S1 = Área cubierta al inicio del periodo (ha), S2 = Área cubierta al final del periodo (ha), y n = Número de años del periodo de estudio (Velásquez et al., 2002; Palacio et al., 2004).

2.6 Resultados y discusión

2.6.1 Evolución del crecimiento urbano

El proceso de expansión urbana en la Ciudad de Campeche (2005-2020) fue de 2,626 ha, con una tasa de cambio de 3.2% (Tabla 4). La mayor transición por producto del cambio de uso del suelo fue el remplazo de 1,321 ha que eran pastizales y fueron convertidas a uso urbano (Figura 3). De hecho, la ciudad de Campeche ya había tenido importante crecimiento de sus áreas urbanas y suburbanas durante la década de los 90s y la primera década del siglo XX (Palacio *et al.*, 2005; Posada *et al.*, 2009).

La Ciudad de Mérida tuvo un crecimiento urbano de 18,490 ha con una tasa de cambio de 2.7% (Tabla 4). La transición de pastizales a uso urbano fue de 15,090 ha (Figura 3); esta expansión urbana es representada por la formación de nuevas periferias con un proceso de metropolización que demandó recursos naturales, con cambios en el clima urbano, contaminación de los humedales costeros, y se han presentado contrastes en las diversas condiciones de la población en general como la desigualdad económica y acceso a servicios básicos de vivienda, salud y educación, además, el crecimiento de la mancha urbana principalmente en el Norte ha situado a la población ante fuertes eventos de crecientes por pertenecer a un territorio con constante riesgo de inundaciones por el paso de constantes tormentas tropicales (García-Gil *et al.*, 2012; Navarro-Tec *et al.*, 2018; Bautista-Zúñiga & Aguilar-Duarte, 2021).

La Ciudad de Chetumal (2004-2019) obtuvo un crecimiento urbano de 1,711 ha, con una tasa de cambio de 2.2% (Tabla 4). El modelo de crecimiento disperso de Chetumal fue hacia el suroeste y noreste, y el remplazo del pastizal a uso urbano fue de 1,566 siendo la transición más dominante en toda la Península de Yucatán (Figura 3). Cabe destacar que, en Chetumal, los recursos naturales de áreas protegidas son desterradas legal e ilegalmente para comercializar con particulares para el desarrollo de viviendas, y propicia una calidad de vida limitada que contribuye a un desarrollo insostenible con vulnerabilidad por inundaciones (Rangel-

Montalvo, 2014; Barrera-Rojas, 2020). La oferta de vivienda es inalcanzable para los bajos estratos por lo que la ocupación hacia el noreste de Chetumal propiciando el crecimiento de asentamientos irregulares en la última década; además los machones y corredores biológicos arbóreos son los últimos de los elementos en ser tomando en las crecientes obras de construcción comercial, equipamiento, industria y nuevos asentamientos residenciales (Alonzo-Alonzo & González-Vera, 2010; Rangel-Montalvo, 2014).

La Ciudad de Cancún (2004-2019) presentó un crecimiento urbano de 10,111 ha, y una tasa de cambio de -6.7% (Tabla 4). El crecimiento de Cancún es un típico caso de desarrollo económico y demográfico en la Región del Sureste de México, aunque con costos ambientales y segregación socio-espacial que el turismo genera. Este desarrollo va acompañado de desfases y distorsiones de una urbanización incontrolable y polarizada, la cual en su mayoría ha tenido impactos negativos reflejados en el deterioro ambiental de sus recursos naturales, la ocupación urbana y la deforestación de los manglares en el espacio costero ha contribuido históricamente a la vulnerabilidad por la presencia de grandes huracanes tropicales (Medina-González, 2002; Oehmichen, 2010; Castillo-Pavón & Villar-Calvo, 2011; Babinger, 2011; Calderón-Maya *et al.*, 2014). El modelo de expansión urbana en Cancún, considera de forma irregular los mecanismos legales, técnicos y científicos de planificación y ordenación ecológico-territorial, en 32 años se han urbanizado de forma legal y en algunas de forma irregular, aproximadamente 14 mil hectáreas dando paso de un área metropolitana donde se involucra a municipios vecinos (Calderón-Maya y Orozco-Hernández 2009; Cárdenas-Gómez, 2016; Oran-Roque *et al.*, 2017).

Playa del Carmen (2004-2021) presentó aumentos de 3,237 ha, con tasa de cambio de 6.7% (Tabla 4). Se ha señalado que Playa del Carmen se ubica como la segunda ciudad más poblada en el Caribe mexicano, con tasas de crecimiento superiores al resto del país, porque atrae la mayor inversión en el ramo turístico incrementado la dinámica del desarrollo costero por la oferta de trabajo que demandan dichos servicios y se generan aumentos de zonas de usos residenciales y superficies

destinadas a la construcción de equipamiento urbano y vías de transporte que se apropia de los espacios naturales produciendo una severa segregación socio espacial (Camacho-Lomelí, 2015; Ruiz-Ramírez *et al.*, 2018; Ochoa-Jiménez *et al.*, 2020).

En la Ciudad de Villahermosa (2007-2020) hubo aumentos de 2,086 ha de superficie urbana (Tabla 4). Las transiciones de pastizal a urbano fueron de 598 ha (Figura 3). Esto es debido a su gran dinámica espacio temporal por las diversas coberturas de humedales y tipos de vegetación. El territorio cuenta con mayor número transiciones espaciales, siendo el ecosistema urbano más vulnerable al cambio de uso del suelo por su compleja llanura aluvial (Palomeque-de la Cruz *et al.*, 2017).

El crecimiento urbano Villahermosa, Tabasco, desde el siglo XX, y lo que va del siglo XXI, ha dado prioridad a la periurbanización y establecimiento de la infraestructura petrolera que altera el suelo y la red hidráulica superficial, y omite la conservación de los ecosistemas; el crecimiento urbano moderno continuó desplazando humedales, proceso que inició desde los años 50s, 60s, y 70s, magnificando la vulnerabilidad a inundaciones (Hernández, 2011; Cerna *et al.*, 2011; Palomeque-de la Cruz *et al.*, 2017), esto se relacionó con los extremos eventos de inundación durante los años 2007 y 2008, que perjudicaron a más de 1,500 poblaciones de Tabasco y Chiapas, se cree que las afectaciones cubrieron el 75% de la población de Tabasco particularmente, y con pérdidas millonarias para todos los sectores económicos y todos sus estratos (Álvarez & Tuñón, 2016; Perevochtchikova & Lezama, 2007; García-García y Kauffer-Michel, 2011).

Tabla 7 Cuantificación del cambio de uso del suelo en las ciudades del Sureste de México

Ciudad	Categoría	2005	%	2020	%	Perdidas	Ganancias	Cambio Neto	Tasa de Cambio
Campeche	Zona urbana	4323	61.6	6949	99.1	-1	2626	2626	3.2
	Vegetación arbórea	1329	18.9	65	0.9	-1274	9	-1264	-18.2
	Playa	32	0	0	0	-32	0	-32	-100
	Pastizal	1330	19	0	0	-1330	0	-1330	-100
	Total	7013	100	7013	100				
Ciudad	Categoría	2004	%	2019	%	Perdidas	Ganancias	Cambio Neto	Tasa de Cambio
Cancún	Vegetación arbórea	9891	48.7	683	3.4	-9284	76	-9208	-16.3
	Zona urbana	9535	47	19570	96.4	-76	10111	10035	4.9
	Humedal	7	0.03	51	0.2	-7	51	44	14.6
	Pastizal	392	1.9	0	0	-392	0	-392	-100
	Playa	479	2.4	0	0	-479	0	-479	-100
	Total	20303	100	20303	100				
Ciudad	Categoría	1998	%	2019	%	Perdidas	Ganancias	Cambio Neto	Tasa de Cambio
Chetumal	Vegetación arbórea	1791	40.3	335	7.5	-1566	111	-1455	-6.7
	Zona urbana	2433	54.7	4114	92.5	-31	1711	1681	2.2
	Pastizal	216	4.9	0	0	-216	0	-216	-100

	Playa	9	0.2	0	0	-9	0	-9	-100
	Total	4449	100	4449	100				
Ciudad	Categoría	1995	%	2019	%	Perdidas	Ganancias	Cambio Neto	Tasa de Cambio
Mérida	Zona urbana	20369	51.6	38832	98.4	-28	18490	18463	2.7
	Vegetación arbórea	15646	39.7	613	1.6	-15090	57	-15033	-12.6
	Pastizal	3429	8.7	0	0	-3429	0	-3429	-100.0
	Total	39444	100	39444	100				
Ciudad	Categoría	2004	%	2020	%	Perdidas	Ganancias	Cambio Neto	Tasa de Cambio
Playa del Carmen	Vegetación arbórea	3857	68.2	6342	11.2	-3262	39	-3223	-10.7
	Zona urbana	1753	31	4953	87.6	-37	3237	3200	6.7
	Pastizal	41	0.7	69	1.2	-11	39	28	3.3
	Playa	4.5	0.1	0	0	-5	0	-5	-100
	Total	5655	100	5655	100				
Ciudad	Categoría	2007	%	2020	%	Perdidas	Ganancias	Cambio Neto	Tasa de Cambio
Tuxtla Gutiérrez	Zona urbana	10222	54.9	16730	89.9	-71	6580	6508	3.1
	Vegetación	1712	9.2	6525	0.4	-1677	30	-1647	-18.5

	Pastizal	667 6	35. 9	181 5	9.8	-4945	84	-4861	-7.8
	Total	186 10	100	186 10	100				
Ciudad	Categoría	200 7	%	202 0	%	Perdi das	Ganan cias	Cambio Neto	Tasa de Cambio
Villahermosa	Humedales	861 8	41. 7	519 5	25. 2	-4197	775	-3423	-3.8
	Vegetación arbórea	250 7	12. 1	148 8	7.2	-1692	673	-1020	-3.9
	Zona urbana	513 6	24. 9	704 4	34. 1	-179	2086	1907	2.5
	Terrenos baldíos	232	1.1	102	0.5	-232	102	-131	-6.1
	Pastizal	415 6	20. 1	682 1	33. 0	-1452	4118	2665	3.9
	Total	206 49	100. .0	206 49	100. .0				

Fuente: Elaboración propia

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez (2007-2020) presentó una expansión urbana de 6,580 ha, con una tasa de cambio de 3.1% (Tabla 4). Los cambios de pastizal a uso urbano fueron de 1,663 han sido las transiciones más elevadas en todo el Sureste de México. En el territorio, el crecimiento poblacional y la expansión de la mancha sin planificación, convirtió al territorio en una zona Metropolitana al mezclarse con municipios vecinos, y también ha repercutido en el cambio de uso del suelo que es común por una falta de planeación, producto del crecimiento de la población y de la migración urbana que opta por establecerse en la periferia con nuevas colonias, generalmente con deficientes servicios elementales para óptima calidad de vida de toda la población, existen registros de aumentos en la temperatura provocando el

fenómeno de la Isla de Calor Urbano (Noji, 2000; Silva *et al.*, 2015; Nucamendi-Hernández, 2021).

La dirección del crecimiento de las ciudades del Sureste de México fue en su mayoría netamente concéntrica del centro hasta su periferia, siguiendo los bordes urbanizados en décadas anteriores; al no tener espacio en el centro urbano, el crecimiento se prolongó hacia los exteriores provocando el fenómeno de la metropolización (Pérez-Bustamante & Salinas-Varela, 2007; Álvarez-de la Torre, 2010). En México el abandono de las localidades rurales y disminución de los pastizales de uso agropecuario obedece al establecimiento de la industria petrolera, el turismo internacional, y la urbanización dispersa y mal planificada (Ramírez-Velázquez & Dafne-Somellera, 2016).

La expansión urbana de las ciudades de Latinoamérica se esquematiza en cuatro momentos históricos: los asentamientos coloniales, las ciudades sectoriales, las ciudades metropolitanas polarizadas y fragmentadas; en México, a partir de la década del 2000 las ciudades del Sureste han obedecido a un patrón de concentración territorial de corte policéntrico común en México y países subdesarrollados con economías capitalistas (Garza, 2002; Bähr & Borsdor, 2005). En México y en América Latina, la globalización hace estragos entre la población, el medio ambiente, y los ecosistemas que interactúan con las ciudades (Sánchez González, 2012). La aparición y el desarrollo de las ciudades en la región y en el país han obedecido a decisiones históricas, sociales, económicas y políticas, socioeconómicas, demográficas, estéticas, territoriales y ambientales (Garza, 2000).

2.6.2 La pérdida de recursos naturales y efectos adversos

Se detectó que la Ciudad de Campeche (2005-2020) perdió de 1,274 ha de coberturas arbóreas con una tasa de cambio negativa de 18.2% (Tabla 5). Las transiciones de vegetación arbórea a uso urbano fueron de 1,274 ha (Figura 3). Los efectos ambientales del crecimiento urbano más sobresalientes desde los siglos XX en la ciudad han sido los eventos de inundaciones como producto de la deforestación de los manglares que perdieron su aporte de barreras naturales contra los efectos estudiados del cambio climático como los huracanes y otros fenómenos meteorológicos con serios conflictos en el tejido social y económico (Palacio-Aponte et al., 2005; Paquette-Vassalli et al., 2013).

La Ciudad de Mérida (1995-2019) presentó pérdidas 15,090 ha de vegetación arbórea y tuvo una tasa de cambio negativa de 12.6% (Tabla 4). En este periodo, los cambios de cobertura arbórea a urbano fueron de 15,090 ha (Figura 3). En los últimos años, Mérida ha mostrado una fuerte expansión urbana en toda su periferia, con importantes pérdidas de masa forestal que desestabiliza el clima local provocado “islas de calor urbano” que afecta el confort y la calidad de vida de los habitantes (Pérez-Medina & López-Falfán, 2015; Navarro-Tec et al., 2018; George-Chacon et al., 2019). Tan solo en el periodo 1976-2000 el uso agropecuario se incrementó casi 100%, condicionando a la deforestación de grandes extensiones de selvas tropicales para su conversión a pastizal para el hato ganadero bovino y la agricultura con prácticas ancestrales de roza, tumba y quema (Andrade, 2010; Ellis et al., 2015). La deforestación en Mérida también se asoció con programas de colonización y desarrollo agropecuario similares a los planes Chontalpa y Balancan-Tenosique en Tabasco, que influyeron en el crecimiento de la población y mercados en la región del Sureste (Ellis, 2017).

Otros datos indican que en Mérida la cantidad de árboles era considerablemente mayor antes de que el huracán Isidoro azotara la Península de Yucatán en septiembre de 2002; este fenómeno meteorológico arrasó con diversos individuos de diferentes especies (Ellis, 2017). La destrucción del manglar en la región ha sido

una causa que magnificó las inundaciones derivadas de los ciclones tropicales cada vez más intensos, así como los daños en el patrimonio de la población, actividades socioeconómicas y de infraestructura de los centros urbanos costeros (García-Benítez *et al.*, 2017; Bautista-Zúñiga & Aguilar-Duarte, 2021).

La Ciudad de Cancún presentó un grave deterioro ambiental por deforestación de 9,208 ha de su cobertura arbórea original con una tasa de cambio negativa de 16.3% (Tabla 4). Los procesos de deforestación en Cancún son muy comunes al ser una ciudad muy dinámica, existe una transición de 9,245 ha de cobertura arbórea a zona urbana (Figura 3). Por ejemplo, el parque ambiental “Ombigo verde” ha perdido más del 50% de su zona verde provista de gran biodiversidad en los últimos 10 años, debido a que, durante las últimas tres administraciones municipales, se han planteado proyectos de plazas comerciales y subestaciones eléctricas (Calderón-Maya, 2014). Se ha detectado que los desbastadores huracanes Gilberto en septiembre de 1988 y Wilma en octubre de 2005 ha los más grandes eventos meteorológicos de las últimas tres décadas que propiciaron la pérdida de coberturas de manglares y selva mediana subperenifolia debido al reporte de cantidades importantes de árboles desenraizados, defoliados o sin copa (Islebe *et al.*, 2009; Oehmichen, 2010; Babinger, 2011).

La Ciudad de Chetumal (1995-2018) presentó pérdidas de 1,566 ha de vegetación arbórea con una tasa de cambio negativa de 6.7%(Tabla 4). Las drásticas transiciones de vegetación arbórea a uso urbano fue 1,566 ha (Figura 3). El modelo de urbanización de Chetumal ha dejado como último interés a la protección de humedales, vegetación arbórea de manglares, vegetación hidrófila, pastizales y selvas bajas y medianas (Fragoso-Servón & Pereira-Corona, 2018), ya que el modelo de crecimiento urbano confirmó la pérdida del suelo por la intervención de los asentamientos humanos regulares e irregulares, las nuevas obras de infraestructura urbana, comercial, industrial y residencial (Alonzo *et al.*, 2010).

Los problemas ambientales derivados del crecimiento insostenible fue la deforestación de la selva, inundaciones en varias colonias que fue creciendo con la

pérdida de importantes coberturas de humedales lacustres ante un problema latente de pobreza y vulnerabilidad, de hecho el Programa de Desarrollo Urbano 2005, señaló que la porción noroeste y suroeste de Chetumal no es adecuada para la extensión urbana por ser susceptibles a inundación por los hundimientos debido a que sus suelos son Gleysols en zonas bajas (Rangel-Montalvo, 2014; Fragoso-Servón & Pereira-Corona, 2018; Barrera-Rojas, 2020). Unos de los factores más representativos de la deforestación durante 1990 y 2000 también ha sido la creciente demanda pastizal para establecimiento del hato ganadero, programas como PROCAMPO, Crédito a la Palabra y Alianza para el Campo fueron condicionantes la deforestación (Reyes-Hernández, 2003).

Playa del Carmen (2004-2020) presentó pérdidas de 3,262 ha y tuvo una tasa de cambio negativa de 10.7% (Tabla 4). Las transiciones de coberturas de vegetación arbórea a pastizal a zona urbana fueron de 3,223 ha (Figura 3). Se han detectado hasta nueve causas directas de deforestación, en donde intervienen las zonas urbanas con sus asentamientos humanos, también se registra la ganadería y agricultura de subsistencia, la expansión agrícola (mecanizada), los incendios forestales, el cultivo de caña, la fruticultura, la expansión de la infraestructura y la agroindustria (Ellis *et al.*, 2015). Sin embargo, la causa más dominante del impacto ambiental fue la expansión ganadera con un 50% de la superficie municipal (Ellis *et al.*, 2015).

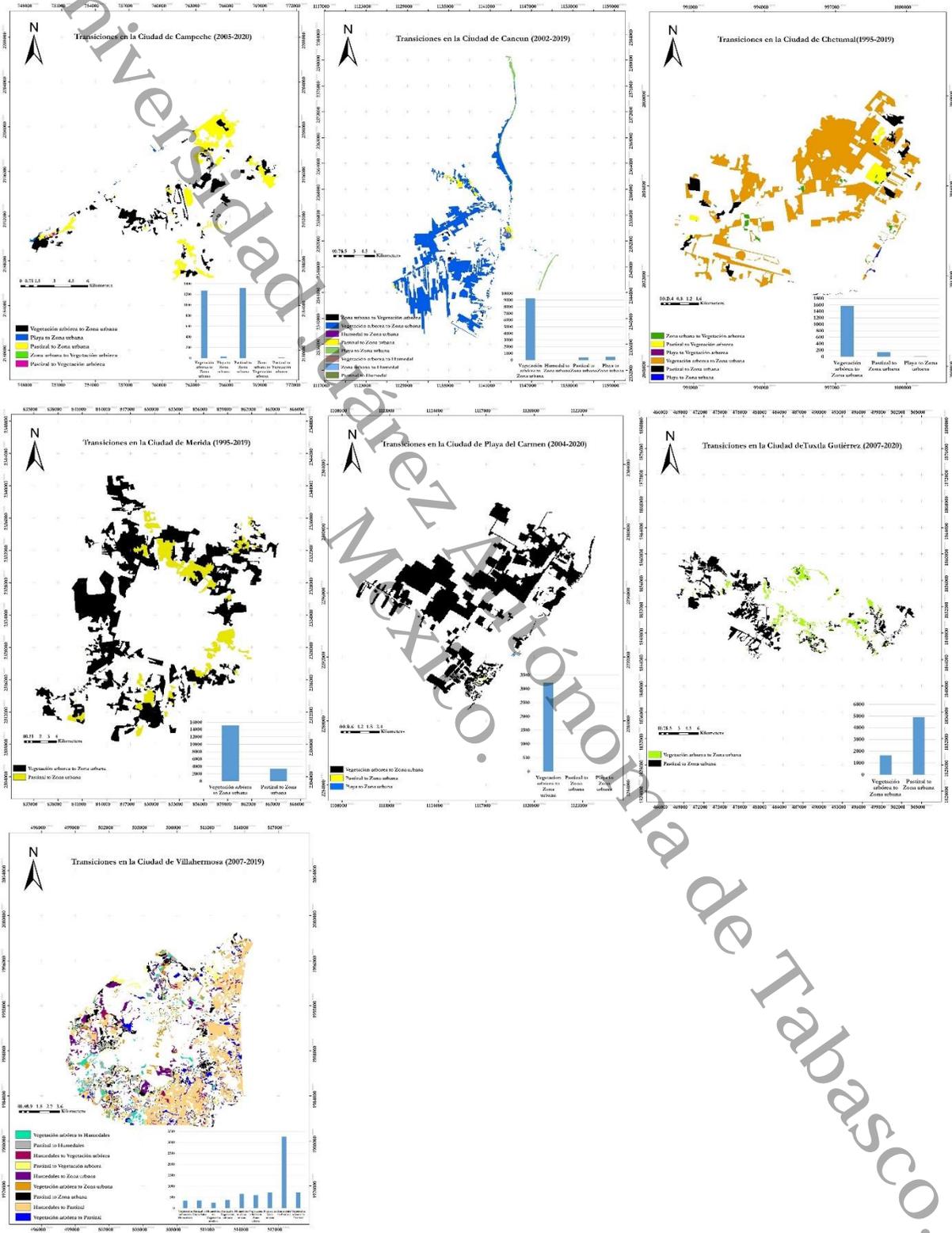
Tuxtla Gutiérrez (2007-2020) mostró pérdidas de 1,677 ha, con una tasa de cambio negativa de 18.5% (Tabla 4). La transición de vegetación arbórea a uso urbano fue de 1,664 ha (Figura 3). Estos resultados difieren con los datos de Silva *et al.*, (2015) quienes estimaron que durante 1986-2014 la vegetación arbórea de Tuxtla Gutiérrez tan solo disminuyó 737.17 ha, manteniéndose más de 7,000 ha de masa vegetal en las reservas ecológicas como el Cañón del Sumidero, al Norte de Tuxtla Gutiérrez; el Cerro Mactumactzá, El Zapotal y Monte Cielo, al Sur; Caña Hueca, Jardín Botánico, el Parque Madero y el Parque del Oriente, ubicados en las márgenes del Río Sabinal, entre otros; cabe mencionar que la mayoría de estas áreas naturales protegidas no cuentan con un marco legal de Ordenamiento

Ecológico Territorial, y Planes de Manejo que garantice su protección y restauración ante el avance urbano y agropecuario (Paz-Tenorio *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2015).

Históricamente, en Chiapas los principales causantes de la deforestación también son aquellas provocadas por las actividades humanas, debido a que estas son acciones inmediatas a un nivel local, tales como la agrícola, extracción de maderas preciosas, la construcción de infraestructura, incendios forestales, estos tienden a simplificar la composición y estructura de la vegetación arbórea; actividades las ganaderas bovinas, y las relacionadas con los servicios urbanos, también constituyen factores condicionantes de la degradación (Camas-Gómez *et al.*, 2012; Rincón-Hernández, 2021).

La Ciudad de Villahermosa (2007-2020), presentó pérdidas de 1,692 ha de cobertura arbórea con tasa negativa de cambio de 3.9% (Tabla 4). Las transiciones de vegetación arbórea a uso urbano fueron de 376 ha (Figura 3). Cabe mencionar que esta fue la única ciudad que tuvo grandes impactos en las coberturas de humedales perdiéndose aproximadamente 4,197 ha (Tabla 5). Durante 1984-2008, la tasa negativa de cambio de uso del suelo de la vegetación arbórea en Villahermosa fue de 4,63. En Tabasco, durante 1960-2000 se registraron pérdidas de 83,518 ha de humedales una tasa de cambio negativa de 3,341 ha/año, y en Villahermosa, el crecimiento urbano desmedido de 2,296 ha entre 1990-2000 desplazó lagunas y pantanos que funcionaban como vasos reguladores (Sánchez-Munguía, 2005). Durante 1984-2000, las coberturas vegetación natural y los humedales lacustres y palustres perdieron 4008 y 289 ha, respectivamente, y fueron los mayores impactos de los últimos cuatro décadas, y la tasa de deforestación de la vegetación arbórea fue de 4.63% (Palomeque-de la Cruz *et al.*, 2017). Las causas principales de la pérdida de los humedales son principalmente el crecimiento del pastizal de origen pecuario, la expansión irregular de las zonas urbanas, y la construcción servicios carreteros e industria de extracción de hidrocarburos (Estrada *et al.*, 2013).

Figura 5 Mapas y gráficas de las principales transiciones de las ciudades capitales del Sureste de México



Fuente: Elaboración propia

“IMPACTO EN LOS RECURSOS NATURALES POR EL CRECIMIENTO URBANO EN CIUDADES DEL SURESTE MEXICANO”

2.7 Conclusiones

Se determinó la pérdida de recursos naturales ocasionados por la expansión urbana en ciudades capitales de la Región del Sureste de México, empleando modelación del cambio de uso de suelo en dos periodos de tiempo (periodo promedio de 1995-2020).

En conjunto se obtuvo que, el crecimiento urbano total de las ciudades capitales del Sureste de México (Villahermosa, Campeche, Mérida, Chetumal, Cancún, Playa del Carmen, y Tuxtla Gutiérrez), fue de 44,841 ha, mientras que la pérdida o deforestación de la vegetación arbórea fue de 33,845 ha y las tasas negativas de cambio variaron entre 6.7% y 18.5% siendo velocidades de deforestación anual muy elevadas en comparación con el promedio nacional. El cálculo de las transiciones en todas las ciudades demostró que los principales cambios fueron (1) el remplazo de coberturas de vegetación arbórea a uso urbano y (2) el desplazamiento de pastizales a uso urbano.

De acuerdo a la literatura consultada, los efectos de la pérdida de los recursos naturales por crecimiento urbano han sido la pérdida de la biodiversidad por las altas tasas de deforestación. También es notable la pérdida de servicios ecosistémicos de control de inundaciones, protección contra huracanes, regulación de la temperatura, la deforestación ha contribuido al crecimiento de las Islas de calor urbano que ha ido en aumento por la ausencia de masas boscosas y aumento del suelo urbano.

Diversos estudios señalan que los grandes huracanes en los últimos 30 años han afectado a las ciudades expandidas en la costa, tal como lo son Campeche, Mérida, Playa del Carmen y Cancún, estos fenómenos afectan principalmente a la calidad de vida de población más vulnerable social y económicamente debido a la marcada segregación socio-espacial.

Sobresale la pérdida de la vegetación natural y de grandes cuerpos de humedales lacustres y palustre han sido 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 estudio es primordial para actualizar el conocimiento de las tendencias de los procesos de pérdida de recursos naturales en los ecosistemas de México para contemplar acciones de planeación urbana y ambiental.

Es urgente los gobiernos municipales en conjunto con los gobiernos estatales y la federación, rediseñen los programas urbanos-metropolitanos, para regular el crecimiento urbano y periurbanización. También es importante que se contemplen actualizar los atlas de riesgo contra inundaciones, eventos climatológicos y otros fenómenos naturales. Por ejemplo, los atlas de riesgo deben contemplar una actualización con base en lo señalado en la Ley General de Protección Civil y las guías metodológicas para la elaboración Atlas de Riesgo del Cenapred con la consolidación de premisas aprendidas de daños ocasionados por huracanes, cartográficas modernas, sistemas de bases de datos georreferenciados a escala detallada, levantamientos catastrales, y la conformación de equipos de trabajo multidisciplinarios (Frausto-Martínez *et al.*, 2016).

2.8 Referencias

- Aguilar-Domínguez, Y. (2003). Visión General de las Áreas Naturales Protegidas del Tópico. Veracruz, México: En: *Hacia una evaluación de las áreas naturales protegidas tropicales*. Centro de Investigaciones Tropicales. Universidad Veracruzana. <http://sinacver.mx/anpbook/ANP/Capítulo%202.pdf>.
- Alonzo-Alonzo, L. A., & González-Vera, M. A. (2010). Pérdida de cobertura vegetal como efecto de la urbanización en Chetumal, Quintana Roo. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 12(2), 1-19. <https://www.redalyc.org/pdf/401/40115676001.pdf>
- Alonzo, D. E., Zhang, G. G., Zhou, D., Gao, Y., & Taylor, L. S. (2010). Understanding the behavior of amorphous pharmaceutical systems during dissolution. *Pharmaceutical research*, 27(4), 608-618.
- Álvarez-de la Torre, G. B. (2010). El crecimiento urbano y estructura urbana en las ciudades medias mexicanas. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 12(2), 94-114. <https://quivera.uaemex.mx/article/view/10191>
- Álvarez, G. D. C., & 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>
- Babinger, F. (2012). El turismo ante el reto de peligros naturales recurrentes: una visión desde Cancún. *Investigaciones geográficas*, (78), 75-88. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11095-009-0021-1>
- Bautista-Zúñiga, F., & Aguilar-Duarte, Y. (2021). Flood risk due to extreme rains in the karst os the city of Merida, Yucata, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(1).
- Bähr, J. y Borsdor, A. (2005). La ciudad latinoamericana. La construcción de un modelo. Vigencia y perspectivas. *Urbe. Revista de ciudad, urbanismo y paisaje (Lima)*, 2(2), 207-222. http://www.guzlop-editoras.com/web_des/arquit01/pld0472.pdf

- Barrera-Rojas, M. (2020). Pobreza por ingreso y vulnerabilidad frente a inundaciones en Chetumal, Quintana Roo. En S. Ceballos., J. Villanueva. & J. Quiroa (Eds.), *Infraestructura verde y planeación urbana para el desarrollo urbano sustentable*. Universidad Autónoma de Coahuila, (pp. 138-155). El Colegio del Estado de Hidalgo. <https://doi.org/10.47386/20203007BA6>
- Calderón-Maya, J. R., & Orozco-Hernández, M. E. (2009). Planeación y modelo urbano: el caso de Cancún, Quintana Roo. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 11(2), 18-34. <https://quivera.uaemex.mx/article/view/10258>
- Calderón-Maya, J. (2014). Urbanización y Deterioro Ambiental en Cancún, Quintana Roo. Tesis para optar al grado de doctorado en urbanismo. Universidad Autónoma del Estado de México. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/49405>
- Camas-Gómez, R., Turrent-Fernández, A., Cortes-Flores, J. I., Livera-Muñoz, M., González-Estrada, A., Villar Sánchez, B., & Cadena Iñiguez, P. (2012). Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(2), 231-243.
- Cárdenas-Gómez, E. (2016). Crecimiento y planeación urbana en Acapulco, Cancún y Puerto Vallarta (México). *Revista de investigaciones turísticas* (12): 99-120. <http://dx.doi.org/10.14198/INTURI2016.12.05>
- Castillo-Pavón, O., & Villar-Calvo, A. J. (2011). La conformación del espacio urbano de Cancún: una aproximación al estudio de la segregación socio-espacial. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 13(1), 83-101.
- Cerna, G. S. G., de la Peña, M. R., Antonio, G. G., & Reyna, C. A. J. (2011). Tabasco y sus Asentamientos Humanos, Dos Siglos Después. Villahermosa, México: Secretaría de Asentamientos y Obras Públicas
- Eastman, J. R. (2006). IDRISI Andes Tutorial. Massachusetts. USA: Clark Labs
- Eastman, J. R. (2012). IDRISI Selva. Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes. Massachusetts. USA: Clark Labs
- Ellis, E. A., Romero Montero, A., & Hernández Gómez, I. U. (2015). Evaluación y mapeo de los determinantes de deforestación en la Península Yucatán. Ciudad de México: Internacional Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo (USAID)

- Ellis, E. A., Gómez, U. H., & Romero-Montero, J. A. (2017). Los procesos y causas del cambio en la cobertura forestal de la Península Yucatán, México. *Ecosistemas*, 26(1), 101-111.
- Estrada-Loreto, F., Barba-Macías, E. y Ramos-Reyes, R. (2013). Cobertura temporal de los humedales en la cuenca del Usumacinta, Balancán, Tabasco, México. *Universidad y ciencia*, 29(2), 141-151.
- Fragoso-Servón, P. y Pereira-Corona, A. (2018). Suelos y Karst, origen de inundaciones y hundimientos en Chetumal, Quintana Roo, México. *European Scientific Journal*, (14).
- Frausto-Martínez, O., Thomas, I., & Rojas-López, J. (2016). Atlas de riesgos de la Isla de Cozumel, México. *Teoría y Praxis*, 74–93. <http://www.teoriaypraxis.uqroo.mx/numeros/especial-2016/>
- García, B. (1984). Dinámica ocupacional rural y urbana en el sureste de México: 1970-1980. *Demografía y economía*, 18(3), 445-488. <https://www.jstor.org/stable/40602391>
- García-Benítez, M., Adame-Martínez, S., & Alvarado-Granados, A. (2017). Urbanización e impacto de los ciclones tropicales en la ciudad de Progreso de Castro, Yucatán. *Nova scientia*, 9(19), 819-849. <https://quivera.uaemex.mx/article/view/9749>
- 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. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73722011000100005
- García Gil, G., Oliva Peña, Y., & Ortiz Pech, R. (2012). Distribución espacial de la marginación urbana en la ciudad de Mérida, Yucatán, México. *Investigaciones geográficas*, (77), 89-106 <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n77/n77a8.pdf>
- Garza, G. (2000). Tendencias de las desigualdades urbanas y regionales en México, 1970-1996. *Estudios demográficos y urbanos*, 489-532. <https://doi.org/10.24201/edu.v15i3.1085>
- Garza, G. (2002). Evolución de las ciudades mexicanas en el siglo XX. *Revista de información y análisis*, 19, 7-16.

- George-Chacon, S. P., Dupuy, J. M., Peduzzi, A., & Hernandez-Stefanoni, J. L. (2019). Combining high resolution satellite imagery and lidar data to model woody species diversity of tropical dry forests. *Ecological Indicators*, 101, 975-984. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.015>
- Hernández, H. M. M. (2011). Inundación, reubicación y cotidianidad. El caso de Villahermosa, Tabasco, 2007. Tesis para obtrar el grado de Maestra en Antropología Social. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, Unidad Golfo. <http://docencia.ciesas.edu.mx/Tesis/PDF/488.pdf>
- INEGI. (2010). Marco Geoestadístico. Aguas Calientes, México: INEGI. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/>
- Islebe, G. A., Torrescano-Valle, N., Valdez-Hernández, M., Tuz-Novelo, M., & Weissenberger, H. (2009). Efectos del impacto del huracán Dean en la vegetación del sureste de Quintana Roo, México. *Foresta Veracruzana*, 11(1), 1-6. <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v18n1/v18n1a5.pdf>
- Jiménez-Sánchez, P. L., González-Vera, M. A., Rosas-Ferresca, F. J., & Calderón-Maya, J. R. (2021). Impactos socio ambientales de los asentamientos humanos irregulares en zonas y áreas naturales protegidas: Chetumal, Quintana Roo, México. *Revista Ciudades, Estados y Política*, 8(1). <https://doi.org/10.15446/cep.v8n1.85013>
- Mas, J. F., Velázquez, A., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, C., Bocco, G., & Pérez-Vega, A. (2004). Assessing land use/cover changes: a nationwide multirate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(4), 249-261. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531779>
- Medina-González, E. M. (2002). Planeación urbana en el desarrollo turístico: análisis conceptual del crecimiento urbano de Cancún, 1974-2000. Tesis para obtener el grado de Licenciado en Relaciones Comerciales. Universidad de Quintana Roo. <http://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/684>
- Méndez, M., Martínez, C., Ceccon, E., & Guariguata, M. (2018). La restauración de ecosistemas terrestres en México. Center for International Forestry Research (CIFOR). <https://doi.org/10.17528/cifor/006853>

- Michel, A. y Ribardièrre. (2017). Crecimiento demográfico y formas de urbanización de las pequeñas ciudades en México. *Territorios* (37), 101-121. Doi: <http://dx.doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.4742>
- Montero, L., & García, J. (2017). Panorama multidimensional del desarrollo urbano en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: CEPAL.
- Navarro-Tec, S., Orozco-del-Castillo, M. G., Valdiviezo-Navarro, J. C., Ordaz-Bencomo, D. R., Moreno-Sabido, M. R., & Bermejo-Sabbagh, C. (2018). Análisis del crecimiento urbano y su relación con el incremento de temperaturas en la ciudad de Mérida utilizando imágenes satelitales. *Res. Comput. Sci.*, 147(7), 285-294.
- Noji, E. K. (2000). *Impacto de los desastres en la salud pública*. Bogotá: Organización Panamericana de la Salud. <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/754/9275323321.pdf?sequence=1>
- Nucamendi Hernández, S. (2021). Impacto de la vulnerabilidad a inundaciones en la habitabilidad de la población de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
- Oehmichen, C. (2010). Cancún: la polarización social como paradigma en un México Resort. *Alteridades*, 20(40), 23-34. <https://alteridades.izt.uam.mx/index.php/Alte/article/view/145>
- Oránge-Roque, R., Calderón-Maya, J. R., & Campos-Alanís, H. (2017). Un análisis sobre el sistema de transporte público en la Zona Metropolitana de Cancún (ZMC), México 2016. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 19(2), 81-99 <https://quivera.uaemex.mx/article/view/9755>
- Palacio, A.A., Alfonso de A.P.S., Casarín, R.S., Godínez, E.G.B., Vanegas, G.P., & Val, S.R. (2005) Diagnóstico de riesgo por inundación para la ciudad de Campeche. Campeche, México: Universidad Autónoma de Campeche
- Palacio-Prieto, J. L.; Sánchez-Salazar, M. T.; Casado, J. M.; Propin, F. E.; Delgado, C. J., & Velázquez, M. A. 2004. Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial. Ciudad de México: SEMARNAT
- Palomeque-de la Cruz. M. A., Galindo A, Sánchez AJ., & Escalona MJ (2017). Pérdida de humedales y vegetación por urbanización en la cuenca del río Grijalva, México. *Investigaciones Geográficas* 68: 151-172. <https://doi.org/10.14198/INGEO2017.68.09>

- Paquette, C., Negrete Salas, M. E., & García, S. A. (2013). Territorio, sociedad y ambiente:(des) articulación de los instrumentos de planificación y gestión territorial en el municipio de Campeche, México.
- Paz-Tenorio, J. A., Ramírez, M. G., Herrera, R. G., & Salazar, F. F. D. (2011). Los procesos de remoción en masa: génesis, limitaciones y efectos en el crecimiento urbano de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Revista Geográfica de América Central*, 2, 1-18. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2587>
- Pérez-Bocanegra, E., Isaac-Márquez, R., & Ayala-Arcipreste, M. E. (2014). Marco legal y oportunidades de desarrollo de la conservación voluntaria en México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(5), 15-27. <http://www.reibci.org/publicados/2014/octubre/0500112.pdf>
- Pérez-Bustamante, L., & Salinas-Varela, E. (2007). Crecimiento urbano y globalización: transformaciones del Área Metropolitana de Concepción, Chile, 1992-2002. *Scripta Nova. Revista electrónica de Geografía y ciencias Sociales, Barcelona-Espanha*, 11(251). <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-251.htm>
- Pérez-Medina, S., & López-Falfán, I. (2015). Áreas verdes y arbolado en Mérida, Yucatán. Hacia una sostenibilidad urbana. *Economía, sociedad y territorio*, 15(47), 01-33. <http://www.scielo.org.mx/pdf/est/v15n47/v15n47a2.pdf>
- Perevochtchikova, M., & 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>
- Pineda-Jaimes, N. B., Bosque-Sendra, J., Gómez-Delgado, M., & Plata-Rocha, W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes: Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones geográficas*. (69). 33-52. <https://www.redalyc.org/pdf/569/56912295004.pdf>
- Pontius Jr, R. G., Huffaker, D. y Denman, K. (2004). Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models. *Ecological Modelling*. 179(4). 445-461. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.05.010>
- Posada G (2009). Atlas de peligros naturales del estado de Campeche. *JAINA Boletín Informativo*, 2009, vol. 20, no 2-AÑO, p. 49.

- Ramírez-Velázquez, B. R., & Dafne-Somellera, J. (2016). Metropolización regional: formas de urbanización y desarrollo regional en el sureste de México. *Sociedad y Ambiente*, (10), 1-27. <http://dx.doi.org/10.31840/sya.v0i10.1650>
- Rangel-Montalvo, L. E. (2014). Diagnóstico del desarrollo urbano de la ciudad de Chetumal, México. *Revista Movimientos Sociais e Dinámicas Espaciais*, 3(2), 200-206.
- Reyes-Hernández, H., Cortina-Villar, S., Perales-Rivera, H., Kauffer-Michel, E., & Pat-Fernández, J. M. (2003). Efecto de los subsidios agropecuarios y apoyos gubernamentales sobre la deforestación durante el período 1990-2000 en la región de Calakmul, Campeche, México. *Investigaciones geográficas*, (51), 81-106. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112003000200007
- Rincón-Hernández, R. (2021). Invasión humana y naturaleza extinta. Política, urbanización y medio ambiente en Tuxtla Gutiérrez y el Estado de Chiapas (1892-2015). Tesis para obtener el grado de Maestro en Historia. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Ramírez, J. D. R., Montejo, G. D. L., & Guillermo, R. J. C. (2018). Manglares, desarrollo turístico y cambio climático en Playa del Carmen, corazón del caribe mexicano. *Cuadernos de Biodiversidad*, (55), 28-40. *Cuadernos de Biodiversidad*. 55: 28-40. doi:10.14198/cdbio.2018,55.03
- Sánchez-González, D. (2012). Aproximaciones a los conflictos sociales y propuestas sostenibles de urbanismo y ordenación del territorio en México. *Revista de Estudios Sociales*, (42), 40-56. <http://www.scielo.org.co/pdf/res/n42/n42a05.pdf>
- Sánchez-Munguía, A. (2005). Uso del suelo agropecuario y deforestación en Tabasco 1950-2000. Villahermosa: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2001). El transporte regional en el Sureste Mexicano. Ciudad de México: Instituto Mexicano del Transporte.
- Silva, M., García, A., & Hernando, A. (2015). Crecimiento de la mancha urbana en la Zona Metropolitana de Tuxtla Gutiérrez (Chiapas, México). *Quehacer Científico en Chiapas*, 10(2), 35-41. <https://doi.org/10.19136/era.a7n2.2485>
- Schmitter, P., Goedbloed, A., Galelli, S., & Babovic, V. (2016). Effect of catchment-scale green roof deployment on stormwater generation and reuse in a tropical city. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(7), 05016002.

Vázquez-Sánchez. (2005). Programa Estatal de Ordenamiento Territorial del Estado de Chiapas 2005 (fases I y II). Tuxtla Gutiérrez, México: Gobierno del Estado de Chiapas.

Velázquez, A., Mas, J., Díaz, J., Mayorga, R., Alcantara, P., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E., & Palacio, J. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica INE*, 62(62), 21–37. http://dialnet.unirioja.es/servlet/dfichero_articulo?codigo=2897113

Villaseñor, N., Tulloch, A., Driscoll, D., Gibbons, P., & Lindenmayer, D. (2017). Compact development minimizes the impacts of urban growth on native mammals. *Journal of Applied Ecology*, 54(3), 794–804. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12800>

CAPÍTULO 3

3.1 DISCUSIÓN GENERAL

Esta tesis demuestra que las dinámicas espacio temporal más concurrente en las ciudades mexicanas son la pérdida de extensas coberturas de vegetación arbórea en las que destaca la vegetación costera de manglar y selvas y acahuales con diferentes estadios. Las transiciones más comunes son el cambio de vegetación arbórea a pastizal de uso agropecuario y consecutivamente de pastizal a uso urbano (Palomeque-de la Cruz et al., 2021). Las consecuencias de estos cambios, son fenómenos meteorológicos más extremos con fuertes catástrofes que afectan principalmente a la calidad de vida de población más vulnerable social y económicamente debido a la marcada segregación socio-espacial (Babinger, 2011; Álvarez & Tuñón, 2016; George-Chacon *et al.*, 2019; Barrera-Rojas, 2020; Bautista-Zúñiga & Aguilar-Duarte, 2021).

Para contrarrestar esta problemática nacional, es urgente la implementación de diversos planes y programas de desarrollo urbano y municipal, programas de manejo y políticas de usos del suelo acordes con las características geomorfológicas y del suelo (De Waele, et al., 2011; Fragoso-Servón et al., 2018). Se requieren acciones contundentes de gestión de riesgos en zonas urbanas que promuevan la base de una cultura de prevención y el control de las inundaciones en términos económicos, resiliencia y la mitigación de la vulnerabilidad ante eventos climatológicos derivados del cambio climático y el deterioro ambiental local (Ramos-Reyes & Palomeque-de la Cruz, 2019). También es primordial instrumentar la gestión de áreas de protección de humedales superficiales, y elaborar con las instancias correspondientes los mecanismos para evitar el desarrollo de asentamientos humanos irregulares en zonas de alto riesgo y buscar acuerdos para la reubicación (Instituto de Planeación y Desarrollo Urbano, 2008).

Es necesario reactivar los corredores biológicos por ser espacios biológicos para lograr la conservación de la biodiversidad porque conectan los flujos ecosistémicos y el mantenimiento de la fauna y vegetación arbórea nativa y exótica (Almeida-

Cerino et al., 2021). Por ejemplo, la vegetación en las ciudades costeras en Campeche y la Península de Yucatán, deben ser rehabilitados con programas de restauración de servicios ecosistémicos, que permitan la integridad de los manglares con otros ecosistemas costeros como los arrecifales (Hirales-Cota et al., 2010). Es primordial reforestar el arbolado urbano no estableciendo distinciones entre el desarrollo artificial y la conservación del germoplasma para el bien común de la población. Se requiere investigación científica comprometida con la sustentabilidad urbana en ambientes tropicales (Almeida-Cerino et al., 2021). La concientización de la población también es un punto medular como actores sociales que exijan el cambio en el paradigma de la administración de los recursos de las ciudades capitales del Sureste de México (Almeida-Cerino et al., 2021).

Esta tesis demuestra la utilidad del módulo Land Change Modeler (LCM) *for Ecological Sustainability*, debido a que simplifica todas las complejidades del estudio espacial del cambio de uso del suelo, y utiliza el cambio histórico de la cobertura para modelar empíricamente la relación entre las transiciones de la cubierta terrestre (Camacho-Olmedo et al., 2010; Eastman, 2012; Eastman & Toledano, 2018), y se orienta a evaluar el constante problema del deterioro ambiental para la implementación de urgente políticas públicas de conservación de la biodiversidad (Camacho-Olmedo et al., 2010; Eastman, 2012).

Adicionalmente, en las ciudades del Sureste de México se pueden proyectar escenarios de crecimiento urbano en cada una de las ciudades combinando el modelo LCM con modelos estocásticos con base en transición como las Cadenas de Markov (que construyen una matriz de cambio con proyección futura), y Autómatas Celulares (auxiliar para creación un mapa de escenario prospectivo) (Yang et al., 2012; Subedi et al., 2013). Otros modelos geomáticos de gran utilidad para crear proyecciones espaciales son las Redes Neuronales (Díaz-Pacheco y Hewitt, 2012).

También se recomienda el empleo de las técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) que es un conjunto de técnicas SIG y teledetección utilizadas en la decisión

multidimensional, dentro del campo de la toma de decisiones para solución de problemas territoriales, ecológicos y sociales (Eastman, 2012; Barredo-Cano, 1996; Colson y de Bruyn, 1989) La zonificación de las áreas con aptitud de potencial de uso urbano, conservación y restauración de ecosistemas merecen primordial atención para el diseño de un plan que marque líneas de ordenamiento ecológico, con el propósito de regular o inducir el uso de suelo y las actividades productivas, con la finalidad de intervenir con la protección y conservación de los ecosistemas, así como la prevención de riesgos por inundaciones (Cabrera-González, 2015).

México.

3.2 CONSIDERACIONES FINALES

En la presente tesis se determinó la pérdida de recursos naturales ocasionados por la expansión urbana en ciudades capitales de la Región del Sureste de México, empleando *The Land Change Modeler for Ecological Sustainability* en dos periodos de tiempo (periodo promedio de 1995-2020). Como resultado global se obtuvo que, el crecimiento urbano total en el Sureste de México fue de 44,841 ha, mientras que deforestación de la vegetación arbórea fue de 33,845. El cálculo de las transiciones demostró (1) el remplazo de coberturas de vegetación arbórea a uso urbano y (2) el desplazamiento de pastizales a uso urbano.

Los efectos de la pérdida de los recursos naturales han sido la pérdida de servicios ecosistémicos de control de inundaciones, protección contra huracanes, regulación de la temperatura, y pérdida de la biodiversidad por la deforestación de coberturas arbóreas en las que destacaron los manglares y porciones de selva. Este deterioro ambiental afecta principalmente a la calidad de vida de población más vulnerable debido a los altos índices de desigualdad.

Esta información es un acercamiento para actualizar el conocimiento general de las tendencias de los procesos de degradación de los ecosistemas en ciudades capitales de México para la planeación urbana y ambiental, siendo primordial que los gobiernos municipales en conjunto con los gobiernos estatales y la federación, rediseñen los programas urbanos, y metropolitanos para la restauración y conservación de los ecosistemas en zonas urbanas y periurbanas.

También es importante que se contemplen actualizar los Atlas de Riesgo contra inundaciones, eventos climatológicos y otros fenómenos naturales con base en lo señalado en la Ley General de Protección Civil y las guías metodológicas para la elaboración Atlas de Riesgo Municipal del Cenapred con la consolidación de premisas aprendidas de daños ocasionados por huracanes, cartográficas modernas, sistemas de bases de datos georreferenciados a escala detallada, relevamientos catastrales, y la conformación de equipos de trabajo multidisciplinarios (Frausto-Martínez *et al.*, 2016).

3.3 LITERATURA CITADA

- Almeida Cerino CM, Bertolini V, Martínez Trinidad T (2021). ¿Planear un paisaje urbano conservativo en el sureste de México? Reflexiones para el caso de Tapachula, Chiapas. *Magna Sci.* 1(1):78-83. Disponible en: <http://190.97.80.24/index.php/magnascientia/article/view/17>
- Álvarez, G. D. C., & 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.
- Babinger, F. (2012). El turismo ante el reto de peligros naturales recurrentes: una visión desde Cancún. *Investigaciones geográficas*, (78), 75-88.
- Barredo-Cano, J. I. (1996). Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica en la Ordenación del Territorio. *Madrid, Editorial RA-MA*, 264.
- Barrera-Rojas, M. (2020). Pobreza por ingreso y vulnerabilidad frente a inundaciones en Chetumal, Quintana Roo. En S. Ceballos., J. Villanueva. & J. Quiroa (Eds.), *Infraestructura verde y planeación urbana para el desarrollo urbano sustentable*. Universidad Autónoma de Coahuila, (pp. 138-155). El Colegio del Estado de Hidalgo
- Bautista-Zúñiga, F., & Aguilar-Duarte, Y. (2021). Flood risk due to extreme rains in the karst os the city of Merida, Yucata, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(1).
- Camacho, J., Pérez, J., Pineda, N., Cadana, E., Bravo, L., & Sánchez, M. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la zona de transición mexicana de montaña. *Madera Bosques*, 21(1), 93–112.
- Colson, G., & De Bruyn, C. (1989). Models and methods in multiple objectives decision making. In *Models and methods in multiple criteria decision making* (pp. 1201-1211). Pergamon.
- De Waele, J., Gutiérrez, F., Parise, M., & Plan, L. (2011). Geomorfología y peligros naturales en áreas kársticas: una revisión. *Geomorfología*, 134(1-2), 1-8.
- Díaz-Pacheco, J., & Hewitt, R. (2014). Modelado de cambios de usos de suelo urbano a través de redes neuronales artificiales. Comparación con dos
- “IMPACTO EN LOS RECURSOS NATURALES POR EL CRECIMIENTO URBANO EN CIUDADES DEL SURESTE MEXICANO”

- aplicaciones de software. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (14), 1-22.
- Eastman, J. R. (2012). IDRISI Selva GIS and Image Processing Software version 17.0. Worcester, Massachusetts, USA. Clark Labs
- Eastman, J. R., & Toledano, J. (2018). Una breve presentación del Land Change Modeler (LCM). En *Geomatic approaches for modeling land change scenarios* (pp. 499-505). Springer, Cham.
- Fragoso-Servón, P., & Pereira-Corona, A. (2018). Suelos y Karst, origen de inundaciones y hundimientos en Chetumal, Quintana Roo, México. *European Scientific Journal*, (14).
- George-Chacon, S. P., Dupuy, J. M., Peduzzi, A., & Hernandez-Stefanoni, J. L. (2019). Combining high resolution satellite imagery and lidar data to model woody species diversity of tropical dry forests. *Ecological Indicators*, 101, 975-984
- Hirales-Cota, M., Espinoza-Avalos, J., Schmook, B., Ruiz-Luna, A., & Ramos-Reyes, R. (2010). Drivers of mangrove deforestation in Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, southeast Mexico. *Ciencias Marinas*, 36(2), 147-159.
- Instituto de Planeación y Desarrollo Urbano (2008). *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de la Ciudad de Villahermosa y Centros Metropolitanos del Municipio de Centro, Tabasco 2008-2030*. Villahermosa: H. Ayuntamiento Constitucional de Centro.
- Palomeque de la Cruz, Miguel Angel, Silvia del Carmen Ruiz Acosta, Rodimiro Ramos Reyes, Miguel Alberto Magaña Alejandro, y Adalberto Galindo Alcántara. (2021). Modelación De Cambios De Coberturas Y Uso De Suelo En Nacajuca, Tabasco. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas* 12 (4) <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2622>.
- Ramos Reyes, R., Palomeque de la Cruz, M. Á., Núñez, J. C., & Sánchez Hernández, R. (2019). La gran inundación del 2007 en Villahermosa, Tabasco, México: antecedentes y avances en materia de control. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* (Vol. 39, No. 2, p. 387). Universidad Complutense de Madrid.

Subedi, P, Subedi, K. and Thapa, B. (2013). Application of a hybrid Cellular Automata–Markov (CA-Markov) model in land-use change prediction: A Case Study of Saddle Creek Drainage Basin, Florida. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 1(6), 126-132.

Yang, X., Zheng, X. Q., & Chen, R. (2014). Un modelo de cambio de uso de la tierra: Integración de índices de patrones de paisaje y Markov-CA. *Modelización Ecológica*, 283, 1-7.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.