



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
“ESTUDIO EN LA DUDA, ACCIÓN EN LA FE”

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**Refinería Olmeca y dinámica espacial del corredor
urbano “Paraíso-Comalcalco”**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:
Licenciado en Ingeniería Ambiental

PRESENTA:

Óscar Villegas Chablé

DIRECTOR:

Dr. Adalberto Galindo Alcántara

CO-DIRECTOR:

Dr. Miguel Ángel Palomeque de la Cruz

Villahermosa, Tabasco

Abril, 2024



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



2024
Felipe Carrillo
PUERTO
RECTOR DEL INSTITUTO
NACIONAL DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
DEL MUNICIPIO
DE TABASCO
MÉXICO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN

Villahermosa, Tab., a 05 de Marzo de 2024

ASUNTO: Autorización de Modalidad de Titulación

C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E

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 al **C. OSCAR VILLEGAS CHABLÉ** egresado de la Lic. en **ING. AMBIENTAL** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis denominado: **"REFINERÍA OLMECA Y DINÁMICA ESPACIAL DEL CORREDOR URBANO "PARAÍSO-COMALCALO"**.

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

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





UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



2024
Felipe Carrillo
PUERTO
RECTOR DE LA UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
GOBIERNO DEL ESTADO DE TABASCO
MÉXICO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN

MARZO 05 DE 2024

C. OSCAR VILLEGAS CHABLÉ
PAS. DE LA LIC. EN ING. AMBIENTAL
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 denominado: **"REFINERÍA OLMECA Y DINÁMICA ESPACIAL DEL CORREDOR URBANO "PARAÍSO-COMALCALO"**, asesorado por el Dr. Adalberto Galindo Alcántara y Dr. Miguel Ángel Palomeque de la Cruz, sobre el cual sustentará su Examen Profesional, cuyo jurado está integrado por la Dra. Tania Gudelia Núñez Magaña, Dra. Silvia del Carmen Ruiz Acosta, Dr. Adalberto Galindo Alcántara, Dr. Miguel Alberto Magaña Alejandro y Dr. José Ángel Gaspar Génico.

A T E N T A M E N T E
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE

DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR

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



DIRECCIÓN

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



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



2024
Felipe Carrillo
PUERTO
ESTUDIOS DE POLÍTICA Y
SOCIOLOGÍA Y DEFENSOR
JULIO MARÍN
GOBIERNO DE
MÉXICO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN

20 de marzo de 2024

C. Óscar Villegas Chablé
Pasante de la Lic. en Ingeniería Ambiental
PRESENTE

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, se implementó la revisión del trabajo recepcional (**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 y el Código Institucional de Ética para la Investigación.

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones, el índice de similitud y el reporte de originalidad obtenido a través de la **revisión en la plataforma iThenticate** de su documento de tesis **Refinería Olmeca y dinámica espacial del corredor urbano "Paraíso-Comalcalco"**.

OBSERVACIONES:

Se incluyeron citas, se excluyeron referencias bibliográficas, fuentes pequeñas y se limitó el número de coincidencias a 13 palabras.

RESULTADO DE SIMILITUD	7 %
	13404 palabras, 33 coincidencias, 21 fuentes

Finalmente, se le solicita al **C. Óscar Villegas Chablé** integrar en la versión final del trabajo recepcional (tesis), este oficio y el informe de originalidad con el porcentaje de similitud de 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. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR

C.c.p. Dr. Adalberto Galindo Alcántara. Director de tesis
C.c.p. Dr. Miguel Ángel Palomeque de la Cruz. Codirector de tesis
C.c.p. Archivo

Refinería Olmeca y dinámica espacial del corredor urbano “Paraíso-Comalcalco

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%
ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	cienciasagricolas.inifap.gob.mx Internet	325 palabras — 3%
2	ojs.uniquindio.edu.co Internet	53 palabras — < 1%
3	perseo.uan.mx Internet	44 palabras — < 1%
4	www.scielo.org.mx Internet	39 palabras — < 1%
5	gaceta.diputados.gob.mx Internet	27 palabras — < 1%
6	www.researchgate.net Internet	23 palabras — < 1%
7	www.redalyc.org Internet	18 palabras — < 1%
8	baixardoc.com Internet	17 palabras — < 1%
9	ipttest.conabio.gob.mx Internet	17 palabras — < 1%

10	eprints.uanl.mx Internet	16 palabras — < 1%
11	revistatyca.org.mx Internet	16 palabras — < 1%
12	tabasco.gob.mx Internet	16 palabras — < 1%
13	www.ub.edu Internet	16 palabras — < 1%
14	Ricardo Ray Villanueva Ramírez, Carlos Del Valle Jurado. "Modelamiento del crecimiento urbano de la ciudad de Huaraz mediante regresión logística", Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, 2021 Crossref	15 palabras — < 1%
15	pdf.usaid.gov Internet	15 palabras — < 1%
16	repositorio.untrm.edu.pe Internet	15 palabras — < 1%
17	terralatinoamericana.org.mx Internet	15 palabras — < 1%
18	chm.cbd.int Internet	13 palabras — < 1%
19	dspace.unl.edu.ec Internet	13 palabras — < 1%
20	geosl.semarnat.gob.mx Internet	13 palabras — < 1%

EXCLUIR CITAS DESACTIVADO EXCLUIR FUENTES DESACTIVADO
EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA ACTIVADO EXCLUIR COINCIDENCIAS < 13 PALABRAS

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México

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 Licenciatura denominado: **"REFINERÍA OLMECA Y DINÁMICA ESPACIAL DEL CORREDOR URBANO "PARAÍSO-COMALCALO"**, 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 05 de Marzo de Dos Mil Veinticuatro.

AUTORIZO



OSCAR VILLEGAS CHABLÉ

AGRADECIMIENTOS

A mi madre y padre, por brindarme todo su apoyo incondicional y confianza para lograr ser un gran profesionalista.

A mi hermano y hermana, quienes sin darse cuenta me han ayudado a sobrellevar los momentos más difíciles y monótonos de mi vida.

A Yadi, quien siempre me ha brindado buenos consejos y apoyo anímico cuando más lo he necesitado para continuar con mis metas profesionales.

Al Dr. Miguel y al Dr. Adalberto, por su tiempo, paciencia y dedicación que tuvieron con este proyecto.

A Chispita, por acompañarme en todo momento y nunca abandonarme en mis días más tristes.

DEDICATORIA

*A la memoria de mi querida abuela Elísea,
mi estimado tío Vicente y mi fiel amiga perruna Estrellita.*

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México

RESUMEN

En las últimas décadas el cambio de uso del suelo generado por las actividades productivas, la industria petrolera y el crecimiento de las urbes se ha acrecentado y con ello ocasionado el deterioro de importantes cubiertas naturales en las regiones tropicales del sureste de México como las selvas, los manglares, los cuerpos de agua, la vegetación hidrófita y los pastizales. Por lo anterior, se realizó un análisis espacio-temporal del corredor urbano Paraíso-Comalcalco a partir de mapas de uso del suelo, los cuales fueron elaborados mediante una digitalización en pantalla en el software ArcMap® y procesados con el módulo *Land Change Modeler* de IDRISI TerrSet®, con el objetivo de determinar el efecto provocado por el establecimiento de la refinería Olmeca en el crecimiento urbano y las coberturas naturales colindantes al corredor. Así, desde el inicio de la construcción de la refinería Olmeca en el 2019 hasta el 2023 se registró una disminución considerable de la vegetación arbórea (583 ha) y de los humedales (129 ha), mientras que para el área urbana se detectó un incremento significativo (337 ha), este último originado por las migraciones de personas que buscan encontrar nuevas oportunidades laborales y mejorar sus condiciones económicas en esta región, contribuyendo de esta manera al aumento demográfico local, por lo tanto el crecimiento urbano en esta zona causó la pérdida de 191 hectáreas de superficie agropecuaria y 195 hectáreas de vegetación arbórea, mientras que la refinería Olmeca ocasionó la pérdida de 45 hectáreas de humedales, afectando drásticamente importantes servicios ecosistémicos. En conclusión, la información cartográfica generada puede servir de ayuda para definir planes de desarrollo urbano de tal manera que se pueda evitar a tiempo el crecimiento urbano informal en esta región y evitar el deterioro gradual de las coberturas naturales.

Palabras Clave: Cambio de uso de suelo, crecimiento urbano, refinería Olmeca.

ABSTRACT

In recent decades, land use change generated by productive activities, the oil industry, and urban growth has increased, causing the deterioration of important natural cover in the tropical regions of southeastern Mexico, such as jungles, mangroves, bodies of water, hydrophytic vegetation, and grasslands. For the above reasons, a spatio-temporal analysis of the Paraíso-Comalcalco urban corridor was carried out based on land use maps, which were elaborated through on-screen digitalization in the ArcMap[®] software and processed in the *Land Change Modeler* module of IDRISI TerrSet[®], with the objective of determining the effect caused by the establishment of the Olmeca refinery on urban growth and the natural land cover adjacent to the corridor. Thus, from the beginning of the construction of the Olmeca refinery in 2019 until 2023 there was a considerable decrease in tree vegetation (583 ha) and wetlands (129 ha), while for the urban area a significant increase was detected (337 ha), the latter originated by the migration of people seeking to find new job opportunities and improve their economic conditions in this region. Therefore, urban growth in this area caused the loss of 191 hectares of agricultural land and 195 hectares of arboreal vegetation, while the Olmeca refinery caused the loss of 45 hectares of wetlands, drastically affecting important ecosystem services. In conclusion, the cartographic information generated can be used to help define urban development plans in such a way that informal urban growth in this region can be avoided in time and the gradual deterioration of natural cover can be prevented.

Key words: Land use change, urban growth, Olmeca refinery.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	IX
DEDICATORIA	X
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
ÍNDICE GENERAL	XIII
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	XV
I. INTRODUCCIÓN	16
II. MARCO TEÓRICO	18
2.1. Panorama del cambio de uso del suelo	18
2.2. Efectos del cambio de uso del suelo	18
2.3. Cambio de uso del suelo en México	19
2.4. Dinámica espacial y espacio-temporal	20
2.5. La dinámica espacial y espacio-temporal del territorio Tabasqueño	20
2.6. Refinería Olmeca y cambio de uso del suelo	21
2.7. Corredor urbano Paraíso-Comalcalco	22
2.8. La modelación del cambio de uso del suelo	22
III. JUSTIFICACIÓN	23
3.1. Impacto del crecimiento urbano en el uso del suelo	23
3.2. Impacto socioeconómico y ambiental de las refinerías de petróleo	24
3.3. Impacto socioeconómico y ambiental de la industria petrolera en Tabasco	25
3.4. El uso de los SIG en el modelamiento de los procesos de cambio	25
3.5. Importancia del estudio en el corredor urbano de Paraíso-Comalcalco	25
IV. ANTECEDENTES	27
V. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	30
5.1. Definición del problema	30
5.2. Preguntas de investigación	30

VI. OBJETIVOS	31
6.1. Objetivo general	31
6.2. Objetivos específicos	31
VII. METODOLOGÍA GENERAL	32
7.1. Área de estudio	32
7.2. Obtención de la información geográfica	33
7.2.1. Descarga de imágenes	33
7.2.2. Digitalización de categorías de usos y coberturas	33
7.3. Análisis con el módulo <i>Land Change Modeler</i> de IDRISI	34
7.4. Cálculo de las tasas de cambio	36
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
8.1. Usos y coberturas del suelo 2017, 2019 y 2023	37
8.2. Análisis de la dinámica espacio-temporal de los usos del suelo 2017, 2019 y 2023	39
8.2.1. Dinámica espacio-temporal de los humedales	39
8.2.2. Dinámica espacio-temporal de los manglares	40
8.2.3. Dinámica espacio-temporal de la zona costera	41
8.2.4. Dinámica espacio-temporal de las actividades agropecuarias	42
8.2.5. Dinámica espacio-temporal del área urbana	43
8.2.6. Dinámica espacio-temporal de la Refinería Olmeca	44
8.2.7. Dinámica espacio-temporal de la vegetación arbórea	44
8.3. Transiciones 2017-2019 y 2019-2023	45
8.4. Alternativas para la planificación ambiental del corredor	48
IX. CONCLUSIONES	50
X. REFERENCIAS	52

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de las imágenes satelitales	33
Tabla 2. Matriz de tabulación cruzada para dos mapas de diferentes fechas (Pontius et al., 2004)	35
Tabla 3. Superficies y dinámica espacio-temporal de los usos del suelo y coberturas naturales	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio	32
Figura 2. Diagrama de la metodología general	36
Figura 4. Mapas de usos del suelo del 2017, 2019 y 2023	38
Figura 5. Mapas de pérdidas y ganancias 2017-2019	46
Figura 6. Mapas de pérdidas y ganancias 2019-2023	47
Figura 7. Mapa de transiciones 2017-2019	48
Figura 8. Mapa de transiciones 2019-2023	49

I. INTRODUCCIÓN

A la forma en la que se emplea un terreno y su cubierta vegetal se le conoce como uso del suelo (SEMARNAT, 2019). A nivel global, este proceso antrópico es uno de los principales causantes de la pérdida de millones de hectáreas de coberturas naturales, provocada por la expansión agropecuaria y el crecimiento urbano informal, generados a su vez por el acelerado incremento demográfico que exige una mayor demanda de recursos y espacio para satisfacer diversas necesidades (Da Cunha y Vignoli, 2009).

México no es ajeno a este fenómeno, tanto en el Sur, Norte y centro del país se han perdido grandes superficies naturales a consecuencia de la actividad petrolera, ganadera, agrícola y urbana (Challenger et al., 2009). En el municipio de Tabasco, ubicado al Sur de México, los ecosistemas que han sufrido mayores pérdidas han sido las selvas tropicales y los humedales, entre ellos los manglares, cuyas coberturas se han visto afectadas en mayor medida desde finales del siglo anterior por la explotación petrolera (Pinkus y Pacheco, 2012; Hernández et al., 2016a). Este proceso de cambio de uso del suelo sobre las coberturas naturales puede representar un grave problema al generar modificaciones en los paisajes naturales, la fragmentación de importantes corredores biológicos o peor aún su destrucción total de este, originando la desaparición de cientos de especies silvestres y distintos servicios ambientales (Galicía et al., 2007).

En Tabasco, el gobierno federal tomó la iniciativa de construir una refinería de petróleo cerca del puerto de Dos Bocas, municipio de Paraíso, con el objetivo de impulsar el desarrollo económico y social del país, sin embargo, su construcción terminó ocasionando la deforestación de un importante número de hectáreas boscosas, destruyendo de esta manera el hábitat de muchas especies (Instituto Mexicano del Petróleo, 2019; Neldy, 2022). No obstante, se espera que este proyecto ocasione un impacto positivo en la economía regional, el cual se reflejara en un aumento en el crecimiento urbano e industrial, sobre todo del corredor urbano que conecta las cabeceras municipales de Paraíso y Comalcalco, lo que desencadenara una serie de efectos

perjudiciales a corto y largo plazo en los ecosistemas adyacentes (Moscoso-Baeza y Escobar-Fernández, 2022; Héctor; 2022).

Por tales motivos en el presente trabajo se expone detalladamente un análisis de cambio de uso y cobertura del suelo durante tres periodos de tiempo (2017, 2019 y 2023) en el área de influencia del corredor urbano “Paraíso-Comalcalco”, el cual se llevó a cabo empleando la herramienta *Land Change Modeler for Ecological Sustainability* de IDRISI TerrSet®, principalmente con el objetivo de determinar el efecto provocado por la refinería Olmeca sobre las coberturas naturales del sitio donde se construyó, así como también el impacto posterior que tendrá sobre el crecimiento urbano del corredor y las coberturas naturales colindantes a este.

En un contexto donde el crecimiento urbano del territorio tabasqueño es cada vez más rápido y mayor por el aumento demográfico y económico que está experimentando el sureste de la República Mexicana es fundamental que las instituciones encargadas de la planificación territorial adopten nuevos enfoques sostenibles que equilibren este desarrollo con la preservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano. Por esta razón, este estudio no solo busca exponer los impactos generados por la refinería Olmeca y el crecimiento urbano informal sobre los ecosistemas adyacente al corredor Paraíso-Comalcalco, sino también busca brindar información relevante para la toma de decisiones en materia de planificación urbana y conservación ambiental.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Panorama del cambio de uso del suelo en el mundo

La situación a nivel global con respecto al cambio de uso y cobertura del suelo es muy preocupante, por ejemplo, el desarrollo urbano detonante de estos cambios en muchas regiones del mundo está aumentando de manera muy vertiginosa (Da Cunha y Vignoli, 2009). De acuerdo con Lambin y colaboradores (2001) la urbanización como cobertura de suelo, en forma de zonas edificadas o pavimentadas, ocupa menos del 2% de la superficie terrestre, pero a pesar de ello influye en el cambio del suelo en otras regiones a través de la demanda de recursos.

Entre los años 1990 a 2000 las ciudades que experimentaron el cambio más rápido en la población urbana se encontraban particularmente en países en desarrollo donde alrededor de 1 a 2 millones de hectáreas de tierras de cultivo están dejando de producir anualmente para poder satisfacer la demanda de tierras para vivienda, industria, infraestructura y recreación (Lambin et al., 2003).

2.2. Efectos del cambio de uso del suelo

Los impactos ambientales generados por los cambios en el uso y cobertura del suelo pueden ser muy variados (Galicia et al., 2007). Diversos autores reportan un sinnúmero de problemas ocasionados por este fenómeno antropogénico como la pérdida del hábitat natural de especies silvestres ocasionada por la fragmentación y degradación de las coberturas naturales (López et al., 2015; Lázaro y Tur, 2018), el incremento de la escorrentía superficial que produce desbordes, inundaciones y erosión, principalmente cuando se producen intensas precipitaciones (Henríquez et al., 2006). Así como también alteraciones en los ciclos biogeoquímicos, pérdida de la fertilidad del suelo, cambios en la productividad de los servicios ambientales y en el régimen climático regional y local (Galicia et al., 2007). De igual forma la deforestación de las coberturas forestales por cambio de uso del suelo contribuye al aumento de las emisiones de CO₂ al perder esta su capacidad de almacenar carbono en forma de biomasa (Olguín et al., 2007).

2.3. Cambio de uso del suelo en México

En México las actividades antropogénicas que han tenido un impacto significativo en el cambio de uso del suelo son el crecimiento de las zonas urbanas, agrícolas y pecuarias (Sánchez et al., 2009). Cabe destacar que México es conocido como un país megadiverso lo cual significa que cuenta con una gran variedad de ecosistemas (Jiménez et al., 2014), entre las que destacan la selva húmeda, la selva seca, los matorrales xerófilos, los bosques mesófilos de montaña, los boques templados de coníferas, los pastizales semidesérticos y los humedales continentales y costeros (SEMARNAT, 2019), desgraciadamente en las últimas décadas las extensiones de estos ecosistemas se han visto altamente vulneradas por actividades antrópicas (agricultura, ganadería extensiva, infraestructura urbana, etc.) las cuales han deteriorado gravemente estos biomas que brindan a los humanos diferentes e importantes servicios ambientales (Challenger et al., 2009; Balvanera y Cotler, 2011).

Ejemplo de ello son las selvas húmedas del sur de México, en los últimos 50 a 100 años estas han perdido gran parte de su cobertura natural y además de esto presentan la tasa de deforestación más alta del país (Challenger et al., 2009). Las selvas húmedas fueron muy afectadas en las décadas de 1950 a 1980 como consecuencia de la exploración y producción petrolera, al igual que por políticas públicas que fomentaron el desarrollo agropecuario y que contribuyeron con la reducción de esta área biótica (Pinkus y Pacheco, 2012). Otro de los ecosistemas cuyas coberturas naturales también han sido perturbadas durante las últimas décadas son los manglares, principalmente a causa de la construcción de carreteras e infraestructura para la explotación y transporte de petróleo, así como la instalación de líneas de distribución de energía eléctrica (Portillo y Ezcurra, 2002).

De acuerdo con la SEMARNAT en su trabajo publicado en el 2019 y titulado *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*, en el 2014 el 71.4% de la superficie de México estaba cubierta por comunidades vegetales naturales y por otro lado la superficie restante había sido reducida a terrenos agropecuarios, áreas urbanas y otros usos del suelo antrópicos.

2.4. Dinámica espacial y espacio-temporal

Uno de los métodos más confiables para estimar el grado de conversión ambiental, es a través del estudio de la dinámica espacio-temporal de las diferentes coberturas del suelo (Priego, 2004), esta se refiere a las transformaciones que las coberturas naturales o de uso antrópico sufren durante un determinado periodo y nos permite conocer la distribución, el incremento o el decremento de distintas superficies, como las agrícolas, pecuarias o urbanas, así como también comprender las modificaciones que la vegetación natural experimenta a través del tiempo debido al uso antropogénico (Castelán et al., 2007; López et al., 2015), por tales motivos, para efectos de este trabajo, la dinámica espacio-temporal se refiere a los cambios que se producen a lo largo del tiempo en los usos del suelo y las coberturas naturales de un territorio.

Mientras que la dinámica espacio-temporal considera tanto la dimensión espacial como la temporal en el cambio de uso del suelo, la dinámica espacial se enfoca exclusivamente en la distribución espacial de este, en un momento específico en el tiempo. En otras palabras, se limita a entender cómo se distribuyen y se relacionan entre sí las diferentes coberturas de suelo en un área determina y en un momento dado (Castelán et al., 2007).

2.5. La dinámica espacial y espacio-temporal del territorio Tabasqueño

Para el caso del estado de Tabasco, a finales del siglo XX el auge petrolero favoreció el crecimiento demográfico con un aumento poblacional de 25% entre 1980 a 2005 (Capdepont-Ballina y Marín-Olán, 2014). Esto a su vez contribuyó con el crecimiento urbano del estado, en el cual se construyeron nuevas carreteras, caminos, puentes, unidades habitacionales, fraccionamientos, plazas comerciales, centros educativos, centros de salud y áreas públicas de entretenimiento (Pinkus-Rendón y Contreras-Sánchez, 2012). De igual manera se mejoraron los servicios de telefonía, electricidad, agua potable y alcantarillado (Capdepont-Ballina y Marín-Olán, 2014).

Otros factores que también propiciaron el desarrollo del estado fue la creación de programas impulsados por el gobierno como el Plan Chontalpa (1965-1976), el Plan Balancán-Tenosique,

el Programa de Desarrollo Rural Integrado para el Trópico Húmedo y el PROGAN (Ramírez-García et al., 2022; Ramos y Palomeque, 2023). Estos programas en conjunto con el crecimiento demográfico originado por el auge petrolero provocaron fuertes presiones en la dinámica espacial de la región, detonando el desarrollo urbano, agrícola y pecuario a costa de la degradación de diversos ecosistemas (Fuentes, 1977; Pinkus y Pacheco, 2012; Gutiérrez et al., 2019).

Ahora bien, en los últimos años se han realizado algunos esfuerzos por comprender la dinámica espacio-temporal de los usos del suelo en Tabasco (Ramos et al., 2019a; Ramos-Reyes et al. 2021). Estos han documentado que el uso urbano ha presentado tasas anuales de crecimiento muy elevadas (Ramos y Palomeque, 2023). Un ejemplo lo podemos observar en el municipio de Comalcalco donde Ramos-Reyes y colaboradores (2016) encontraron un incremento significativo de la zona urbana entre los años 2000 a 2010 con una tasa de cambio anual de 6.1%.

De igual manera para el municipio de Huimanguillo durante el mismo periodo de análisis (2000 a 2010) el área urbana presentó una tasa anual de crecimiento muy significativa de 6.3%, donde las superficies que más contribuyeron con el crecimiento de la zona urbana fueron las superficies de uso agropecuario y los humedales (Ramos et al., 2019b).

2.6. Refinería Olmeca y cambio de uso del suelo

La Refinería Olmeca, es megaobra insignia del gobierno federal y prioritario dentro del Plan de Desarrollo Nacional que busca impulsar el desarrollo del país (Ávila y Cedeño, 2021). Del Río (2019) menciona que la refinería Olmeca impactara de manera positiva en la economía local, debido al establecimiento de nuevas empresas, la creación de nuevos empleos, la construcción de fraccionamientos, el aumento de la demanda de servicios educativos y recreativos, el mejoramiento de la infraestructura de salud y servicios públicos básicos (Moscoso-Baeza y Escobar-Fernández, 2022). No obstante, este desarrollo económico impulsado por la refinería también tendrá efectos negativos en el ambiente costero de Tabasco y en gran parte de la subregión Chontalpa (Héctor; 2022).

2.7. Corredor urbano Paraíso-Comalcalco

Los corredores urbanos son elementos conectores de áreas centrales como las ciudades y debido esta capacidad de enlace o conexión constituyen un componente esencial en la red de espacios públicos ya que desempeñan funciones muy importantes (Instituto Municipal de Investigación y Planeación Ciudad Juárez, 2016), como la distribución y el establecimiento de servicios básicos (servicios para la educación, salud y recreación), también facilitan la movilidad de los habitantes permitiendo el tránsito vehicular, sobre todo del transporte colectivo (Guevara, 2007).

Para efectos de este trabajo nos referimos a un corredor urbano como aquel espacio en el que se establecen asentamientos humanos, complejos industriales, restaurantes, escuelas, parques o cualquier otra infraestructura urbana en torno a una calle, avenida, carretera o autopista de forma que se pueda constituir una conexión entre dos o más núcleos urbanos diferentes (Benavides-Benavides et al., 2021). En este sentido, definimos el corredor urbano Paraíso-Comalcalco como aquella zona urbana que conecta las cabeceras municipales tanto de Paraíso como de Comalcalco a través de una serie de asentamientos humanos, complejos industriales, tiendas comerciales, carreteras, etc. que se localizan a lo largo y ancho de la zona.

2.8. La modelación del cambio de uso del suelo

Estudiar la dinámica espacio-temporal de uso, cambio de uso y cobertura de suelo, ayuda a comprender los procesos de urbanización y extensión de la frontera agropecuaria en zonas tropicales para alertar a los planificadores sobre las decisiones futuras que deben tomar en los diferentes escenarios posibles (Pineda y Principí, 2019; Leija et al., 2021). Debido a esto, el módulo *Land Change Modeler for Ecological Sustainability* incorporado al Sistema de Información Geográfica IDRISI TerrSet®, es un completo auxiliar en la planificación del uso del suelo (Eastman y Toledano, 2018), debido a que simplifica las complejidades del cambio de cobertura del suelo, y emplea el cambio histórico y reciente para modelar empíricamente la relación entre las transiciones de la cubierta terrestre creando escenarios para la toma de decisiones en las políticas públicas (Eastman, 2012).

III. JUSTIFICACIÓN

3.1. Impacto del crecimiento urbano en el uso del suelo

De acuerdo con el informe “*World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities*” publicado por la ONU-Hábitat el mundo ha experimentado un rápido crecimiento urbano en las últimas décadas a consecuencia del acelerado crecimiento demográfico mundial el cual se duplicó el 25% a partir de 1950 hasta llegar al 50% en 2020 y se estima que aumente gradualmente al 58% en los próximos 50 años. Según Da Cunha y Vignoli (2009) América Latina y el Caribe no son ajenos a este fenómeno ya que son las regiones más urbanizadas del mundo en desarrollo y aunque presentan un alto nivel de población urbana esta se encuentra con un desarrollo socioeconómico muy marginado.

En México se estima que la población se incrementará a 18 millones de habitantes más para el 2050, de tal manera que para ese mismo año el 81% de la población nacional será urbana y el resto rural, este incremento poblacional en los núcleos urbanos no solo será consecuencia del crecimiento de la población local sino que gran parte se deberá a cambios en las corrientes migratorias, particularmente de grupos con menores recursos económicos, los cuales son sensibles a migrar hacia las ciudades, donde pueden mejorar sus ingresos, tal como ocurre actualmente (Bazant, 2010).

Como se mencionó antes, en los próximos años el crecimiento demográfico irá en aumento y con este la urbanización, por consiguiente, los problemas que el cambio de uso del suelo está provocando se atenuarán aún más en los próximos años por el incremento de los asentamientos humanos e industriales, como la desertificación, erosión y salinización del suelo, al igual que la disminución de la capacidad de infiltración de agua para la recarga de acuíferos, la pérdida de la biodiversidad y la deforestación de ecosistemas como las selvas tropicales (Galicia et al., 2007). De acuerdo con Geist y Lambin (2002) la deforestación de estas coberturas boscosas contribuye con el 35% de las emisiones de carbono a la atmósfera y representa un grave inconveniente debido a que este ecosistema funciona como un gran sumidero de CO₂. Aunque también es importante destacar en este punto que la segunda actividad antrópica que más

contribuye a la emisión de CO₂ a nivel mundial es el cambio de uso del suelo (Olguín et al., 2007).

3.2. Impacto socioeconómico y ambiental de las refinerías de petróleo

En el mundo existen alrededor de 681 refinerías de petróleo y en estas se llevan a cabo diversos procesos de tratamiento que tienen como finalidad separar, purificar y transformar el petróleo crudo en diversos productos comerciales como gasolina, diésel, turbosina, lubricantes, solventes, etc. (Vargas, 2019). Para el caso de México, la industria de la refinación ha suministrado los combustibles e insumos necesarios para el desarrollo del país (Romo, 2016), por tales motivos, México cuenta con siete refinerías en funcionamiento y una en fase de construcción ubicada en Paraíso, Tabasco, como se mencionó anteriormente (Castañeda y Martínez, 2019).

Según Flegl y Sánchez (2021) la industria de la refinación juega un papel muy importante para una economía pues la mayor parte de las actividades económicas dependen de ella, como la construcción, el transporte, la generación de energía eléctrica y la elaboración de un cuantioso número de productos vitales para el bienestar humano.

Conforme a lo expuesto, las refinerías de petróleo son grandes proyectos que representan una gran fuente de ingresos, que promueven el desarrollo económico, el bienestar social de un región y su urbanización, aunque por otra parte, también es sobresaliente mencionar los efectos negativos que la industria petrolera puede llegar a causar, en este caso las refinerías de petróleo, de acuerdo con Galván y colaboradores (2007) los macroprocesos que llevan a cabo las industrias petroleras, entre ellos el de refinación, son responsables de graves problemáticas ambientales como la deforestación, los cambios del paisaje, el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano y óxidos de nitrógeno) y compuestos volátiles, la contaminación del suelo y agua por derrames de petróleo o sus derivados.

3.3. Impacto socioeconómico y ambiental de la industria petrolera en Tabasco

Ahora bien, en el estado de Tabasco, concretamente en el municipio de Paraíso, la intervención de la industria petrolera ha ocasionado el deterioro de grandes extensiones de paisajes naturales, como la deforestación de los ecosistemas de manglar (Hernández et al., 2016a), lo cual revela una problemática muy grave ya que estos ecosistemas presentan funciones muy significativas como controladores de la erosión, reguladores climáticos e hidrológicos, remediadores de contaminantes y además sirven de hábitat para el desarrollo de muchas especies acuáticas (Velázquez-Salazar et al., 2021), por si no fuera suficiente la industria petrolera también ha generado drásticos cambios en la economía tradicional de la zona a la cual la población estaba habituada, como el encarecimiento de algunos bienes y servicios, como productos alimenticios, vivienda y educación (Zamudio y Rosas, 2018).

3.4. El uso de los SIG en el modelamiento de los procesos de cambio

Por todo lo anterior, es necesario realizar trabajos de investigación sobre el cambio de uso del suelo empleando los Sistemas de Información Geográfica (SIG) los cuales nos facilitan los procesos de análisis espacial en una zona, como identificar las transiciones de una cobertura a otra o determinar las pérdidas y ganancias que esta presenta, al igual que precisar los mecanismos que propician los cambios de uso del suelo y evaluar políticas en materia de ordenamiento territorial (Pineda, 2010). Por las razones presentadas con anterioridad, en las últimas décadas se han publicado diversos trabajos que han servido de ayuda para la elaboración de instrumentos políticos como leyes de ordenamiento ecológico territorial, planes de desarrollo urbano y atlas de riesgos a partir de las investigaciones desarrolladas con ayuda de estos programas (Bocco et al., 2005; Ruíz et al., 2015).

3.5. Importancia del estudio en el corredor urbano de Paraíso-Comalcalco

La refinería Olmeca, a pesar de ser un proyecto muy ambicioso que busca contribuir a la economía del país y que ha generado cientos de empleos durante su fase de construcción, ha sido objeto de diversas opiniones y controversias. En el inicio de su construcción, sin contar con un manifiesto de impacto ambiental, se deforestaron importantes coberturas forestales, incluidos

manglares, hábitat crucial para numerosas especies en peligro de extinción y de valor económico. Es fundamental destacar que el sitio albergaba un considerable número de aves, reptiles, anfibios y mamíferos. Por otra parte, diversas fuentes, incluyendo el Instituto Mexicano del Petróleo, han señalado que el lugar elegido para el establecimiento de la refinería es un sitio propenso a la inundación y a la erosión costera. De igual manera, una vez que la refinería entre en operación se anticipan considerables emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero y compuestos volátiles, así como derrames de petróleo crudo u otros compuestos en los cuerpos de agua y suelos.

A pesar de estos riesgos, se espera que el proyecto impulse el desarrollo económico de la región, lo que podría resultar en un aumento del crecimiento urbano debido a las nuevas oportunidades laborales que la apertura de la refinería ofrecerá. Sin embargo, esta urbanización podría tener graves repercusiones en el funcionamiento de los ecosistemas de la zona, en caso de darse de forma acelerada e informal. Por esta razón, el presente estudio busca abordar estas preocupaciones a través de un análisis de cambio de uso del suelo en el corredor urbano de Paraíso-Comalcalco, con la finalidad de exponer los impactos ya ocasionados en las coberturas naturales por la construcción de la refinería y así prevenir que proyectos de esta índole sean llevados a cabo de esta manera en áreas de importancia ecológica. Además, se busca generar información valiosa que sirva de apoyo en la toma de decisiones tanto a las instituciones gubernamentales como a los planificadores encargados de elaborar los planes de desarrollo urbano. De esta manera, se podrán proponer medidas de mitigación adecuadas frente al posible impacto que el crecimiento urbano podría provocar en estos municipios.

IV. ANTECEDENTES

En la presente sección hacemos una recopilación en orden cronológico de los diferentes estudios que se han llevado a cabo sobre el cambio de uso y cobertura del suelo, así como los diferentes fenómenos generadores de estos cambios y sus impactos ocasionados en diversos ecosistemas de la República Mexicana y el estado de Tabasco.

Fuentes (1977) expone detalladamente un análisis sobre el plan Chontalpa, un magno proyecto ubicado en la región Chontalpa que abarcó una extensión de 300 000 hectáreas, de acuerdo con el estudio el proyecto tenía la finalidad de promover un desarrollo integral dentro de la región que disminuiría la pobreza y suministraría de productos agrícolas a todo el país, fue por esta misma razón que se llevaron a cabo una serie de obras básicas, de rehabilitación agrícola y de mejoramiento social como drenes para controlar las frecuentes inundaciones en esta zona, caminos para intercomunicar la región y 22 centros de población los cuales incluían servicios públicos básicos como agua potable, alcantarillado, electrificación, escuelas y centros de salud, aunado a lo anterior se destinó un importante número de hectáreas a la ganadería extensiva y a los cultivos de maíz, arroz, cacao, caña, plátano, pimienta, entre otros, que en conjunto coadyuvaban a la destrucción de miles de hectáreas de selva tropical, modificando irreversiblemente el equilibrio ecológico de esa zona.

Salazar y colaboradores (2004) realizaron una evaluación espacio-temporal de la vegetación de la Sierra Madrigal ubicada en la parte Sur del estado de Tabasco e identificaron una pérdida de 2 042.7 ha de vegetación natural entre los años 1973 a 2003 ocasionada principalmente por actividades antrópicas, como la agricultura y la ganadería extensiva, al igual que por los asentamientos humanos crecientes.

Guerra y Ochoa también realizaron un estudio en el 2006 sobre el cambio de uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla y encontraron que las selvas de púcté y de tinto perdieron gran parte de su superficie entre 1990 al 2000 como consecuencia de la exacerbada

extracción de madera, mientras que las áreas de pastizales aumentaron su cobertura en ese mismo periodo, pasando de 5 007 a 58 266 hectáreas.

Con la finalidad de comprender y valorar los impactos económicos, sociales y ambientales generados por las actividades petroleras en el municipio de Cárdenas, Tabasco, Pinkus y Pacheco (2012) emprendieron una investigación donde indican que el paisaje natural de este municipio constituido por vegetación hidrófita, selva mediana y alta perennifolia fueron alterados a consecuencia de diferentes actividades y accidentes que llevó a cabo Petróleos Mexicanos o PEMEX como perforaciones de yacimientos de petróleo, construcciones de zanjas para la instalación de oleoductos y derrames de petróleo, por citar algunos.

De la Mora (2012) realizó un estudio en el cual expone detalladamente los impactos ambientales y socioeconómicos que experimentó el municipio de Tula de Allende al instalarse la refinería Miguel Hidalgo en 1970, de acuerdo al estudio los impactos más sobresalientes en esta región fueron la discriminación entre locales y foráneos por las diferencias culturales, el aumento de la violencia y la desconfianza, la disminución de las actividades primarias, el incremento de contaminantes atmosféricos, el crecimiento acelerado de la mancha urbana y la pérdida de coberturas de uso agrícola.

Ramos-Reyes y colaboradores (2016) mencionan que en el municipio de Comalcalco se identificaron seis usos de suelo en el año 2010: agrícolas, pastizales, vegetación hidrófila, cuerpos de agua, manglares y áreas urbanas, de los cuales fue este último quien presentó un crecimiento muy significativo en tan solo 10 años, el cual pasó de ocupar 808 ha a ocupar 1 518 ha como resultado del incremento demográfico de esta zona, mientras tanto para el área de manglares también se pudo apreciar un aumento muy importante en ese mismo año, el cual se debió a causas naturales.

De igual manera, Palomeque-De la Cruz y colaboradores (2017) realizaron un diagnóstico del crecimiento urbano de la ciudad de Villahermosa, Tabasco y encontraron que entre 1984 a 2008 la zona urbana aumentó 2 278 ha, mientras que los humedales y la vegetación arbórea perdieron 289 y 4 008 ha, respectivamente. Por otra parte, también estimaron que la superficie que ocupará

el uso urbano en el 2030 será de 6 137 ha, es decir tendrá un incremento de 2 480 ha, entretanto la vegetación arbórea y los humedales tendrán una pérdida de 1 917 y 451 ha, respectivamente.

En el año 2019 la SEMARNAT publicó un informe donde señalaba que en el 2014 las coberturas de vegetación natural representaban el 71.4% del territorio nacional, mientras que la superficie restante pertenecía a cultivos, pastizales inducidos, áreas urbanas y otros usos del suelo antrópicos, siendo Baja California Sur, Durango, Coahuila, Baja California, Quintana Roo y Chihuahua los estados con la mayor proporción de su superficie con vegetación natural, en contraste con los estados de Veracruz, Tabasco, Tlaxcala, Morelos y Ciudad de México donde la vegetación natural cubría menos del 40% de su superficie. De igual manera en este informe se menciona que Tlaxcala, Veracruz y Tabasco son los estados que han transformado una superficie mayor de sus ecosistemas para utilizarlos en actividades agropecuarias.

Otro estudio efectuado en el 2019 en la costa de Tabasco “Cuauhtemotzin-El Pailebot” demostró que entre los años 2000 a 2018 el área urbana fue el uso de suelo con mayor tasa de crecimiento (5.4%), siendo el uso agropecuario quien más superficie contribuyó para su expansión, sin embargo, a pesar de las pérdidas el uso agropecuario siguió posicionándose como el uso antropogénico dominante de la costa (Ramos et al., 2019a).

Ramírez-García y colaboradores (2022) publicaron un artículo donde mencionan cuales fueron las causas que ocasionaron la degradación de la selva alta perennifolia, la selva mediana subperennifolia y subcaducifolia y la selva baja inundable en la Región de los Ríos, Tabasco, entre los años 1947 a 2019, las cuales fueron el aumento significativo de las actividades antrópicas como la agricultura y la ganadería extensiva, esto a su vez como resultado de diversos programas mal planificados como el plan Balancán-Tenosique, el programa federal Alianza para el Campo y el Programa Especial de Desarrollo Forestal que buscaban impulsar las actividades agropecuarias a costa de la destrucción de los ecosistemas selváticos que representaban el 61.5% de la superficie en esta región en el año 1947 y que pasaron a ocupar tan solo el 10% en 2019 a causa de las actividades anteriormente señaladas y en menor medida al crecimiento urbano.

V. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

5.1. Definición del problema

En el municipio de Paraíso, Tabasco, específicamente en Dos Bocas, se está llevando a cabo la construcción de la Refinería Olmeca, un megaproyecto impulsado por el gobierno federal que de acuerdo con diversos autores impactará de manera positiva en la economía local (Del Río, 2019; Ávila y Cedeño, 2021). Destacan el establecimiento de nuevas empresas, la creación de nuevos empleos, la construcción de fraccionamientos, el aumento de la demanda de servicios educativos y recreativos, el mejoramiento de la infraestructura de salud y servicios públicos básicos (Moscoso-Baeza y Escobar-Fernández, 2022).

Sin embargo, aunado al impacto positivo que desencadenará la refinería en la economía regional, se menciona que también provocará diversos efectos adversos en el ambiente costero de Tabasco y en gran parte de la subregión Chontalpa, como la deforestación de los ecosistemas de manglar y la degradación de los humedales (Héctor; 2022), esto sin contar los impactos ya ocasionados durante su construcción como la fragmentación y degradación del hábitat natural de diversas especies como el oso hormiguero, mono aullador, zorrillo platanero, puercoespín, nutria, perico, cangrejo azul, entre otras especies (Instituto Mexicano del Petróleo, 2019; Nelly, 2022).

5.2. Preguntas de investigación

- ¿Cuáles son los efectos provocados por la refinería Olmeca en la dinámica espacial de los usos y coberturas del suelo en los municipios de Paraíso y Comalcalco?
- ¿Cuál es el impacto que tendrá el crecimiento urbano e industrial originado por el establecimiento de la refinería sobre las coberturas naturales colindantes al corredor Paraíso-Comalcalco?

VI. OBJETIVOS

6.1. Objetivo general

Realizar un análisis de cambio de uso y cobertura de suelo durante tres periodos de tiempo (2017, 2019 y 2023) en el área de influencia del corredor urbano “Paraíso-Comalcalco” con el objetivo de determinar el efecto provocado por el establecimiento de la refinería Olmeca en el crecimiento urbano y las coberturas naturales colindantes al corredor.

6.2. Objetivos específicos

- Identificar los efectos provocados por la refinería Olmeca mediante la creación de una base de datos geográficos, elaborada a través de técnicas de fotointerpretación y digitalización de vectores (Shapefile).
- Modelar el cambio de uso del suelo mediante el módulo *Land Change Modeler for Ecological Sustainability* de IDRISI TerrSet® en los periodos 2017-2019 y 2019-2023.
- Generar cartografía de la dinámica espacio-temporal para establecer propuestas de planeación urbana ambiental.

VII. METODOLOGÍA GENERAL

7.1. Área de estudio

Los municipios de Paraíso y Comalcalco se encuentran ubicados en la subregión Chontalpa del estado de Tabasco, México. Para el caso del municipio de Paraíso, este se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas 18° 24' y 2.05" de latitud Norte, y los 93° 12' y 45.73" longitud Oeste, abarca una superficie de 407.6 km², es decir, representa el 1.6% del territorio tabasqueño y posee una población de 96 741 habitantes. En cuanto al municipio de Comalcalco, este otro se localiza geográficamente en los 18° 15' y 39.74" latitud Norte, y los 93° 13' y 18.14" longitud Oeste, ocupa una superficie de 768.2 km², representando de esta manera el 3.1% del estado y cuenta con una población de 214 877 habitantes (INEGI, 2020).

Sus principales actividades económicas son la agricultura, la ganadería, la pesca, el comercio, el turismo y la actividad petrolera (Zamudio et al., 2016), ambos municipios presentan un tipo de clima cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, un rango de precipitación anual que oscila entre los 1 500 a 2 500 milímetros y una temperatura media anual de 28 °C; (INEGI, 2010a; INEGI, 2010b).

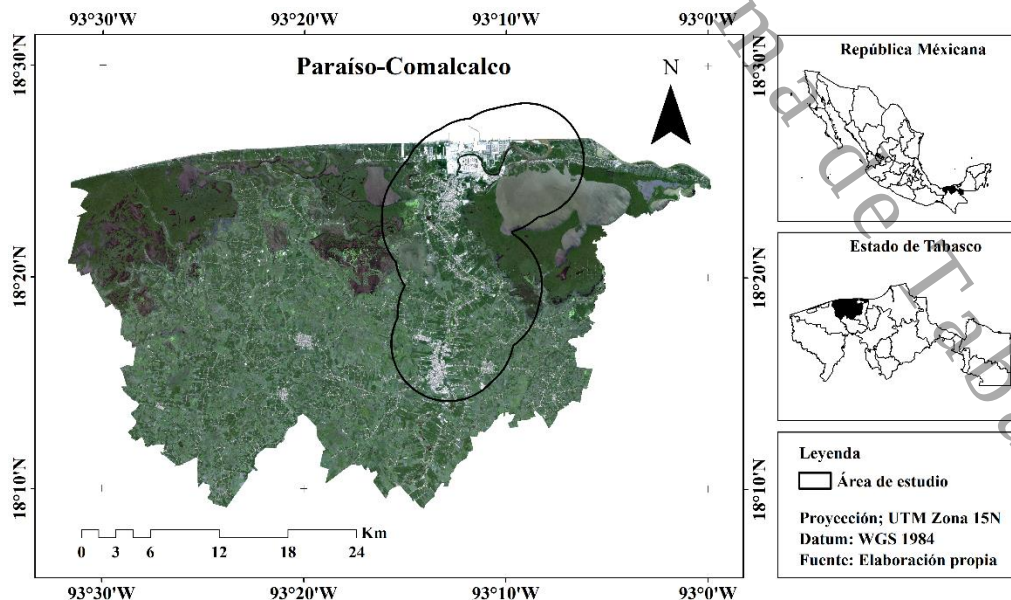


Figura 1. Localización del área de estudio

7.2. Obtención de la información geográfica

7.2.1. Descarga de imágenes

Como primer procedimiento para la obtención de la información geográfica se realizó la descarga de las escenas satelitales Sentinel-2 en la plataforma *Copernicus Open Access Hub* de la *European Space Agency*. Para nuestro estudio se adquirieron dos escenas del satélite Sentinel-2A de los años 2019 y 2023 con una resolución espacial de 10 metros. Por otra parte, también se descargó del portal USGS (*United States Geological Survey*) una escena satelital Landsat 8 del año 2017.

Tabla 1. Características de las imágenes satelitales

Satélite	Sensor	Fecha	Resolución espacial	Referencia espacial
Sentinel-2A	MSI	01/03/2023	10 x 10 m	WGS84 UTM Zona 15N
Sentinel-2A	MSI	20/02/2019	10 x 10 m	WGS84 UTM Zona 15N
Landsat 8	OLI	28/02/2017	15 x 15 m	WGS84 UTM Zona 15N

7.2.2. Digitalización de categorías de usos y coberturas

Luego de haber descargado las escenas satelitales Landsat 8 y Sentinel-2A de los años 2017, 2019 y 2023 se empleó el software ArcMap® versión 10.8 para llevar a cabo una combinación de bandas RGB para las tres escenas satelitales y subsecuentemente para realizar el recorte del área de estudio, el cual se extrajo de un *buffer* generado a partir de la carretera Paraíso-Comalcalco con una distancia de 5 kilómetros (Ramos-Reyes et al., 2016).

Después con ayuda del mismo programa anteriormente descrito, se llevó a cabo una digitalización en pantalla de las categorías de usos del suelo y coberturas naturales a partir de técnicas de fotointerpretación de cada una de las imágenes, previamente delimitadas con el área de estudio (Giraldo, 2013; Ramos-Reyes et al., 2021).

De acuerdo con Olaya (2011) la digitalización en pantalla o *heads-up* consiste en generar una capa vectorial a partir de una fuente de datos (imágenes aéreas o satelitales) mediante el uso de las funciones de edición de un SIG.

Como resultado de la digitalización se obtuvieron tres mapas temáticos de uso de suelo en formato vectorial, uno de 2017, otro de 2019 y por último uno de 2023, los cuales corresponden a las imágenes satelitales de 2017, 2019 y 2023, respectivamente, además, estos tres mapas presentan un sistema de coordenadas y proyección UTM, zona 15N, *Datum* WGS84 y fueron transformados a formato ráster y posteriormente a formato ASCII para lograr ser modelados mediante *Land Change Modeler for Ecological Sustainability* (Ramos et al., 2019b; Palomeque et al., 2021).

Finalmente, con apoyo de imágenes del software Google Earth Pro® versión 7.3.4 y otros materiales cartográficos se verificaron las coberturas digitalizadas (Cirilo, 2017; Valderrama-Landeros et al., 2017; Velázquez-Salazar et al., 2021; CONABIO, 2023). Las categorías temáticas digitalizadas son: 1) humedales; 2) manglares; 3) zona costera; 4) agropecuario; 5) área urbana; 6) refinería Olmeca; 7) sin vegetación; y 8) vegetación arbórea.

7.3. Análisis con el módulo *Land Change Modeler* de IDRISI

Land Change Modeler for Ecological Sustainability está integrado en el software IDRISI TerrSet®, y se emplea para obtener un análisis matemático de imágenes ráster 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, cambios netos y transiciones (Eastman, 2012).

Pontius y colaboradores (2004) señalan que en la matriz de tabulación cruzada (tabla 2) 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 para cada categoría entre el T1 y T2 (P_{jj}). Los valores fuera de la diagonal muestran las transiciones ocurridas entre el T1 y T2 para cada categoría. En la fila *Total T2* (fila 6) se indica el área total que ocupa cada categoría en el T2 ($P+n$). La columna *Total T1* (columna 6) representa el área total de cada categoría en el tiempo T1 ($P1+$). 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 $G_{ij} = P_{+n} - P_{jj}$;

Las pérdidas, expresadas como la diferencia de la suma total de la columna 6 y los valores de la diagonal principal, es decir $L_{ij} = P_{1+} - P_{jj}$;

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 $S_j = 2 \times \text{MIN}(G_{ij}, L_{ij})$.

Como se indicó antes, el programa IDRISI TerrSet® a través de la herramienta *Land Change Modeler for Ecological Sustainability* se ha encargado en los últimos años de facilitar estos procedimientos de los cuales se pueden obtener resultados numéricos y cartográficos esenciales para el análisis estadístico y espacial de los cambios en los usos y coberturas del suelo, por esta razón se ha convertido en una herramienta fundamental al momento de realizar un diagnóstico espacio-temporal (Eastman, 2012; Humacata, 2018).

Tabla 2. Matriz de tabulación cruzada para dos mapas de diferentes fechas (Pontius et al., 2004)

Tiempo 1	Tiempo 2					6	7
	1	2	3	4	5		
1	Tiempo 1	Clase 1	Clase 2	.....	Clase n	Total T1	Perdidas (Lij)
2	Clase 1	P11	P12	.....	P1n	P1+	P1+ - P11
3	Clase 2	P21	P22	.....	P2n	P2+	P2+ - P22
4	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
5	Clase n	Pn1	Pn2	.....	Pnn	Pn+	Pn+ - Pnn
6	Total T2	P+1	P+2	.....	P+n	P	P
7	Ganancias (Gij)	P+1 - P11	P+2 - P22	.....	P+n - Pnn		

7.4. Cálculo de las tasas de cambio

Otro indicador que identifica el tipo y magnitud de la presión sobre los recursos naturales es la tasa de cambio de uso del suelo, la 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-Prieto 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-Prieto et al., 2004).

$$d = \left[\left(\frac{S2}{S1} \right)^{\frac{1}{n-1}} \right] * 100$$

Dónde:

d, es la tasa de cambio anual de uso del suelo;

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 y

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

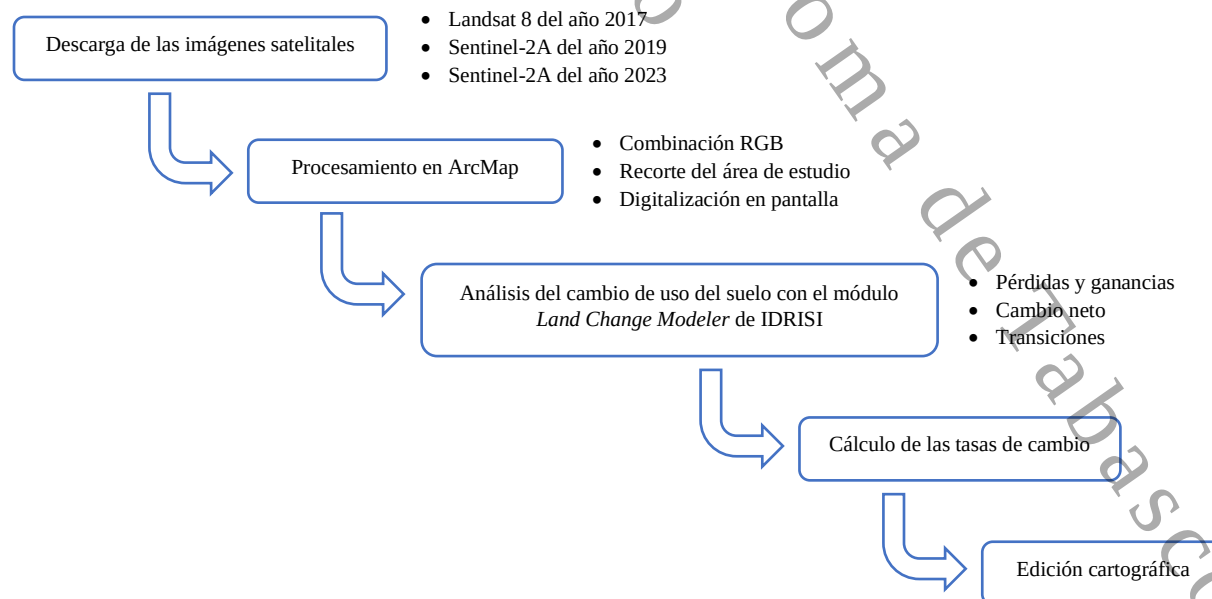


Figura 2. Diagrama de la metodología general

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Usos y coberturas del suelo 2017, 2019 y 2023

A partir de la digitalización de las categorías de usos del suelo y coberturas naturales con las imágenes satelitales de 2017, 2019 y 2023 de la zona de influencia de la Refinería Olmeca y del corredor urbano “Paraíso-Comalcalco” se crearon tres mapas temáticos (figura 3), cada uno con una superficie total de 27 719 ha. Por otra parte, con la herramienta *CrossTab* de IDRISI TerrSet® se generó un índice de Kappa, el cual nos permite visualizar el grado de correlación entre dos mapas temáticos de uso del suelo a través de una evaluación del error estadístico de la matriz de tabulación cruzada (Ramos-Reyes et al., 2021). El cruce de los mapas 2017-2019 generaron un estadístico Kappa igual a 0.98%, mientras que para el cruce de los mapas de 2019-2023 fue de 0.81%. Un índice cercano a 1 demuestra un análisis aceptable y confiable de la dinámica espacio-temporal del territorio (Ramos et al., 2019b). Los resultados incluyeron el resumen de las matrices de tabulación cruzada que muestra la superficie de cada categoría, en la comparación con otras, en términos de ganancias, pérdidas, cambios netos y transiciones.

Tabla 3. Superficies y dinámica espacio-temporal de los usos del suelo y coberturas naturales

Categorías	2017		2019		2017-2019			
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Perdidas (ha)	Ganancias (ha)	Cambio neto (ha)	Tc (%)
Humedales	5298.21	19.11	5315.77	19.18	-17	34	17	0.2
Manglares	4061.24	14.65	4060.21	14.65	-31	30	-1	0.0
Zona costera	85.91	0.31	85.33	0.31	-3	3	-1	-0.3
Agropecuario	8027.74	28.96	8107.98	29.25	-83	164	80	0.5
Área urbana	4585.71	16.54	4618.2	16.66	0	31	31	0.4
Refinería	0	0	0	0	0	0	0	0
Sin vegetación	214.22	0.77	301.82	1.09	-167	255	88	18.7
Vegetación arbórea	5446.94	19.65	5232.57	18.88	-214	0	-214	-2.0
Categorías	2019		2023		2019-2023			
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Perdidas (ha)	Ganancias (ha)	Cambio neto (ha)	Tc (%)
Humedales	5315.77	19.18	5187.11	18.71	-201	73	-129	-0.6
Manglares	4060.21	14.65	4087.23	14.74	-10	37	27	0.2
Zona costera	85.33	0.31	80.4	0.29	-11	7	-5	-1.5
Agropecuario	8107.98	29.25	8196.33	29.57	-821	910	88	0.3
Área urbana	4618.2	16.66	4955.33	17.88	-70	407	337	1.8
Refinería	0	0.00	497.6	1.79	0	498	498	0.0
Sin vegetación	301.82	1.09	67.97	0.25	-299	65	-234	-31.1
Vegetación arbórea	5232.57	18.88	4649.91	16.77	-933	350	-583	-2.9

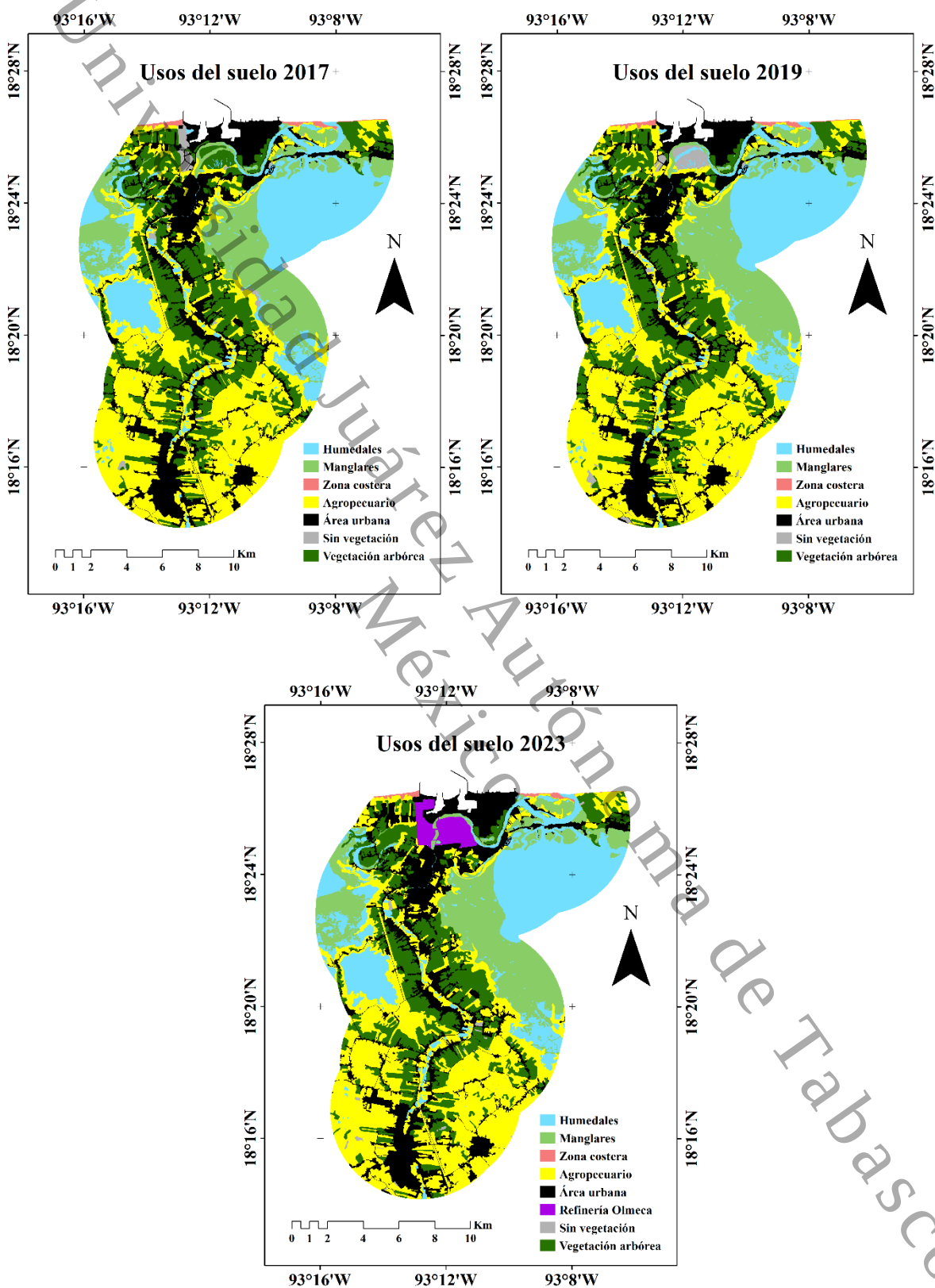


Figura 3. Mapas de usos del suelo del 2017, 2019 y 2023

8.2. Análisis de la dinámica espacio-temporal de los usos del suelo 2017, 2019 y 2023

8.2.1. Dinámica espacio-temporal de los humedales

En la tabla 3 se muestran las superficies y las dinámicas espacio-temporales de los usos del suelo y coberturas naturales. En el 2017 el territorio presentaba una superficie de 5 298.21 ha de humedales los cuales tuvieron un aumento poco significativo en el 2019 de tan solo 17.56 ha, sin embargo, entre los años 2019 y 2023, los humedales tuvieron una reducción muy importante y pasaron de 5 315.77 a 5 187.11 hectáreas, respectivamente. Estos resultados también coinciden con los reportados por Ramos-Reyes y colaboradores (2021), donde mencionan que en esta subregión (Chontalpa), específicamente en el sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona ubicado en las zonas costeras de los municipios de Huimanguillo y Comalcalco, los ecosistemas acuáticos han sido alterados por la expansión agropecuaria, el crecimiento urbano informal, la construcción de zonas industriales y carreteras para las actividades petroleras.

De acuerdo con lo anterior, es claro que existe un cambio notable en la extensión de los humedales en la región estudiada. El hecho de que haya un aumento poco significativo en la superficie de humedales entre 2017 y 2019 seguido de una reducción muy notable entre 2019 y 2023 sugiere una tendencia preocupante. Esta reducción de los humedales puede tener una serie de consecuencias negativas para el ambiente, la biodiversidad y las comunidades locales que dependen de estos ecosistemas para su sustento y bienestar.

Cabe resaltar que los humedales son ecosistemas muy importantes que proporcionan hábitats críticos para una gran variedad de especies de plantas y animales, así como servicios ecosistémicos vitales como la filtración de agua, la prevención de inundaciones y la mitigación del cambio climático. Por lo tanto, se deben de considerar estos beneficios al evaluar los efectos perjudiciales de la refinería Olmeca, con la finalidad de tomar medidas necesarias para mitigarlos.

8.2.2. Dinámica espacio-temporal de los manglares

Para el caso de las coberturas de manglar, entre los años 2017 y 2019 estos sistemas ecológicos tuvieron pérdidas de 31 ha, debido al desmonte de la zona para la construcción de la refinería Olmeca, de acuerdo con el Plan Municipal de Desarrollo de Paraíso 2021-2024 se deforestaron 300 ha de selva y manglar como parte de los trabajos de preparación del sitio para dicha construcción, a pesar de esto, los ecosistemas de manglar recuperaron en la zona Este de la región 30 ha de superficie posiblemente debido a los programas de reforestación propuestos por el IMP (Instituto Mexicano del Petróleo) en el Manifiesto de Impacto Ambiental de la refinería, al igual que por determinados trabajos de conservación y reforestación realizados por parte de grupos sociales campesinos, instituciones educativas y gubernamentales como PROARBOL y PRONÁFOR, razón por las cuales en el periodo 2019 y 2023 estas coberturas presentaron un cambio neto positivo de 27 hectáreas (figuras 4 y 5) (Torres, 2010; Hernández et al., 2016a; Diario Oficial de la Federación, 2020). También es importante mencionar que acuerdo con Hernández y colaboradores (2016b), el incremento de las superficies de manglar en algunas zonas costeras de la subregión Chontalpa se debe al aumento del nivel del mar.

Como resultado de diversas acciones de conservación, en el año 2019 se decretó el área natural protegida estatal “*Parque Estatal Laguna Mecoacán*” ubicado en Paraíso, Tabasco, el cual, según el Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Paraíso 2022, cuenta con una superficie aproximada de 18 774.7 ha (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, 2022), cubriendo de esta manera toda la superficie del sistema lagunar Mecoacán y los bosques de manglar constituidos por especies como Mangle colorado (*Rhizophora mangle*), Mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), Mangle negro (*Avicennia germinans*) y Mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*) las cuales se encuentran categorizadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 como especies amenazadas (Magaña, 2010; Domínguez-Domínguez, 2011).

A su vez esta ANP alberga 273 especies de flora, 32 especies de peces, 106 especies de aves y 25 especies de macrocrustáceos, por otro lado, es una importante zona que permite la pesquería de escama, camarón y producción ostrícola de la especie ostión de Virginia (*Crassostrea virginica*), por esto y gracias a las medidas de conservación realizadas a lo largo de las costas

del territorio tabasqueño, se han preservado y aumentado gradualmente los ecosistemas de manglar en los último años, es por ello que entre el 2017 y 2023 la única pérdida significativa de coberturas de manglar en el área de estudio se deba a la construcción de la refinería (figura 4 y figura 5) (Velázquez-Salazar et al., 2021; Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, 2022).

Si bien la construcción de la refinería Olmeca causó una pérdida considerable de manglares, los esfuerzos de reforestación y de conservación han demostrado ser efectivos para revertir en gran medida estos impactos negativos, que junto al decreto del “*Parque Estatal Laguna Mecoacán*” en 2019 han contribuido a la recuperación de manglares, provocando un apreciable cambio positivo en estas coberturas. Esto significa que si se implementan adecuadamente las medidas de mitigación y conservación se pueden contrarrestar los efectos negativos del crecimiento urbano informal y de las actividades industriales en estos ecosistemas. Sin embargo, es esencial seguir monitoreando de cerca la situación y continuar implementando medidas de protección ambiental para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los manglares en la región.

8.2.3. Dinámica espacio-temporal de la zona costera

Mientras tanto la zona costera presentó una disminución muy considerable entre los años 2017 y 2019, periodo en el cual perdió 5.51 ha como consecuencia de dos factores muy importantes, la elevación del nivel del mar y la expansión agroforestal de cultivos de coco (Magaña, 2010) (figuras 4 y 5), lo cual coincide con lo indicado por Gama y colaboradores (2023), donde mencionan que la zona costera tabasqueña ha sido drásticamente modificada debido a las fuertes presiones antropogénicas como los cambios de uso del suelo, ejemplo de ello son la alteración de las dunas costeras las cuales actúan como barreras naturales ante el incremento del nivel del mar y en cuyas superficies se ha construido infraestructura o ha sido sustituida para abastecer las actividades productivas, de modo que estos factores en conjunto a otros propician el incremento de las tasa de erosión del litoral tabasqueño reduciéndolo a un sitio vulnerable ante fenómenos del cambio climático, como lo es el aumento del nivel del mar (De los Santos et al., 2022). Núñez y colaboradores (2016) reportan que las zonas donde se encuentra el puerto de Dos Bocas, la parte norte de la laguna Mecoacán y la cabecera municipal de Paraíso, incluido

el sitio donde se construye actualmente la refinería Olmeca presentan un índice de vulnerabilidad costera que va de medio a muy alto, esto significa que son zonas incapaces de afrontar la variabilidad y eventos climáticos extremos.

La situación anteriormente descrita refleja una preocupante realidad ambiental en la zona costera tabasqueña. Por ello, la construcción de la refinería Olmeca en una zona identificada como altamente vulnerable subraya la necesidad de un enfoque más cuidadoso en la planificación y el desarrollo de infraestructuras industriales, considerando los riesgos asociados al cambio climático. Por otra parte, también es importante promover prácticas agrícolas sostenibles que no afecten a los ecosistemas costeros, como es el caso de los cultivos agroforestales de coco, de igual manera, se deben incluir medidas factibles para regular en estas zonas litorales la edificación de asentamientos urbanos e infraestructuras industriales.

8.2.4. Dinámica espacio-temporal de las actividades agropecuarias

También se encontró que las superficies de uso agropecuario mostraron un aumento considerable ya que presentaron un cambio neto de 80 ha para el primer periodo (2017-2019), mientras que para el segundo (2019-2023) se mantuvo esta tendencia con un cambio neto muy similar de 88 ha, sin embargo fue este último periodo quien exhibió una mayor dinámica espacial con pérdidas de 821 ha y ganancias de 910 ha (figura 4 y figura 5), este incremento se puede explicar cómo el resultado de los apoyos otorgados a los pobladores a través del programa Sembrando Vida y El Programa Crédito Ganadero a la Palabra, los cuales aún se encuentran vigentes y tienen como objetivo estimular las actividades agropecuarias en el país (Diario Oficial de la Federación, 2019; López, 2021), mientras que las pérdidas fueron ocasionadas en gran medida a la expansión del área urbana (Ramos et al., 2017; Ramos et al., 2019b).

Lo anterior sugiere que las políticas de apoyo al sector agropecuario pueden estar teniendo un impacto positivo en el aumento de las superficies dedicadas a estas actividades, sin embargo, también se destaca la necesidad de abordar a través de otros estudios el impacto de la expansión urbana en la pérdida de estas extensiones.

8.2.5. Dinámica espacio-temporal del área urbana

Ahora bien, la cobertura con mayor crecimiento en los años en los cuales se estuvo construyendo la refinería Olmeca (2019-2023) fue el área urbana, esta presentó una tasa de cambio de 1.8% y ganancias de 407 ha (figura 5), un aumento considerable que posiblemente se debió al establecimiento de la refinería Olmeca ya que según indica Moscoso-Baeza y Escobar-Fernández (2022), esta megaobra ha impactado positivamente en la economía local con el establecimiento de nuevas empresas, la creación de empleos y la construcción de nuevas unidades habitacionales, lo que ha provocado migraciones muy importantes a la región, principalmente a las zonas más urbanizadas, esto con el objetivo de encontrar nuevas oportunidades laborales y mejorar sus condiciones económicas (Ibarra, 2012; Romero-Padilla y Hernández-Juárez, 2023).

En general, se observa un importante crecimiento urbano en el corredor Paraíso-Comalcalco, particularmente en el periodo de construcción de la refinería, el cual desplazó coberturas de vegetación arbórea y usos de suelo agropecuario, de acuerdo con Romero-Padilla y Hernández-Juárez (2023), este fenómeno de crecimiento urbano se presenta de forma rápida, debido en gran parte a que no se contempla una planeación ni un desarrollo urbano sostenible, el cual según Soto-Cortés (2015), se basa en progresar socioeconómicamente en armonía con la preservación de los recursos naturales.

Este aumento en el área urbana es crucial y puede estar relacionado con el establecimiento de la refinería, ya que, como se mencionó anteriormente este tipo de proyectos industriales atraen inversiones y generan oportunidades de empleo, no obstante, el crecimiento urbano descontrolado que se genere a partir de esto puede traer consigo una serie de problemáticas. La rápida expansión urbana podría ocasionar mayores pérdidas de las coberturas agropecuarias y áreas naturales, así como una excesiva demanda de servicios básicos como el agua, energía y transporte. Por tales motivos, es importante abordar el crecimiento urbano de manera planificada y si fuese posible involucrar a la comunidad local en este proceso de planificación y desarrollo, con el propósito de garantizar sus necesidades y preocupaciones.

8.2.6. Dinámica espacio-temporal de la Refinería Olmeca

Por otra parte, el megaproyecto de la refinería Olmeca ocupó 497 hectáreas para su construcción ocasionando el deterioro de una importante zona que albergaba un cuantioso número de flora y fauna, de acuerdo con el Manifiesto de Impacto Ambiental de la refinería se identificaron en el sitio 27 ejemplares en peligro de extinción como el oso hormiguero, mono aullador, zorrillo platanero, puercoespín, nutria, perico e iguana negra, por mencionar algunas especies, aunado a lo anterior, esta magna obra del gobierno federal también ha provocado dentro del corredor urbano otros problemas adicionales, como migraciones hacia asentamientos irregulares, daño a la infraestructura urbana por la intensa circulación de equipos y maquinaria pesada (Ayuntamiento Constitucional de Paraíso, 2022), así como una mayor demanda de transporte público para movilizar a la población y los trabajadores de la refinería (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, 2022).

Estos problemas sociales y ambientales son similares a los expuestos por De la Mora (2012) donde señala que la construcción de la refinería de Tula, Hidalgo desencadenó alteraciones drásticas en la dinámica espacial de los usos del suelo, provocando la disminución de coberturas de suelo dedicadas a la agricultura por el aumento de la mancha urbana.

En definitiva, es primordial que los resultados aquí expuestos acerca del impacto negativo que la refinería tuvo en los ecosistemas donde se construyó puedan ayudar a llevar a cabo otros megaproyectos con un enfoque distinto, donde se prioricen los recursos naturales y se garantice el desarrollo sustentable de la región. Así pues, este impacto ambiental irreversible debe ser tomado en cuenta en futuras decisiones de planificación territorial para evitar casos similares, donde se destruyan de manera definitiva fragmentos de importantes ecosistemas.

8.2.7. Dinámica espacio-temporal de la vegetación arbórea

Por último, la vegetación arbórea fue la cobertura que más pérdidas sufrió en ambos periodos de estudio, entre el 2017-2019 se perdieron 214 ha, sin embargo, fue entre el 2019-2023 donde las pérdidas incrementaron a 933 ha (figuras 4 y 5), esto como consecuencia del establecimiento

de la refinería Olmeca como se muestra en la figura 3, donde se deforestó una cantidad muy importante de vegetación arbórea en el año 2019 para la posterior construcción de este megaproyecto, así mismo, el crecimiento urbano también ha influido de manera muy negativa en la pérdida de esta cobertura, ya que se encuentra colindante a la zona urbana, la cual ha incrementado y desplazado gradualmente estas superficies de vegetación arbórea (figura 3) (Ramos et al., 2017; Palomeque et al., 2021).

La deforestación de la vegetación arbórea puede representar un grave inconveniente, debido a que estas coberturas juegan un papel muy importante en la captura de CO₂, además representan el hábitat de muchas especies silvestres, por tanto, su pérdida podría tener efectos adversos tanto en la biodiversidad local como en el cambio climático, por este motivo, es imprescindible que se tomen mayores medidas de reforestación y de igual modo, es fundamental que se lleven a cabo campañas de concientización sobre los impactos negativos de la deforestación y el crecimiento urbano informal con el objetivo de fomentar comportamientos más respetuosos hacia estos ecosistemas arbóreos.

8.3. Transiciones 2017-2019 y 2019-2023

La dinámica espacio-temporal del corredor urbano Paraíso-Comalcalco también se estimó con la detección cartográfica y cuantitativa de las transiciones 2017-2019. En esta se observa que las transiciones más sobresalientes fueron la transformación de 172 hectáreas de vegetación arbórea a sin vegetación, lo cual indica que se deforestó una superficie muy importante de esta cobertura, principalmente para la preparación del sitio donde se construirá la refinería Olmeca, asimismo se detectaron que 30 hectáreas de superficie sin vegetación fueron sustituidas por los ecosistemas de manglares (figura 7).

Las transiciones 2019-2023 mostraron un significativo desplazamiento de 687 ha de vegetación arbórea y 137 ha de humedales a uso agropecuario, de igual manera se remplazaron 195 ha de vegetación arbórea y 191 ha de uso agropecuaria por el área urbana, finalmente se sustituyeron para el levantamiento de la refinería Olmeca 146 ha de uso agropecuario, 63 ha de área urbana y 213 ha de superficie sin vegetación (figura 8).

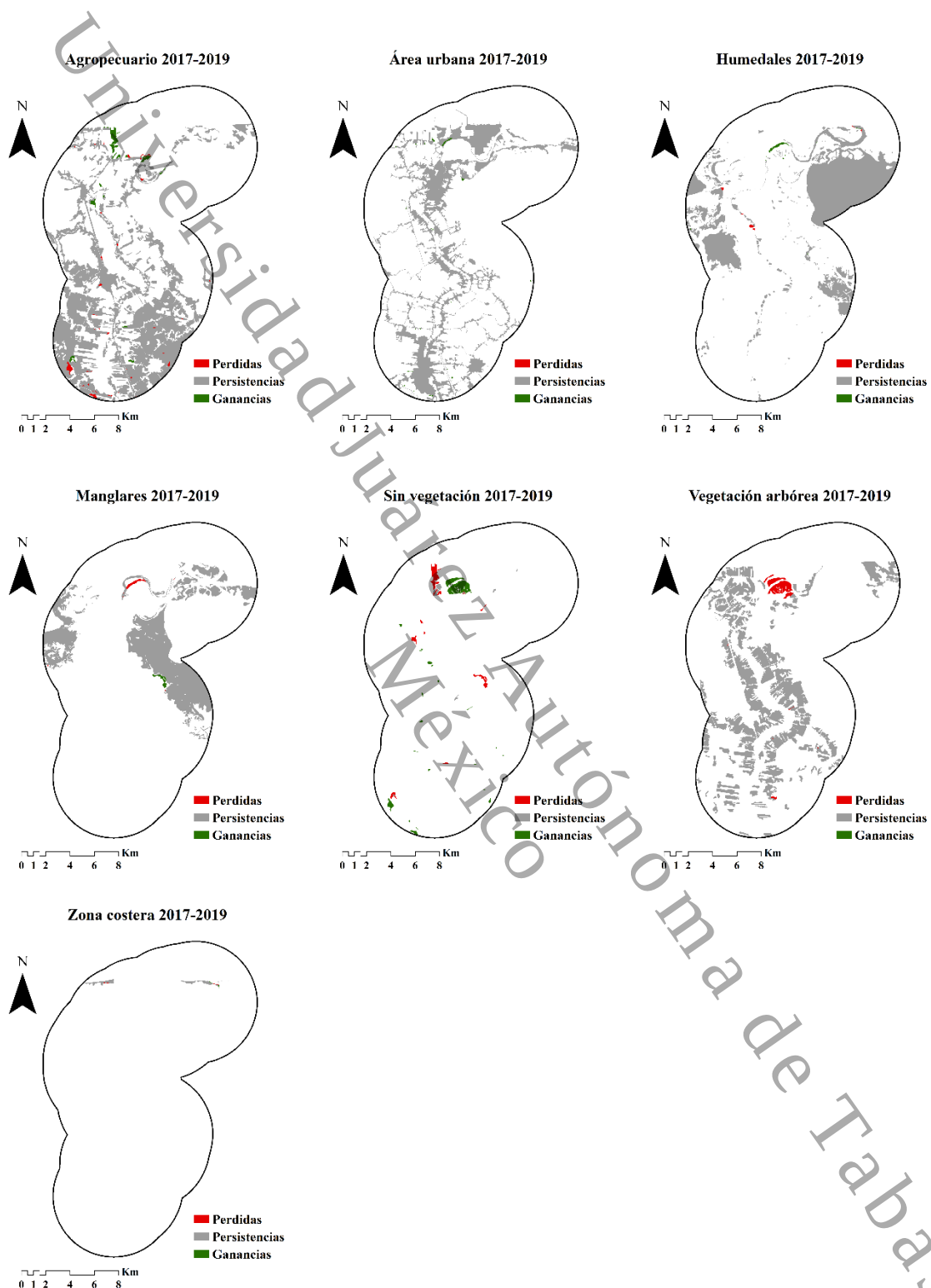


Figura 4. Mapas de pérdidas y ganancias 2017-2019



Figura 5. Mapas de pérdidas y ganancias 2019-2023

8.4. Alternativas para la planificación ambiental del corredor

Por las razones expuestas en los subtemas anteriores es necesario implementar nuevos programas de desarrollo rural y darle seguimiento a los planes de ordenamiento territorial en esta zona con la finalidad de reducir los índices de pobreza que imperan y evitar los futuros asentamientos informales cerca de la costa y de los sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad, así como también desarrollar nuevos programas agropecuarios sustentables que no solo tengan beneficios económicos a costa de la degradación y fragmentación de las coberturas naturales sino también ambientales y turísticos, finalmente es imprescindible el decreto de nuevas áreas naturales protegidas en los municipios de Paraíso y Comalcalco con el objetivo de conservar y evitar la deforestación de los ecosistemas de manglar a corto y largo plazo (Palomeque-De la Cruz et al., 2017; Ramos y Palomeque, 2023).

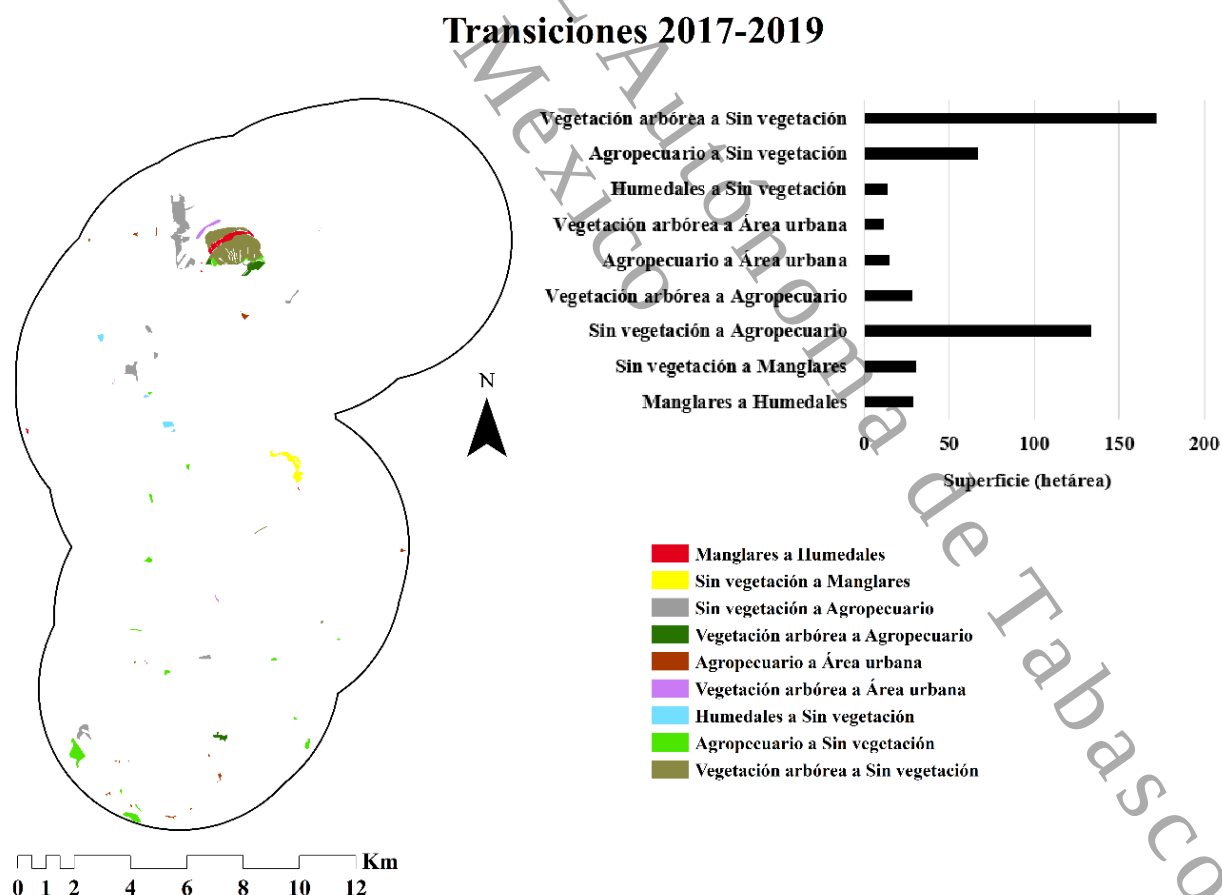


Figura 6. Mapa de transiciones 2017-2019

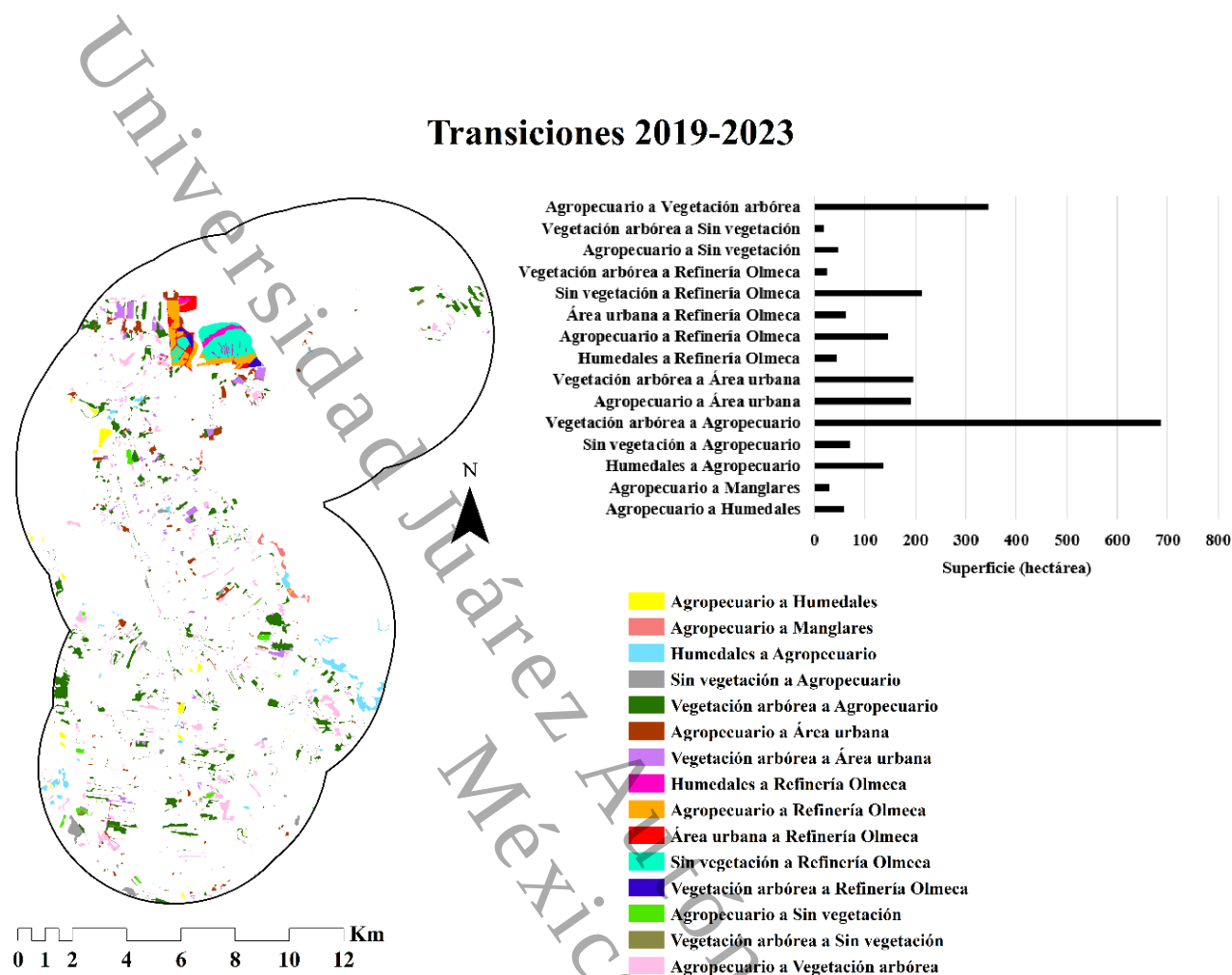


Figura 7. Mapa de transiciones 2019-2023

IX. CONCLUSIONES

En Paraíso, Tabasco se llevó a cabo la construcción de la Refinería Olmeca con el objetivo de contribuir en el camino de la autosuficiencia energética, por lo que se prevé un impacto positivo en la economía local con el establecimiento de nuevas empresas, la creación de nuevos empleos, la construcción de fraccionamientos, el aumento de la demanda de servicios educativos y recreativos, así como el mejoramiento de la infraestructura de salud y servicios públicos básicos, sin embargo, diversos estudios señalan que la construcción de la refinería Olmeca también ha provocado diversos efectos negativos en el territorio durante su construcción, como la deforestación de ecosistemas de manglar y la degradación de otros humedales. Por otra parte, también se pronostica que su impacto en la economía genere cambios drásticos en el crecimiento urbano y subsecuentemente pérdidas significativas de los recursos naturales en la región.

Para comprobar esta hipótesis a nivel territorial, se realizó un análisis de cambio de uso y cobertura de suelo durante tres periodos de tiempo (2017, 2019 y 2023) en el área de influencia del corredor urbano “Paraíso-Comalcalco”, el cual se llevó a cabo empleando el módulo *Land Change Modeler (LCM)* de IDRISI TerrSet®, con el objetivo de determinar el efecto ocasionado por el establecimiento de la refinería Olmeca en el crecimiento urbano y las coberturas naturales colindantes, esta información es relevante para ser de utilidad en las tareas de investigación y planeación del aprovechamiento y conservación de los recursos naturales y para regular el cambio de uso del suelo en zonas costeras por actividades industriales, crecimiento urbano y actividades agropecuarias que afectan al suelo, los ecosistemas y la calidad de vida de los habitantes.

Los resultados señalan que la construcción de la refinería Olmeca tuvo diversos efectos perjudiciales en las coberturas naturales de la zona donde se construyó. Debido a que se tuvieron pérdidas significativas de coberturas de manglar, humedales y vegetación arbórea, lo cual representa una grave inconveniente debido a la importancia ecológica y económica que tienen estas superficies. Tal como se indicó antes, algunos autores mencionan que la construcción de

este proyecto destruyó el hábitat de diversas especies en riesgo, que de acuerdo con la normatividad vigente se encontraban sujetas a alguna categoría de riesgo.

No obstante, a pesar de las pérdidas registradas de las superficies de manglar ocasionadas por la refinería Olmeca, se pudieron recuperar importantes hectáreas de manglar, esto como consecuencia de las actividades de reforestación y conservación llevadas a cabo por diversas instituciones, así como también debido a la creación de una nueva ANP estatal en el municipio de Paraíso que pretende proteger el hábitat de diversas especies de aves, mamíferos, reptiles y anfibios, a través de la preservación de los manglares.

Sin embargo, para el caso de los humedales y de la vegetación arbórea fue distinto, aun cuando tuvieron pérdidas notables originadas por la refinería, siguieron presentando esta tendencia en los siguientes años debido al crecimiento de los pastizales y del corredor urbano. Ahora bien, el mismo caso exhibió la zona costera con una disminución muy considerable a consecuencia del aumento del nivel del mar, la construcción de infraestructura industrial y la expansión de cultivos agroforestales de coco.

Estos resultados, por lo tanto, sugieren llevar a cabo proyectos con un enfoque distinto, donde se prioricen los recursos naturales y se garantice el desarrollo sustentable de la región, mientras que este impacto ambiental irreversible debe ser tomado en cuenta en futuras decisiones de planificación territorial, debido a que los ecosistemas afectados en esta zona proveían diversos servicios ambientales, de los cuales se beneficiaban una cantidad considerable de habitantes.

Mientras tanto, el impacto que tuvo el crecimiento urbano e industrial originado por el establecimiento de la refinería, sobre las coberturas naturales colindantes al corredor Paraíso-Comalcalco, es preocupante, debido a que el área urbana fue la superficie que más creció desde que inició la construcción de la refinería, desplazando significativamente coberturas agropecuarias y vegetación arbórea. Por estos motivos, resulta importante abordar el crecimiento urbano de manera planificada y si fuese posible involucrar a la comunidad en este proceso de planificación y desarrollo, con el propósito de garantizar sus necesidades y preocupaciones.

X. REFERENCIAS

- Ávila, L., & Cedeño, M. (2021). El desarrollo regional en el marco de los megaproyectos en el sureste de México. En M. A. C. Venegas, D. Amparo, & C. A. Ken (Eds.), Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional.
- Ayuntamiento Constitucional de Paraíso. (27 de abril de 2022). Plan Municipal de Desarrollo de Paraíso, Tabasco 2021-2024. *Periódico Oficial del Estado de Tabasco*.
- Balvanera, P., & Cotler, H. (2011). Los servicios ecosistémicos. *Biodiversitas*, 94 (2), 7-11.
- Bazant, J. (2010). Expansión urbana incontrolada y paradigmas de la planeación urbana. *Espacio abierto*, 19(3), 475-503.
- Benavides-Benavides, L. F., Cabrera-Jara, N. E., & Campoverde-Bermeo, M. B. (2021). Corredores urbanos como conectores de vida pública. Diagnóstico de los corredores urbanos centrales en la avenida 24 de Mayo, Azogues: Diagnóstico de los corredores urbanos centrales en la Avenida 24 de Mayo, Azogues. *Universidad-Verdad*, 2(79), 78-107.
- Bocco, G., Priego, Á., & Cotler, H. (2005). La geografía física y el ordenamiento ecológico del territorio. Experiencias en México. *Gaceta ecológica*, (76), 23-34.
- Capdepont-Ballina, J. L., & Marín-Olán, P. (2014). La economía de Tabasco y su impacto en el crecimiento urbano de la ciudad de Villahermosa (1960-2010). *LiminaR*, 12(1), 144-160.
- Castañeda, J. A., & Martínez, A. T. (2019). Diagnóstico IMCO: Refinería Dos Bocas. *Instituto Mexicano para la Competitividad A.C.*, 1-41.
- Castelán, R., Ruiz, J., Linares, G., Pérez, R., & Tamariz, 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.

- Challenger, A., Dirzo, R., López, J. C., Mendoza, E., Lira-Noriega, A., & Cruz, I. (2009). Factores de cambio y estado de la biodiversidad. *Capital natural de México*, 2, 37-73.
- Cirilo, J. L. (2017). *Puerto Dos Bocas, Tabasco, México, ante el efecto del cambio climático*. [Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico Superior de Villa La Venta]. Repositorio institucional de ECOSUR. <https://biblioteca.ecosur.mx/bib/59543>
- CONABIO. (2023). *Cobertura del suelo de México a 30 metros, 2020. Esquema de clasificación del Sistema de Monitoreo del Cambio en la Cobertura del Suelo de América del Norte (NALCMS)* [Mapa]. Escala: 1:100 000. Ciudad de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Da Cunha, J. M. P., & Vignoli, J. R. (2009). Crecimiento urbano y movilidad en América Latina. *Revista Latinoamericana de Población*, 3(4), 27-64.
- De la Mora, M. (2012). Instalación de refinerías en la región de Tula en Hidalgo: análisis desde la modernidad. *Estudios sociales (Hermosillo, Son.)*, 20(40), 181-210.
- De los Santos, C. C., Díaz, M. Á., Ramos, D. E., & Gama, L. M. (2023). Vulnerabilidad en la costa de Tabasco: Coronel Andrés Sánchez Magallanes. *Publicaciones e Investigación*, 17(1).
- Del Río, J. A. (2019). Hacia la reducción de la dependencia en las importaciones de petróleo y petrolíferos en México. *Instituto Belisario Domínguez del Senado de la República*, (58), 1-19.
- Diario Oficial de la Federación*. (2019, 22 de febrero). Acuerdo por el que se emiten los Lineamientos de Operación del Programa Crédito Ganadero a la Palabra. México. Recuperado de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5550950&fecha=22/02/2019#gsc.tab=0

Diario Oficial de la Federación. (2020, 31 de diciembre). Programa Nacional Forestal 2020-2024. México. Recuperado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609275&fecha=31/12/2020

Domínguez-Domínguez M., J. Zavala-Cruz, P. Martínez-Zurimendi. (2011). *Manejo forestal sustentable de los manglares de Tabasco. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental*. Colegio de Postgraduados. Villahermosa, Tabasco, México. 137 p.

Eastman, J. R. (2012). Idrisi Selva. Guía para SIG y procesamiento de imágenes. Clark University. 17 Ed. Worcester, MA, USA. 321 p. <https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/IDRISI-Selva-Spanish-Manual.pdf>

Eastman, J. R., & Toledano, J. (2018). A short presentation of the Land Change Modeler (LCM). *Geomatic approaches for modeling land change scenarios*, 499-505.

Flegl, M., Campos, S., & Sánchez-Juárez, I. (2021). Análisis de rendimiento de las refinerías de Pemex, 2000-2019. *Panorama Económico*, 17(34), 225-245.

Fuentes, L. (1977). El Estado como organizador del espacio: El plan Chontalpa, un ejemplo. *Invest. Geog*, 67-82.

Galicia, L., García, R. A., Gómez-Mendoza, L., & Ramírez, M. I. (2007). Cambio de uso del suelo y degradación ambiental. *Ciencia*, 58(4), 50-59.

Galván, L. E., Reye, R. E., Guédez, C., & De Armas, D. (2007). Los macroprocesos de la industria petrolera y sus consecuencias ambientales. *Universidad, ciencia y tecnología*, 11(43), 091-097.

Gama, L., Díaz, H. M., Collado, R., Valadez, M. E. M., Mata, E. E., & Figueroa, J. M. (2023). Implicaciones de la potencial elevación del nivel del mar para la población costera de Tabasco, México. *Estudios demográficos y urbanos*, 38(1), 283-320.

- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2002). Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation Tropical. *BioScience*, 52(2), 143-150.
- Giraldo, M. A. (2013). SIG como herramienta de estudio y planificación del uso del suelo en zonas agrícolas. *Ventana Informática*, (29), 111-128
- Guerra, V., & Ochoa, S. (2006). Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990-2000). *Investigaciones geográficas*, (59), 7-25.
- Guevara, J. (2007). Metodología de investigación para la caracterización de corredores urbanos. *Psicología para América Latina*, (10), 0-0.
- Gutiérrez, M., Ramos, D., Mesa, M. A., & Díaz, M. (2019). Informes de gobierno y paisaje forestal en Tabasco y Chiapas de 1947 a 1982. *EntreDiversidades. Revista de ciencias sociales y humanidades*, (13), 233-262.
- Héctor, T. (2022, 7 de mayo). Refinería: los efectos negativos que hay que anticipar. *Tabasco Hoy*. <https://www.tabascohoy.com/refineria-los-efectos-negativos-que-hay-que-anticipar/>
- Henríquez, C., Azócar, G. & Aguayo, M. (2006). Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (36), 61-74.
- Hernández, G. I., Ruíz, O., Sol, Á., & Valdez, J. I. (2016a). Cambios de uso del suelo en manglares de la costa de Tabasco. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(14), 2757-2767.
- Hernández, G. I., Sol, Á., Ruíz, O., Valdez, J. I., López, J. C., & Reta, J. L. (2016b). Diagnóstico del proceso de reforestación en manglares de la costa de Tabasco. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(14), 2883-2894.
- Humacata, L. (2019). Análisis espacial de los cambios de usos del suelo. Aplicación con Sistemas de Información Geográfica. *Revista cartográfica*, (98), 239-257.

- Ibarra, M. V. (2012). Espacio: elemento central en los movimientos sociales por megaproyectos. *Desacatos*, (39), 141-158.
- INEGI. (2010a). Compendio de información geográfica municipal 2010: Paraíso. *Instituto de Estadística y Geografía*.
- INEGI. (2010b). Compendio de información geográfica municipal 2010: Comalcalco. *Instituto de Estadística y Geografía*.
- INEGI. (2020). Panorama sociodemográfico de Tabasco: Censo de Población y Vivienda. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*.
- Instituto Mexicano del Petróleo. (2019). Manifestación de Impacto Ambiental de la Refinería Dos Bocas. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/474074/RESUMEN_11-06-2019.pdf
- Instituto Municipal de Investigación y Planeación Ciudad de Juárez (2016). *Plan de desarrollo Urbano Sostenible*. Chihuahua, México. <https://www.imip.org.mx/imip/files/sites/pdus2016/>
- Jiménez, C. L., Sosa, J., Cortés-Calva, P., Solís, A. B., Íñiguez, L. I., & Ortega-Rubio, A. (2014). México país megadiverso y la relevancia de las áreas naturales protegidas. *Investigación y ciencia-Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (60), 16-22.
- Lambin, E. F, Geist, HJ y Lepers, E. (2003). Dinámica del uso de la tierra y cambios en la cobertura de la tierra en las regiones tropicales. *Revisión anual de medio ambiente y recursos*, 28 (1), 205-241.
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., y Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global environmental change*, 11(4), 261-269.

- Lázaro, A., & Tur, C. (2018). Los cambios de uso del suelo como responsables del declive de polinizadores. *Ecosistemas*, 27(2), 23-33.
- Leija, E. G., Pavón, N. P., Sánchez-González, A., & Ángeles-Pérez, G. (2021). Dinámica espacio-temporal de uso, cambio de uso y cobertura de suelo en la región centro de la Sierra Madre Oriental: implicaciones para una estrategia REDD+ (Reducción de Emisiones por la Deforestación y Degradación). *Revista cartográfica*, (102), 43-68.
- López, J. P. (2021). El programa estratégico Sembrando Vida: ¿promueve la soberanía alimentaria? *Grietas*, (2), 147-167.
- López, V. H., Balderas, M. A., Chávez, M. C., Juan, J. I., & Gutiérrez, J. G. (2015). Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 22(2), 136-144.
- Magaña, M. A. (2010). *Vegetación y Flora del Municipio de Paraíso* (1ª ed.). Villahermosa, Tabasco: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Moscoso-Baeza, D., & de Escobar-Fernández, A. M. (2022). Impacto Económico de la Refinería Olmeca en el municipio de Paraíso, Tabasco. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 34(S5), 98-108.
- Neldy, S. M. (2022, 22 de septiembre). Deforestación, derrames de crudo, gases tóxicos... ante la nueva refinería, un Paraíso inerme (segunda parte). *PODER*. <https://poderlatam.org/2022/09/deforestacion-derrames-de-crudo-gases-toxicos-ante-la-nueva-refineria-un-paraiso-inerme-segunda-parte/>
- Núñez, J. C., Ramos, R., Barba, E., Espinoza, A., & Gama, L. M. (2016). Índice de vulnerabilidad costera del litoral tabasqueño, México. *Investigaciones geográficas*, (91), 70-85.
- Olaya, V. (2011). *Sistemas de Información Geográfica* (1ª ed.). Un libro de Víctor Olaya. <https://volaya.github.io/libro-sig/index.html>

- Olguín, M., Valle, A., Ochoa, S., & De Jong, B. (2007). Uso de suelo, ¿problema o solución ante el cambio climático? *Ecofronteras*, 6-9.
- ONU-Habitat. (2022). *World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities*. ONU-Habitat.
- Palacio-Prieto, J. L., Sánchez-Salazar, M. T., Casado, J. M., Propin, E., Delgado, J., Velázquez, A., Chias, L., Ortiz, M.I., González, J., Negrete, G., Gabriel, J., & Márquez, R. (2004). *Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial* (1ª ed.). México: SEMARNAT.
- Palomeque, M. Á., Ruiz, S. D. C., Ramos, R., Magaña, M. A., & Galindo, A. (2021). Modelación de cambios de coberturas y uso de suelo en Nacajuca, Tabasco. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(4), 655-669.
- Palomeque-De la Cruz, M. A., Galindo-Alcántara, A., Sánchez-Sánchez, A. J., Ruiz-Acosta, S. C., & Escalona-Maurice, M. J. (2017). Diagnóstico del crecimiento urbano para la planificación ambiental de Villahermosa, Tabasco, México. *AGROProductividad*, 10(10), 121-129.
- Pineda, J. N., & Principi, N. (2019). Análisis espacial de cambios de usos del suelo con sistemas de información geográfica [Spatial analysis of changes in land use with geographic information systems]. G. Buzai et al.(comp.), *Teoría y métodos de la geografía cuantitativa*. Libro, 2, 75-95.
- Pineda, J. N., Bosque, S. J., Gómez, D. M., & Plata, R. 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.
- Pineda, O. (2010). *Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de Valle de Santiago* [Tesis de maestría]. Centro de Investigación en Geografía y Geomática Ing. Jorge L. Tamayo, A.C. CentroGeo.

- Pinkus, M. J., & Pacheco, J. (2012). Expectativas sociales y deterioro ambiental por el petróleo: Caso de Cárdenas, Tabasco, México. *Cuadernos de Antropología*, 22.
- Pinkus-Rendón, M. J., & Contreras-Sánchez, A. (2012). Impacto socioambiental de la industria petrolera en Tabasco: el caso de la Chontalpa. *LiminaR*, 10(2), 122-144.
- Pontius, R. G., Huffaker, D., & Denman, K. (2004). Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models. *Ecological modelling*, 179(4), 445-461.
- Portillo, J. L., & Ezcurra, E. (2002). Los manglares de México: una revisión. *Madera y bosques*, 8, 27-51.
- Priego, Á., Cotler, H., Fregoso, A., Luna, N., & Enríquez, C. (2004). La dinámica ambiental de la cuenca Lerma-Chapala. *Gaceta ecológica*, (71), 23-38.
- Ramírez-García, A. R., Zavala-Cruz, J., Rincón-Ramírez, J. A., Guerrero-Peña, A., García-López, E., Sánchez-Hernández, R., Castillo-Acosta, O., Alfaro-Sánchez, G., & Ortiz-Pérez, M. A. (2022). Vegetation cover and land use change (1947-2019) in the region of Los Ríos, Tabasco, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales*, 28(3).
- Ramos, R. y Palomeque, M. Á. (2023). Cambio de uso del suelo y escenarios prospectivos en el Estado de Tabasco (México). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 43(1), 185-209.
- Ramos, R., & Palomeque, M. Á. (2017). Modelación del cambio de uso del suelo en Comalcalco, Tabasco, México. *Revista de Urbanismo*, (37), 1-17.
- Ramos, R., Megia, H. J., & López, P. (2019a). Modelación del cambio de uso del suelo en la Zona Costera: Cuauhtemotzin-El Pailebot, Tabasco, México. *Revista de Urbanismo*, (41).
- Ramos, R., Palomeque, M. Á., Núñez, J. C., & Sánchez, R. (2019b). Análisis geomático espacial del cambio de uso del suelo en Huimanguillo, Tabasco (2000-2010-2030). *Revista mexicana de ciencias forestales*, 10(53), 118-139.

- Ramos-Reyes, R., Palomeque-De la Cruz, M. Á., Megía-Vera, H. J., & Landeros-Pascual, D. (2021). Modelo del cambio de uso de suelo en el sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona, México. *Terra Latinoamericana*, 39.
- 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.
- Romero-Padilla, A., & Hernández-Juárez, M. (2023). Cambio de uso de suelo por la construcción del NAICM en Texcoco, Estado de México. *Terra Latinoamericana*, 41.
- Romo, D. (2016). Refinación de petróleo en México y perspectiva de la reforma energética. *Problemas del desarrollo*, 47(187), 139-164.
- Ruiz, N., Casado, J. M., & Sánchez, M. T. (2015). Los Atlas de Riesgo municipales en México como instrumentos de ordenamiento territorial. *Investigaciones geográficas*, (88), 146-162.
- Salazar, E. D. C., Zavala, J., Castillo, O., & Cámara, R. (2004). Evaluación espacial y temporal de la vegetación de la Sierra Madrigal, Tabasco, México (1973-2003). *Investigaciones geográficas*, (54), 7-23.
- Sánchez, S., Flores, A., Cruz-Leyva, I. A., & Velázquez, A. (2009). Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. *Capital natural de México*, 2, 75-129.
- Secretario de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (23 de noviembre de 2022). Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Paraíso. *Periódico Oficial del Estado de Tabasco*.
- Secretario de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (5 de noviembre de 2022). Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Comalcalco. *Periódico Oficial del Estado de Tabasco*.

- SEMARNAT. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*, edición 2018. Semarnat. México. 2019.
- Soto-Cortés, J. J. (2015). El crecimiento urbano de las ciudades: enfoques desarrollista, autoritario, neoliberal y sustentable. *Paradigma económico*, 7(1), 127-149.
- Torres, J. M. (2010). ProÁrbol, un programa para restaurar, manejar y conservar bosques. En Carabias, J., Sarukhán, J., De La Maza, J., & Galindo, C. (Eds.), *Patrimonio natural de México: Cien casos de éxito en México* (pp. 102-105). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Valderrama-Landeros, L. H., Rodríguez-Zúñiga, M. T., Troche-Souza, C., Velázquez-Salazar, S., Villeda-Chávez, E., Alcántara-Maya, J. A., & Ressler, R. (2017). *Manglares de México: actualización y exploración de los datos del sistema de monitoreo 1970/1980–2015* (1ª ed.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium-bin/sumario.pl?Id=20230510131638>
- Vargas, R. (2019). Aspectos internacionales de la industria de la refinación. *Economía UNAM*, 16(48), 168-190.
- Velázquez, A., Mas, J. F., Gallegos, J. R. D., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P. C., Castro, R., & Palacio, J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta ecológica*, 62, 21-37.
- Velázquez-Salazar S., Rodríguez-Zúñiga M.T., Alcántara-Maya J.A., Villeda-Chávez E., Valderrama-Landeros L., Troche-Souza C., Vázquez-Balderas B., Pérez-Espinosa I., Cruz-López M. I., Ressler R., De la Borbolla D. V. G., Paz O., Aguilar-Sierra V., Hruby F. y Muñoa-Coutiño J. H. (2021). *Manglares de México. Actualización y análisis de los datos 2020* (1ª ed.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium-bin/detalle.pl?Id=20230510131638>

Zamudio, B. F. & Rosas, J. A. (2018). Impacto económico, social y ambiental generado por el campo petrolero Puerto Ceiba en Paraíso, Tabasco, México. En *Desarrollo regional sustentable y turismo: Vol. 2* (pp. 247-271). Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C.

Zamudio, B. F., Rosas, J. A., & Mapén, F. J. (2016). Estudio de 1985 a 2010 del impacto ambiental y sus efectos en el desarrollo económico y social generado por el campo petrolero Puerto Ceiba-Paraíso, Tabasco México. *Revista Análisis Organizacional*, 1(8), 34-82.