



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

“EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA ZONA COSTERA
ASOCIADA A LOS MANGLARES DE ARROYO MORENO”

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA
BERNARDO CARLON SOLIS

DIRECTOR DE TESIS
DRA. MARIA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ

CO-DIRECTOR
DRA. ALEJANDRA SOTO ESTRADA
ASESOR
DRA. GABYCARMEN NAVARRETE RODRIGUEZ
ASESOR
DR. ARTUGO GARCIA SALDAÑA

JUNIO DEL 2024

BOCA DEL RIO, VERACRUZ.



Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.
Tel. (229) 690 5010 ext. 1090 depi_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx





Boca del Río, Ver **22/MAYO/2024**

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

**BERNARDO CARLON SOLIS
PASANTE DEL PROGRAMA MAESTRÍA EN
CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL
PRESENTE**

De acuerdo con el fallo emitido por los integrantes del Comité Revisor de la **TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO**, desarrollada por usted cuyo título es:

“EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA ZONA COSTERA ASOCIADA A LOS MANGLARES DE ARROYO MORENO”

Esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le concede **AUTORIZACIÓN** para que proceda a su impresión.

ATENTAMENTE

*Excelencia en Educación Tecnológica®
Por nuestros mares responderemos*

**DR. JUAN DAVID GARAY MARIN
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



c.c.p. Coordinación del Programa MCIAMB
c.c.p. Expediente



Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.
Tel. (229) 690 5010 ext. 1090 depi_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx





ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Número Registro: A-01504-080822

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 10:00 horas del día 27 del mes de mayo de 2024 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Consejo del Posgrado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental del ITBOCA, para examinar la Tesis de Grado titulada:

“EVALUACION DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA ZONA COSTERA ASOCIADA A LOS MANGLARES DE ARROYO MORENO”

Que presenta el (la) alumno(a):

BERNARDO CARLON SOLIS

Aspirante al Grado de:

Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental

Después de escuchar las opiniones sobre el documento escrito e intercambiar puntos de vista, los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes para su defensa ante el jurado correspondiente.

LA COMISIÓN REVISORA:


DRA. MARIA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ
Director


DRA. ALEJANDRA SOTO ESTRADA
Co-Director


DRA. GABYCARMEN NAVARRETE RODRIGUEZ
Asesor


DR. ARTURO GARCIA SALDAÑA
Asesor





Boca del Río, Veracruz, **27/mayo/2024**

Asunto: **CESION DE DERECHOS Y NO PLAGIO**

**H. CONSEJO DE POSGRADO
PROGRAMA DE POSGRADO MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO/ INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO
PRESENTE**

En la Ciudad de Veracruz, Veracruz a los 27 días del mes mayo de 2024 . El que suscribe **Bernardo Carlón Solís** por mi propio derecho y en calidad de autor de la tesis titulada: **Evaluación del cambio de uso de suelo en la zona costera asociada a los manglares de Arroyo Moreno** (en lo sucesivo la “TESIS”) manifiesto que cedo a título gratuito la totalidad de los derechos patrimoniales de autor que sobre ella me corresponden, a favor del Tecnológico Nacional de México (en lo sucesivo el “TecNM”). Lo anterior en términos de los antecedentes y consideraciones siguientes:

- I. Que la presente cesión de derechos de la “TESIS” se transfiere en virtud de lo estipulado en los establecido en los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, sin reservarme acción legal de ningún tipo.
- II. Manifiesto bajo protesta de decir verdad, que la “TESIS” es original, inédita y propia, no existiendo impedimento de ninguna naturaleza para la cesión de derechos que se está haciendo, respondiendo además por cualquier acción de reivindicación, plagio u otra clase de reclamación que al respecto pudiera sobrevenir.
- III. Que la titularidad de derechos de autor de la “TESIS” en términos del artículo 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor (reproducción, en todas sus modalidades, transformación o adaptación, comunicación pública, distribución y en general cualquier tipo de explotación que de la “TESIS” se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer, son propiedad única y exclusiva del “TecNM”, adquiriendo el derecho de reproducción en todas sus modalidades, el derecho de transformación o adaptación, comunicación pública, distribución y en general cualquier tipo de uso que de la “TESIS” se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer. La cesión de derechos se realiza con carácter permanente e irrevocable.
- IV. El TecNM podrá exhibir la “TESIS” a través de cualquier medio, en cualquier parte del mundo, incluso ser modificada, comprendida, traducida y de cualquier forma explotada en su totalidad o parcialidad.





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Boca del Río
División de Estudios de Posgrado e Investigación

- V. Que no he otorgado, ni otorgaré por ningún motivo, consentimiento alguno para la utilización de la "TESIS" por cualquier medio y su materialización en productos o servicios de cualquier naturaleza, a favor de ninguna persona física o moral, distinta a el "TecNM".
- VI. Estoy enterado del contenido y alcance legal de la presente cesión de derechos, firmando al final del presente documento para su certificación.

Señalo como correo electrónico para recibir futuras notificaciones: bernardo2104@gmail.com

Agradeciendo de antemano sus atenciones, le envío un cordial saludo

ATENTAMENTE

Bernardo Carlon S.

BIOL. BERNARDO CARLÓN SOLÍS

c.c.p. Archivo



2. RESUMEN Y ABSTRACT.

Debido a la importancia que representan la preservación de las áreas naturales protegidas para el cuidado del medio ambiente en el país, es relevante realizar monitoreo del estado de conservación que presentan a lo largo de los años. En el estado de Veracruz existen dos ANP de vital importancia; REAM y RETLO, las cuales se tratan de un sistema lagunar de mangle ribereño rodeados por la mancha urbana. A través de la fotodetección y utilizando una VANT se identificaron los cambios de uso de suelo y se realizó la comparación entre los años 2001, 2008, 2015 y 2023. Para ello se utilizó la información de los satélites Landsat 7 y Landsat 8 junto con las cartas de uso de suelo y vegetación de los años 2005, 2010, 2015 y 2020 obtenidas del geoportal de CONABIO y se procesaron en el programa Pix4D- De ello se obtuvo el índice de paisaje a través de los índices de diversidad y de fragmentación, los índices de presión circundante y las distancia entre las manchas, así como los mapas de uso de suelo y la superficie a la clase de vegetación en el área por año. De esta forma se encontró que las áreas denominadas Desarrollo antrópico obtuvieron ganancias de crecimiento a partir del año 2000, junto con Otra vegetación y Manglar a diferencia de las áreas sin vegetación, otros humedales y las zonas agrícola-pecuarias que se fueron reduciendo. Aunque por el momento el crecimiento antrópico no ha impactado en una disminución de las áreas naturales protegidas mencionadas, si ha intervenido en la forma y fragmentación.

Due to the importance that the preservation of Áreas Naturales Protegidas represents for the care of the environment in the country, it is relevant to monitor their state of conservation over the years. In the state of Veracruz there are two ANP of vital importance; REAM and RETLO, which are a coastal mangrove lagoon system surrounded by the urban area. Through photodetection and using a VANT, changes in land use are identified, making a comparison between the years 2001, 2008, 2015 and 2023. For this, information from the Landsat 7 and Landsat 8 satellites was used together with the Maps of Land use and vegetation for the years 2005, 2010, 2015 and 2020 obtained from the CONABIO geo portal and were processed in the Pix4D program. From this, the landscape index was obtained through the diversity and fragmentation indices, the indices of surrounding pressure and the distance between the spots, as well as maps of land use and the surface area of vegetation in the area by year. In this way, it was found that the areas called Anthropic Development obtained growth gains from the year 2000, along with Other

Vegetation and Mangrove, unlike areas without vegetation, other wetlands and agricultural-livestock areas that were reduced. Although for the moment anthropic growth has not impacted a decrease in the aforementioned protected natural areas, it has intervened in their form and fragmentation.

3. AGRADECIMIENTOS.

Agradezco al Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA) por la oportunidad de cursar el posgrado para obtener el título como maestro en Ciencias, así mismo al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada en apoyo del presente proyecto.

A mi directora, codirectora y asesores por guiarme durante este tiempo y por tomarse el tiempo de realizar las revisiones pertinentes; así como brindar los consejos correspondientes.

Un agradecimiento especial a mi hijo Víctor Hugo; quien sacrifico tiempo conmigo para que yo pudiera llevar a cabo mis estudios, con quien he pasado los mejores 15 años de mi vida, transformando mi existencia en la de un padre orgulloso.

A mi novia Esbeidy Alegría que a pesar de mi entrega energía a las labores profesionales y del trabajo me ha ayudado a conformar un equilibrio entre mi vida laboral, profesional y personal.

A mi padre Víctor Marcelino, a mi madre Ma. De los Ángeles, a mis hermanos Rommel y Fidel; así como a todo el grupo de amigos que tengo; todos ellos que siempre están conmigo apoyándome en mi crecimiento personal y profesional.

A Iris y Marco quienes en conjunto tuvieron la gran amabilidad de apoyarme a comprender los temas relacionados a su carrera como geógrafos.

Un agradecimiento a todos ustedes:

Víctor Hugo Carlón Hernández

Esbeidy Alegría Velasco Hernández

Iris Monserrat Santiago Mijangos

Marco Antonio Pérez Hernández

Mis padres y hermanos

Al famosísimo grupo de **“Los Guapos”** (Arq. José Jorge Lagunes Estrada y la Biol. Adriana Andrea Roldan Ubando). Que son sin duda el mayor regalo que me dio esta etapa de mi vida.



4. DEDICATORIA.

A mi familia por ser los pilares fundamentales de mi vida, mismos que me enseñaron que con base en los valores y el esfuerzo se pueden conseguir grandes cosas.

A mi hijo que desde siempre fue, es y seguirá siendo mi motor de vida

A mis amigos por apoyarme y acompañarme en las buenas y en las malas.

Y a Esbeidy Alegría; mi novia por su gran apoyo todo este tiempo.



Índice General

2.	Resumen y abstract.	4
3.	Agradecimientos.	8
4.	Dedicatoria.	9
5.	Introducción.	15
6.	Marco teórico y conceptual.	17
7.	Marco de referencia.	36
8.	Problema de investigación.	44
9.	Hipótesis.	48
10.	Objetivos.	48
11.	Material y métodos.	48
12.	Resultados y discusiones.	61
13.	Conclusiones.	88
14.	Recomendaciones.	89
15.	Referencias.	89

Índice de Tablas.

Tabla 1.	Características del satélite Landsat 7	24
Tabla 2.	Características del satélite Landsat 8.	24
Tabla 3.	Especies de mangle que se distribuyen en México	32
Tabla 4.	CUS y Vegetación en la REAM.	37
Tabla 5.	Tipo de satélite y fechas seleccionadas para obtener la información	50
Tabla 6.	Características de los satélites utilizados	50
Tabla 7.	Número de bandas y resolución en los satélites Landsat 7 y Landsat	51
Tabla 8.	Intervalos del índice de diversidad de forma de Patton (1975).	58
Tabla 9.	Intervalos del grado de fragmentación.	59
Tabla 10.	Factores de ponderación para determinar el Índice de presión circundante. ...	60
Tabla 11.	Áreas por clase del año 2001.	61
Tabla 12.	Áreas por clase del año 2008.	63
Tabla 13.	Áreas por clase del año 2015.	65
Tabla 14.	Áreas por clase del año 2023.	67
Tabla 15.	Resultados de ganancia-Pérdida por clase y por año.	69
Tabla 16.	Matriz de cambios de uso de suelo 2001-2023	69
Tabla 17.	Número de fragmentos y tamaño promedio por clase del año 2001.	74
Tabla 18.	Número de fragmentos y tamaño promedio por clase del año 2008.	74
Tabla 19.	Número de fragmentos y tamaño promedio por clase del año 2015.	75
Tabla 20.	Número de fragmentos y tamaño promedio por clase del año 2023.	75
Tabla 21.	Número de fragmentos por forma de acuerdo con el Índice de diversidad.	77
Tabla 22.	Número de fragmentos de acuerdo con el Índice de diversidad 2008.	78
Tabla 23.	Número de fragmentos por forma de acuerdo con el Índice de diversidad de forma de Patton y porcentaje de la superficie que ocupan en el año 2015.	79
Tabla 24.	Número de fragmentos de acuerdo con el Índice de diversidad año 2023.	79
Tabla 25.	Índice de fragmentación del año 2001.	80
Tabla 26.	Índice de fragmentación del año 2008.	81
Tabla 27.	Índice de fragmentación del año 2015.	81
Tabla 28.	Índice de fragmentación del año 2023.	81

Tabla 29. Distancias medias al fragmento vecino más cercano de cada clase del Sistema Ambiental en el año 2001.	82
Tabla 30. Distancias medias al fragmento vecino más cercano de cada clase del Sistema Ambiental en el año 2008.	83
Tabla 31. Distancias medias al fragmento vecino más cercano de cada clase del Sistema Ambiental en el año 2015.	83
Tabla 32. Distancias medias al fragmento vecino más cercano de cada clase del Sistema Ambiental en el año 2023.	83
Tabla 33. Índice de la presión circundante en el subsistema natural ejercida por clases antrópicas del año 2001.	84
Tabla 34. Índice de la presión circundante en el subsistema natural ejercida por clases antrópicas del año 2008.	84
Tabla 35. Índice de la presión circundante en el subsistema natural ejercida por clases antrópicas del año 2015.	85
Tabla 36. Índice de presión circundante ejercidos por clases antrópicas en el subsistema natural del año 2023.	85
Tabla 37. Clasificación de los índices de presión circundante ejercidos por clases antrópicas en el subsistema natural del 2001 al 2023.	86

Índice de figuras.

Figura 1. Imagen de las partes de una onda	18
Figura 2. Diferentes longitudes de onda	19
Figura 3. Ángulos de reflectancia.....	19
Figura 4. Firmas espectrales de diferentes elementos de la corteza.....	20
Figura 5. Tipos de sensores.....	21
Figura 6. Diferentes niveles de resolución espacial.....	22
Figura 7. Satélite Landsat	23
Figura 8. Comparación de los diferentes rangos de longitud de onda.....	25
Figura 9. Elementos de los SIG. (Elaboración propia).....	29
Figura 10. Especies de mangle que se encuentran en la NOM-059-SEMARNAT-2010. .	33
Figura 11. Imagen obtenida en la página oficial de la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA) del Estado de Veracruz del año 2017.....	39
Figura 12. Delimitación del sistema ambiental, dentro la Reserva Ecológica Arroyo Moreno (REAM) y Reserva Ecológica Tembladeras-Laguna Olmeca (RETLO).....	42
Figura 13. Combinación en falso color de infrarrojo cercano.....	54
Figura 14. Combinación de infrarrojo cercano, de onda corta y verde.....	55
Figura 15. Firma espectral del de Manglar en Landsat 7.....	56
Figura 16. Firma espectral de humedales en Landsat 7.....	56
Figura 17. Firma espectral de Desarrollo antrópico en Landsat 7.....	56
Figura 18. Mapa de uso de suelo en la zona costera perteneciente al año 2001.....	62
Figura 19. Porcentajes de superficie de las clases de uso de suelo en 2001.....	63
Figura 20. Mapa de uso de suelo en la zona costera perteneciente al año 2008.....	64
Figura 21. Porcentajes de superficie de las clases de uso de suelo en 2008.....	64
Figura 22. Mapa de uso de suelo en la zona costera perteneciente al año 2015.....	66
Figura 23. Porcentajes de superficie de las clases de uso de suelo en 2015.....	67
Figura 24. Mapa de uso de suelo en la zona costera perteneciente al año 2023.....	68
Figura 25. Porcentajes de superficie de las clases de uso de suelo en 2023.....	69
Figura 26. Sobreposición de la ortofoto en Google Earth, correspondiente a la parte Este de la REAM. La composición de los orto-mosaicos constituye un total de 70 ha.....	72

Figura 27. Sobreposición de la ortofoto en Google Earth 73
Figura 28. Parche de Manglar de forma Oval-Redonda al este de la REAM. 76
Figura 29. Parches Sin vegetación de la forma Oval-oblonga en el centro-sur del SA.77

5. INTRODUCCIÓN.

De acuerdo a la legislación ambiental en México, las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son espacios que han sido destinadas para la conservación, y en las cuales se ejerce soberanía y jurisdicción. Estos espacios son de gran importancia ya que sus condiciones y características naturales originales siguen persistiendo a pesar de los años y de influencia de las actividades antropogénicas que pudieran afectarlas.

Las ANP pueden ser de competencia federal, estatal y/o municipal. Todas tienen el objetivo de preservar y restaurar sus ecosistemas y funciones integrales ambientales (SEMARNAT, 2021). Actualmente, en el estado de Veracruz existen 28 ANP de competencia estatal, dentro de las cuales se encuentra la Reserva Ecológica Arroyo Moreno (REAM), declarada en noviembre de 1999; y la Reserva Ecológica Tembladeras-Laguna Olmeca (RETLO), decretada el 10 de julio del 2014. Ambas de gran importancia debido a su valor ecosistémico, ya que se trata de un sistema de dunas y manglares que sólo se ha registrado en el estado de Tamaulipas y Veracruz, para lo cual se ha creado inclusive un sistema de monitoreo de manglares que comprende cinco evaluaciones anuales nacionales debido a su importancia (CONABIO, 2020).

Las ANP, así como las zonas de influencia en las cuales se encuentran físicamente, sufren de diferentes problemáticas como lo es el cambio de uso de suelo (CUS), derivado de actividades antropogénicas, además de la influencia de fuentes contaminantes en sus sistemas biológicos como puede ser en sus cuerpos de agua y/o suelo, extracción de especies, caza ilegal, aprovechamiento ilegal de los recursos naturales, entre otros. Así mismo dichas áreas dependen, en su gran mayoría, de los esfuerzos económicos y estrategias directamente dirigidas por los gobiernos que las tienen a su cargo; por lo que la preservación del área natural suele estar directamente relacionada a los esfuerzos económicos y administrativos de los gobiernos responsables.

La generación de conocimiento en estas áreas destinadas a conservación contribuye directamente a planes de mejora en el desempeño de las ANP. Los diferentes usos de suelo y la explotación de los recursos influyen directamente en el comportamiento de los ecosistemas y sus características como el paisaje; todos estos cambios están recientemente siendo de interés para la investigación debido a las consecuencias e implicaciones que tienen en el comportamiento ambiental de los ecosistemas en su flora, fauna, destrucción de hábitat, capacidad productiva y servicios ambientales (Prados y Fernández, 2010).

Recientemente han sido cada vez más los estudios relacionados a observar los CUS; y

sus consecuencias en diferentes tipos de hábitat; para lo cual se han implementado técnicas innovadoras de cartografía automatizada y sistemas de información geográfica que, junto con el uso de metodologías estadísticas, logran conformar metodologías muy prácticas para obtener la información que se busca sobre los porcentajes de cambio.

Por otro lado, además de los CUS de la zona de estudio, es importante saber cómo es que ha cambiado el Sistema Ambiental en su conjunto desde diferentes indicadores ambientales. Es por ello que, resulta importante contribuir en la generación de conocimiento en las ANP y sus áreas asociadas de influencia para identificar las diferentes problemáticas a las que se enfrentan contribuyendo así a la elaboración de planes de mejora en su comportamiento.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es analizar los Cambios de Uso de suelo y comportamiento del paisaje en un sistema ambiental que involucra dos ANP, conocidas como Reserva Ecológica Arroyo Moreno y Reserva Ecológica Tembladeras-Laguna Olmeca, implementando tecnologías como el uso de un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) y manejo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), a fin de conocer la conservación de las áreas desde los años 2000 al año 2023.

6. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.

A continuación, se describirán teóricamente los conceptos y herramientas involucradas que fueron la base para el desarrollo de la investigación, aquellos conceptos propios de la teledetección espacial y los Sistemas de Información Geográfica que se emplearon para la metodología del trabajo, así como aquellos en materia ambiental y de paisaje, referentes al área de estudio.

Para el presente trabajo, fue necesario adquirir imágenes satelitales de la superficie terrestre provenientes de sensores remotos, es decir herramientas de teledetección. La teledetección también implica el proceso de tratamiento de la imagen en el contexto de una determinada herramienta de información geográfica (SIG) (Chuvieco, 1996). El modelo de teledetección obedece a las Teorías General de Sistemas.

Dichas herramientas serán de apoyo para el análisis del CUS en el Sistema Ambiental, definido como una zona asociada a los manglares de Arroyo Moreno y las lagunas de Tembladeras-Laguna Olmeca; junto con el reconocimiento aéreo de la zona mediante las rutas de vuelo lineales para confirmación de usos de suelo por medio de un vehículo aéreo no tripulado (VANT). En los últimos años, los vehículos aéreos no tripulados (VANT), también conocidos como drones, se han aplicado ampliamente para monitorear una variedad de objetivos en la agricultura, recursos hídricos y suelo. Así como entornos urbanos, debido a su bajo costo, bajo peso y comodidad de uso (Li, Levin, Xie, y Li, 2020).

6.1. Teledetección espacial

La teledetección espacial, se define como una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. Se basa en la detección de ondas electromagnéticas reflejadas de las superficies utilizando las celdas especializadas de los sensores que las traducen en información que puede ser procesada. A través de la interacción de ambos elementos cuando el sensor recorre la superficie, un sistema que funciona como lo hace el ojo humano.

Prácticamente, la materia, al interactuar con la luz es capaz de absorber, reflejar y/o emitir energía en forma de ondas en diferentes longitudes de acuerdo a la naturaleza del material. Dicha luz proviene del sol, que es la principal fuente de energía que, al iluminar a la tierra, la superficie es capaz de reflejar por medio de los fotones que de acuerdo a la cubierta que presente generará radiación electromagnética, misma que se define como ondas eléctricas y magnéticas que se mueven a través del espacio y a la velocidad de la luz (Rojas, 2009). Los tres principios de la teledetección son: el sensor, el objeto



observado y el flujo de energía que se presenta en forma de radiación electromagnética.

Todos los cuerpos emiten radiación en un diferente rango del espectro electromagnético. El tipo de radiación va a depender de dos conceptos fundamentales, la *longitud de onda*; que es la distancia entre los picos de las crestas de una onda, y la *frecuencia*, que son el número de ciclos o periodos que va de un punto fijo en unidad de tiempo. Este proceso es mejor comprendido en el siguiente esquema; donde λ representa la longitud de onda y T el periodo o frecuencia.

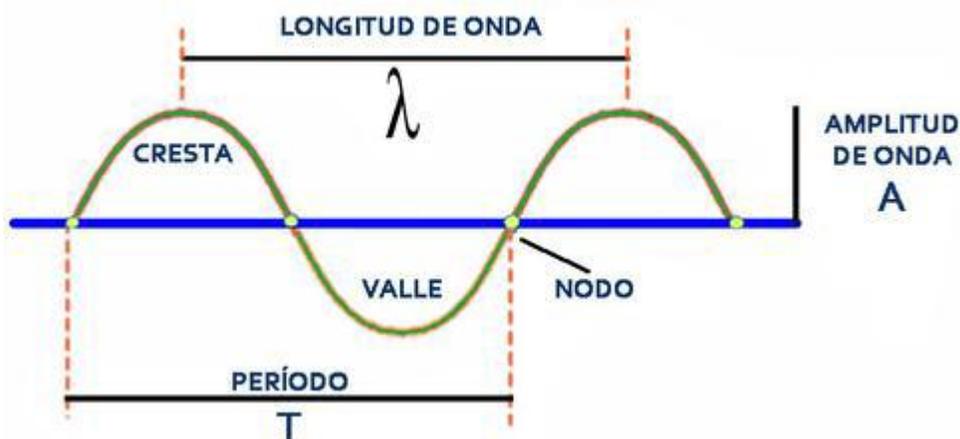


Figura 1. Imagen de las partes de una onda, obtenida del sitio web: <https://cronicaseguridad.com/2017/08/24/onda-electromagnetica-oem-transmisiones-emergencias/>

A mayor longitud de onda menor será su frecuencia y contendrá menor energía y, a mayor frecuencia disminuye la longitud de onda y aumenta la energía. De acuerdo con esto, se compone y se clasifica el espectro de radiación electromagnética (Figura 2) que emiten los cuerpos, allí encontramos el espectro de luz visible, es decir, la luz que el humano logra captar y razón por la cual somos capaces de observar el mundo, que va desde los 0.4 a los 0.7 micrómetros. También encontramos las ondas de radio, las microondas e inclusive los rayos gamma de altos niveles de energía (Fontal, 2005).

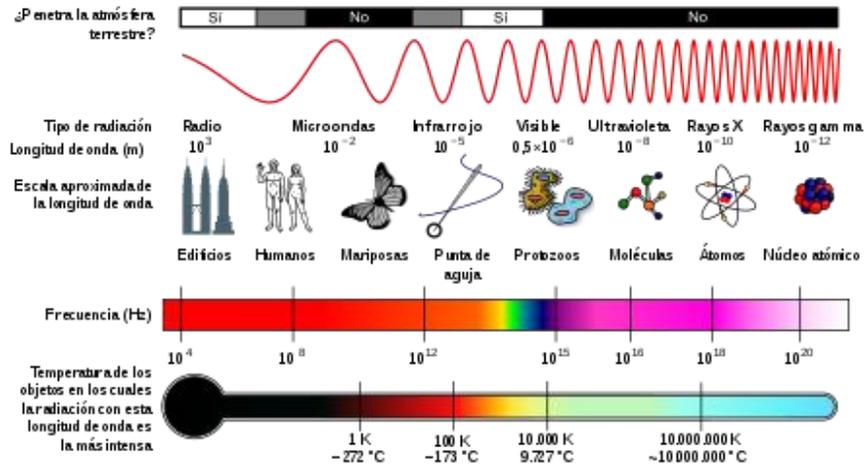


Figura 2. Diferentes longitudes de onda. Obtenida del sitio web: https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagn%C3%A9tico#/media/Archivo:EM_Spectrum_Properties_es.svg

Dentro de los rangos principalmente ocupados en teledetección están: el espectro visible, infrarrojo próximo, infrarrojo medio e infrarrojo térmico; es decir, entre un rango de 0.4 a 14 micrómetros. Es importante mencionar que los objetos juegan un papel muy importante en la teledetección ya que, como se mencionó antes, la materia puede reflejar, transmitir o absorber la energía, por lo tanto, la detección estará en función de las propiedades físicas del objeto, así como de factores externos como las condiciones atmosféricas, el emplazamiento ambiental de la cubierta y la geometría de la observación. Respecto al último punto se pueden distinguir dos tipos: cubiertas especulares, que son aquellas donde la reflejanza va con el mismo ángulo que la energía; y las cubiertas lambertianas, donde se refleja uniformemente en todas direcciones (Figura 3) (Chuvieco, 1996).

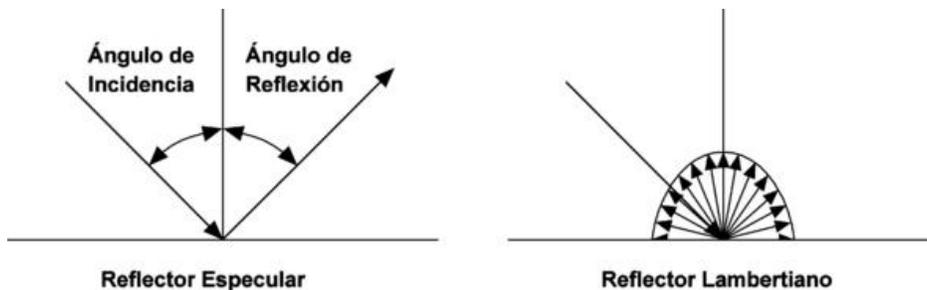


Figura 3. Ángulos de reflectancia.

Cuando se habla de luz visible es más sencillo explicar la interacción; cuando un objeto es azul significa que refleja intensamente la energía que se encuentra en ese espectro, es decir, no absorbe ni transmite la energía que tenga esos rangos. De este modo se han

obtenido curvas de reflectividad espectral de diversas coberturas terrestres, en donde se ha observado que la nieve presenta una respuesta uniforme en diferentes longitudes de onda ya que refleja la mayor parte de la energía; al contrario del agua, que absorbe la mayor cantidad de energía que recibe del sol. En el caso de la vegetación, ésta presenta comportamientos muy cromáticos con bajos valores en el espectro visible pero muy altos en infrarrojo (Chuvienco, 1996).

6.1.1. Firma espectral

Cada objeto, de acuerdo a su naturaleza, tiene un comportamiento único con la luz que en conjunto forma lo que se le conoce como firma espectral. Esta se define como el comportamiento diferencial que presenta la radiación electromagnética reflejada o emitida por cada tipo de superficie u objeto terrestre en los distintos rangos del espectro electromagnético que permite identificar y discriminar sitios/objetos (Figura 4) (Hernández, 2011). Por ejemplo, el agua; cuando la reflectancia es baja en el espectro visible y desaparece en infrarrojos se sabe que se trata de agua clara; cuando aumenta la concentración de clorofila por la presencia de algas se disminuye la reflectancia en azul y aumenta en verde. Así aplica para todo tipo de objetos, por ejemplo, el suelo; suelos húmedos se ven más oscuros que los secos derivados de la cantidad de agua que contiene que reducen la dispersión de la luz, lo que se relaciona con la composición de los suelos, ya que suelos arcillosos retienen más el agua que la arena (Gamboa, 2021).

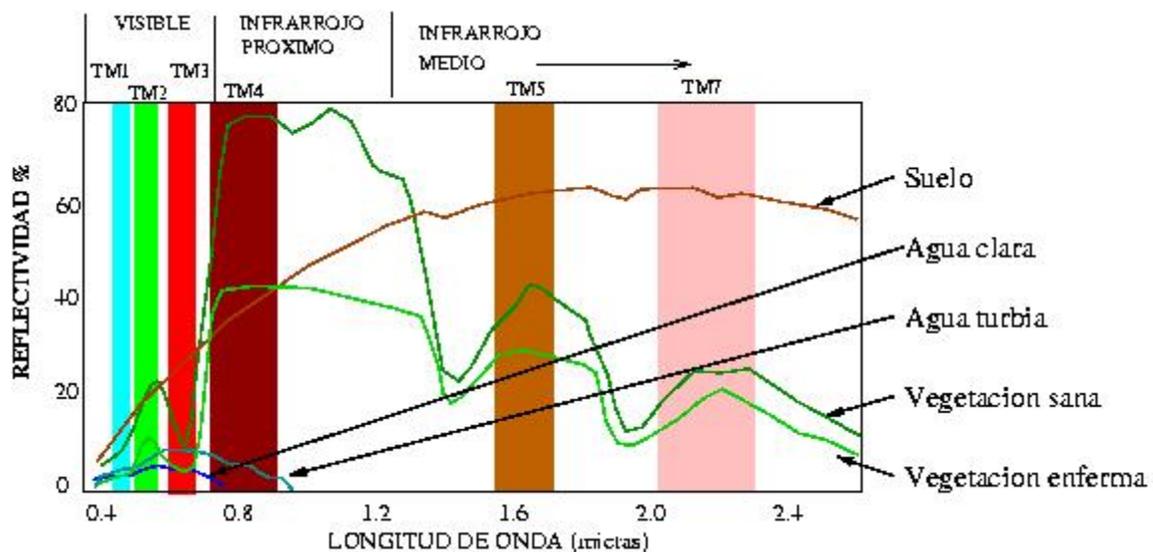


Figura 4. Firmas espectrales de diferentes elementos de la corteza.

6.1.2. Sensores

La teledetección satelital se lleva a cabo por medio de los sensores, instrumentos que detectan las señales electromagnéticas que van desde la tierra y pasan por la atmósfera. Estos sensores transforman los datos que captan en un formato digital o analógico que se interpreta después como fotografías o imágenes. Se ubican en plataformas fijas o móviles ya sea en satélites, globos, cohetes o aviones (Sobrino, *et. al.*, 2000).

Existen diferentes sensores de acuerdo a la detección de la luz reflejada por los objetos terrestres (Figura 5). Los pasivos son aquellos que reciben las señales emitidas de forma natural, ya sea por la luz solar o por la emitida de los objetos de forma térmica; dentro de ellos encontramos ASTER, LandSat, MODIS y SENTINEL, mismos que abarcan todo el rango espectral. Por otro lado, los sensores activos, emiten radiación para percibir exclusivamente a un objeto, como por ejemplo LidDAR, Radar y Sonar, los cuales únicamente trabajan en el intervalo de microondas (Rojas, 2020).



Figura 5. Tipos de sensores. (A. Sensores como ASTER, LANDSAT, MODIS Y SENTINEL. B. Sensores como LIDAR, Radar y Sonar)

6.1.3 Resolución

Existen diversos tipos de resolución que contribuyen a analizar e interpretar las imágenes que son obtenidas por medio de los satélites o sensores, que son producto de los avances que ha tenido la tecnología de teledetección a lo largo de los años. Dichas resoluciones son la espacial, la espectral, la radiométrica y la temporal.

La resolución espacial se mide en función de la unidad mínima de información incluida por píxel, es decir, el objeto más pequeño que puede ser identificado en una imagen; se

utiliza el tamaño del píxel para definirla (Hernández, 2011). Entonces, una resolución de 15 m, quiere decir que lo mínimo observable serán objetos o distancias que midan a partir de 15x15 m. Entre mayor sea la resolución o la información contenida por píxel cuadrado, serán más los detalles que se vean en las imágenes (Figura 6).

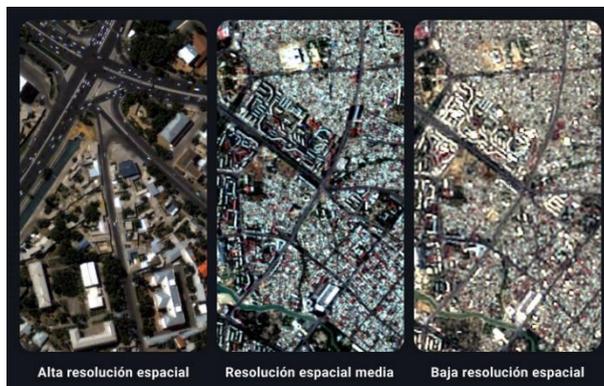


Figura 6. Diferentes niveles de resolución espacial.

Otro tipo de resolución es la espectral, es decir la capacidad de un sensor para capturar y distinguir longitudes de onda del total del espectro electromagnético. Indica el número y ancho de las bandas en las que el sensor puede captar la radiación de los objetos observados. A mayor resolución espectral más se limita el rango de longitud para una banda en particular (Sobrinó *et al.* 2000).

Un sensor será más óptimo cuantas más bandas del espectro proporcione ya que esto facilita la caracterización de la diversidad de cubiertas de la corteza. Esto se relaciona directamente con el objetivo del diseño y los resultados deseados, ya que habrá trabajos que no requieran muchas bandas o amplitud de ellas, como, por ejemplo, para fines meteorológicos; debido a que las nubes no tienen diferencias cromáticas, no requieren más de una banda en el espectro visible; por otro lado, dos bandas en el espectro térmico o en infrarrojo medio aportarían mayor información al estudio (Chuvienco, 1996).

La resolución radiométrica, por otro lado, se define como la sensibilidad de un sensor para detectar variaciones en la radiancia; esto es, la gama de valores de brillo disponibles e indicada por el número de bits (dígitos binarios) y que representa el alcance máximo de niveles digitales (ND). En otras palabras, es el número de tonos de grises que el sensor es capaz de diferenciar (Hernández, 2011). Comparando los niveles de grises, es decir, los ND, por ejemplo, para una imagen de 8 bits, la resolución radiométrica puede obtener valores de 0 a 255. Cuanto mayor sea la precisión radiométrica, mejor se interpretará una imagen.

Existe otro tipo de resolución que es la temporal, esta describe el tiempo necesario para volver a visitar la misma zona en la tierra, es decir, la periodicidad con la que el satélite adquiere las imágenes de una misma superficie de la tierra (Chuvienco, 1996). Esto de acuerdo a que existen sistemas más dinámicos que otros, como lo son el movimiento de nubes, en comparación de montañas u otros objetos. Así también, depende del país de origen y misión del satélite, y cuales sean los fines de su recopilación de datos.

6.1.4 Satélites

Actualmente, los sensores de los satélites se encuentran constituidos por matrices en la cual las celdas representan un píxel (depende de la resolución espacial del sensor), dichas celdas registran la radiación recibida y almacenan los píxeles en información digital (ND). La posición de cada píxel representado determina un eje X y Y en una escala de grises que depende del número de bit.

Los sensores óptico-electrónicos tienen resoluciones espectrales y espaciales diversas de acuerdo a los objetivos para los cuales fueron diseñados (Hernández, 2011). A continuación, se despliega información con las características generales de los tipos de satélites Landsat, particularmente las misiones 7 y 8 (Tabla 1 y 2).



Figura 7. Satélite Landsat

6.1.4.1 Landsat

En el año de 1972 Estados Unidos lanzó el primer satélite de la serie *Earth Resource Technology Satellite* (ERTS), una familia de satélites a la cual llamaron LandSat, para el monitoreo de recursos terrestres. Hoy en día se trata de una misión administrada por la NASA y el Servicio Geológico de EE.UU. y se ha convertido en una de las fuentes de

información más empleadas a nivel global por el acceso libre a su información.

Los primeros satélites tenían forma de mariposa, con dimensiones de hasta tres metros y con un sensor *Multispectral Scanner* (MSS) con tres cámaras vidicón; la radiancia recibida por el sistema focal se transmitía a un sistema óptico que lo descompone en cuatro bandas. Los posteriores denominados Landsat 4 y 5 tenían un tipo de sensor *Thematic Mapper* (TM) de siete bandas espectrales y con una resolución espectral de 30 m, lo que les permitió mayor sensibilidad a las aplicaciones terrestres y costeras, detectando turbideces y contaminantes del agua, contenido de humedad en plantas y suelo y focos de calor (Chuvieco, 1996).

Por otro lado, el Landsat 7, que fue lanzado en 1997, incluyó un sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) con ocho bandas espectrales:

Tabla 1. Características del satélite Landsat 7

Banda	Rango en micrómetros
Azul	0.45-0.52
Verde	0.52-0.60
Roja	0.63-0.69
Infrarrojo cercano	0.77-0.90
Infrarrojo de onda corta	1.55-1.75
Térmico	10.40-12.50
Infrarrojo medio	2.08-2.35
Pancromático	0.52-0.90

Posteriormente e iniciando el siglo XXI, llegó Landsat 8 en 2013, que implementó un sistema con dos sensores, uno llamado *Operational Land Imager* (OLI) y el otro *Sensor Infrarrojo Térmico* (TIRS), con una banda en resolución espacial pancromática de 15 metros y las demás multiespectrales de 30 metros.

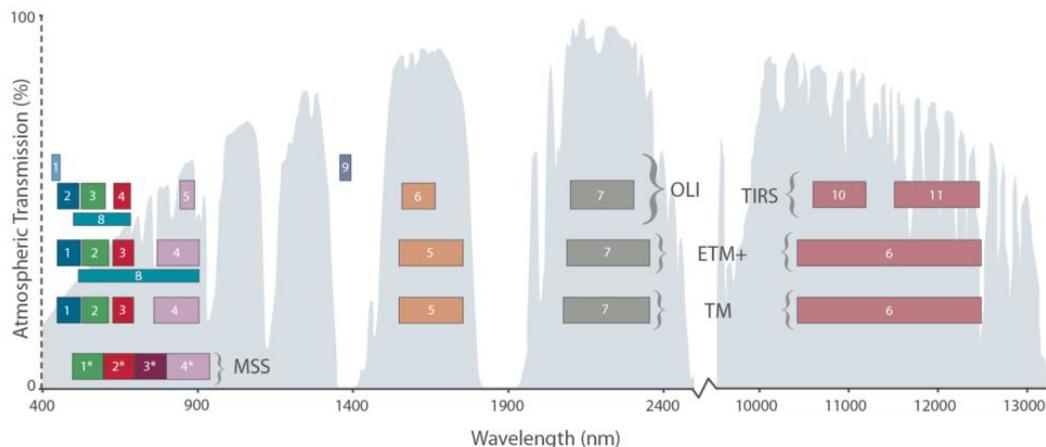
Tabla 2. Características del satélite Landsat 8.

Sensor OLI		Sensor TIRS	
Bandas	Rangos en micrómetros	Bandas	Rangos en micrómetros
Aerosol costero	0.43 - 0.45	Infrarrojo térmico (TIRS 1)	10.60 - 11.19
Azul	0.45 - 0.51		
Verde	0.53 - 0.59		
Roja	0.64 - 0.67		

Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	Infrarrojo térmico (TIRS 2)	11.50 - 12.51
Infrarrojo de onda corta (SWIR 1)	1.57 - 1.65		
Infrarrojo de onda corta (SWIR 2)	2.11 - 2.29		
Pancromático	0.50 - 0.68		
Cirrus	1.36 - 1.38		

El sensor OLI permite generar datos con precisión radiométrica en un rango de 12 bits que reduce los niveles de gris, mientras que el sensor TIRS mide la temperatura de la tierra en dos bandas. Este último, aplica el conocimiento obtenido de la física cuántica (fotodetectores infrarrojos de pozo cuántico) para detectar longitudes de onda largas de luz que emite la tierra de acuerdo a la temperatura de la superficie (Mejía y Mármol, 2023).

Existe un noveno Landsat, que fue lanzado en 2021 y cuya información también se encuentra disponible en el Servicio Geológico de Estado Unidos (USGS); no obstante, el satélite que más datos aporta y el más utilizado a la fecha es el Landsat 8 (NASA,2023).



*MSS bands 1-4 were known as bands 4-7, respectively, on Landsats 1-3

Figura 8. Comparación de los diferentes rangos de longitud de onda de las bandas Landsat.

6.1.5 Corrección de imágenes

Cuando se adquiere una imagen de un satélite, esta puede presentar varias alteraciones radiométricas y geométricas debido a varios factores; es por ello que se requiere de correcciones que consisten en solventar algún defecto en la adquisición, emisión o

recepción de las imágenes o disponerla adecuadamente para su interpretación.

Muchos de estos errores pueden tener diferentes orígenes, como las distorsiones originadas por la plataforma, que incluye aquellas que se ocasionan por alteraciones en la órbita, en la velocidad u orientación de los satélites, o las distorsiones de adquisición que se dan de forma esporádicas y son impredecibles. Otro factor a tomar en cuenta es el movimiento de la tierra; la distorsión por la rotación terrestre es debido a que el tiempo que tarda el satélite en adquirir la imagen genera reducción por el desplazamiento de la misma, o la distorsión causada por la atmósfera y los elementos que la componen, recordando que toda materia interactúa con la luz y esto intercepta la radiación original (Chuvienco, 1996). La mayoría de las correcciones radiométricas y geométricas son preprogramadas en el procesamiento de los datos o resueltas antes de poner las imágenes a disposición, sin embargo, algunas, como la corrección atmosférica son usualmente hechas por el usuario según los fines de utilización.

6.1.5.1 Corrección atmosférica

Como ya se ha mencionado en este documento, la materia que se encuentra en la atmósfera influye directamente en los datos obtenidos por parte de los sensores, esto se transforma en un problema común ya que no sólo se trata de una distorsión que elimina o modifica la información, sino que lo realiza de forma heterogénea generando puntos más alterados que otros, es así como el vapor de agua, las nubes y otros elementos como el CO₂, N₂O pueden ocasionar problemas, para ello es necesario corregir las imágenes obtenidas (Chuvienco, 1996).

Uno de los métodos es llamado corrección del histograma, que coloca un rango mínimo de absorción y resta todos los ND mínimos de esa banda. Otro método es el Método Simplificado para las correcciones atmosféricas (SMAC), donde se estima la reflectancia aparente en la cima de la atmósfera, considerando el entorno que involucra el ángulo de observación, del sol y la dirección del satélite, la transmitancia gaseosa, entre otras variables. Hoy en día por medio de herramientas y complementos en los SIG dichos cálculos son más simplificados y automáticos.

Para análisis multitemporales, como es el caso de la presente investigación, es fundamental realizar dicha corrección puesto que las interferencias atmosféricas no son las mismas entre una cierta fecha y otra, por lo que puede afectar los datos de reflectividad y de no realizarse, las imágenes pueden no ser comparables entre sí.

6.1.6 Combinación de Bandas



Los sensores multiespectrales, como es el caso de Landsat 7 y 8, son sensibles a un amplio rango del espectro electromagnético que clasifican en diferentes bandas espectrales (μm). Cada banda presenta mayor o menor sensibilidad a cierto tipo de cobertura de la tierra; lo que permite, ya en el procesamiento, seleccionar una o combinar bandas para generar imágenes de acuerdo a lo que se quiera resaltar o discriminar, dependiendo de las necesidades y el objeto de investigación.

La banda de azul profundo/violeta, por ejemplo, presente solo en Landsat 8, tiene mayor sensibilidad para los estudios costeros pues detecta muy bien las partículas de polvo o humo en el aire y agua. Por otro lado, las bandas espectrales del infrarrojo de onda corta son útiles para las rocas y los suelos, a diferencia de la banda *cirrus* (Landsat 8), que identifica nubes y presenta el rango más estrecho, provocando que la tierra aparezca invisible (Chuvieco, 1996).

El máximo de bandas que se pueden combinar es tres, que pasan por los canales de los tres colores primarios RGB (azul, verde y rojo). Se pueden agregar estas tres bandas del espectro visible para generar una combinación en “color normal”. O introducir las demás bandas para crear composiciones en “falso color”; por ejemplo, la banda de infrarrojo cercano (banda térmica) que presenta mayor sensibilidad para la clorofila contenida en las plantas, en combinación con la verde y la roja, permiten visualizar las masas vegetales con mayor precisión, así como láminas de agua, ciudades, entre otras, de ahí que se haya empleado profundamente en diversos estudios de análisis visual (Chuvieco, 1996).

6. 2 Sistemas de información geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una herramienta integradora que utiliza la georreferencia de los elementos espaciales para realizar trabajos de análisis, evaluaciones, lecturas y comparativa de datos por medio de un software y un hardware diseñado específicamente para la manipulación de datos cartográficos. Las herramientas de los SIG funcionan como:

Integradoras de información. Muchas herramientas y programas trabajan con gran diversidad de datos y formatos; los SIG presentan la cualidad de integrar diversos formatos de datos y de diversa naturaleza, permitiendo que sin importar el origen de la información esta pueda ser acoplada y adaptada a la necesidad del estudio.



Integradoras de tecnología. Los SIG no sólo se limitan a la tecnología que representa en sí misma, sino que es capaz de gestionar los resultados de la implementación de otras tecnologías como lo son satélites, GPS, cámaras, coordenadas, programación, entre otras, mismas que amplían sus capacidades y alcances.

Integradoras de disciplinas. Al tratarse de un conjunto de información que tiene su origen en la georreferencia, los SIG requieren de diversas disciplinas que forman un marco conceptual enriquecedor. Involucra una alta gama de ciencias como lo son las matemáticas, la estadística, la geografía e informática, ya que su uso no sólo se basa en describir los elementos sino de entender las características fundamentales de los sistemas y su relación con los datos.

Los elementos base para el funcionamiento de los SIG se basan en cinco pilares fundamentales; los datos, la metodología, el Software, el Hardware y las personas. Los datos son el material crudo que se encuentra disperso, son quienes brindarán la información vital. La metodología es el conjunto de técnicas que se deberá aplicar para el ordenamiento, procesamiento y análisis de los datos. El Software y Hardware son los medios para la aplicación y ejecución del procesamiento de la información. Finalmente, la persona, quien a partir de estos elementos efectuará los diseños y definirá el enfoque, unificando todos los elementos antes mencionados (Olaya, V. 2014).



Figura 9. Elementos de los SIG. (Elaboración propia)

Las SIG son herramientas de medición, para ello se requiere entender cómo funciona la georreferencia y las metodologías empleadas para la obtención de datos que manifiesten la realidad. Para ello es necesario el entendimiento de la geodesia, la ciencia que se encarga de estudiar la tierra; partiendo del hecho de que la tierra no es plana, por ende, los puntos en un plano dimensional sufren de alteraciones que deben ser consideradas al momento de trabajarlos.

Existe otro sistema que también utiliza la información georreferenciada para la ejecución de trabajos, conocido como Diseño Asistido por Ordenador (CAD), muy utilizado en la arquitectura. Sin embargo, estas aplicaciones suelen estar limitadas por la mala disposición de trabajo en zonas extensas, pues no se suelen emplear conceptos de geodesia para dimensiones tan reducidas en donde georreferenciar muros o casas no requiere de considerar la forma de la tierra; no obstante, cuando hablamos de SIG y de extensiones grandes de terrenos es muy importante añadir la variabilidad de la forma del planeta, por ejemplo, para los ríos, las montañas o rutas migratorias de aves.

6.2.1 Geodesia

Es importante partir desde el concepto de que la tierra no es ni plana ni redonda, la tierra es un *geoide*. Dentro de la geodesia hay diversos modelos que tratan de plasmar la complejidad de la superficie terrestre para establecer un sistema de referencia, que dicte

coordenadas de alta precisión, simples y de fácil manejo. Estos modelos utilizan un Sistema de coordenadas, que son creaciones artificiales que permiten definir la posición espacial de un objeto o fenómeno; su elección y uso van de acuerdo a conveniencia ya que todos son admisibles.

No obstante, los más utilizados son las *coordenadas geográficas*, que se utilizan en una superficie esférica tridimensional para definir las en la superficie terrestre por medio de la Longitud y la Latitud. La primera es el ángulo medido al respecto de un meridiano central llamado el meridiano de Greenwich, cuyas líneas verticales se les llama meridianos; por otro lado, la latitud es el ángulo medido desde el centro de la tierra hacia el norte de forma horizontal, formando líneas denominadas paralelos tomando al Ecuador como la línea cero. El cruce de ambas genera redes de coordenadas (Fernández, 2001).

6.3 Cambio de uso de suelo (CUS)

El CUS es la remoción total o parcial de la vegetación de los terrenos asociado a actividades humanas, como puede ser la agricultura, ganadería o usos comerciales y de vivienda. El CUS puede darse en terrenos considerados como forestales o de importancia biológica, permitidos o no por los programas de ordenamiento territorial y ecológico. Los cambios en un territorio pueden identificarse empleando métodos de revisión cartográfica y sistemas de información geográfica; identificando así de forma remota las áreas que han sufrido alguna alteración (Pineda, 2011).

6.4 Áreas Naturales Protegidas

De acuerdo a la legislación del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave (Ley Número 62 Estatal de Protección Ambiental, 2010), las ANP son:

Zonas del territorio estatal y aquellas sobre las que el Estado ejerce su soberanía y jurisdicción en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas o restauradas y están sujetas al régimen previsto en la presente Ley con el fin de preservar e interconectar ambientes naturales; salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres; lograr el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y mejorar la calidad del ambiente en los centros de población y sus alrededores.

Dicho lo anterior, es pertinente entender que dichas áreas están dispuestas a la conservación de su hábitat, siendo zonas de regulación ambiental importante para la región donde se ubican.

6.5 Vehículo aéreo no tripulado (VANT)

Los vehículos aéreos que son controlados de forma remota reciben el nombre de VANT o



por su nombre en inglés *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS); en México también son conocidos como Sistema de Aeronave Tripulada a Distancia, aunque comúnmente se les denomina DRON. La palabra DRON proviene de la palabra en inglés *Drone*, que hace referencia al zumbido que generan las abejas, por lo tanto, en el año de 1935 cuando se buscaba generar un vehículo parecido al que tenía Bretaña de nombre *DH 82B Queen Bee* se utilizaba la palabra Dron para referirse a dichos vehículos, esto se reforzó en 1946 durante la publicación de un artículo que utilizó el nombre Dron para referirse a las VANT que se construyeron durante la segunda guerra mundial. Desde entonces se ha utilizado el nombre Dron para referirse a los Vehículos aéreos no tripulados (Rodríguez *et al.*, 2020).

El origen de los drones data desde finales del siglo XVIII, cuando se generaron ataques utilizando globos que contenía bombas y que de forma rústica se encendían a distancia, también se utilizaron para vigilancia durante la primera guerra mundial por medio de fotografías aéreas; no obstante, debido a la falta de tecnologías los sistemas eran sencillos y sus aplicaciones limitadas, fue en 1918 cuando se voló el *bicho de Kettering* que era un dron biplano capaz de volar hasta 80 km con una carga de 82 kg de explosivos, mismo que al llegar a su destino se apagaba para caer en su objetivo (Martínez, 2020).

El financiamiento y desarrollo de dichos artefactos tomaron su auge en la segunda guerra mundial con el alemán Gerhard Fieseler Werke que construyó el llamado *Fieseler Fi 103* (V1) para infligir daños en las líneas enemigas, el cual contaba con un sistema barométrico que regulaba la velocidad y la altura y pesaba 2,180 kg. Por otro lado, Estados Unidos desarrolló el llamado *Radioplane OQ-2*, que fue el más utilizado por las fuerzas aéreas militares, y del cual se generaron muchos modelos a fin de mejorarlos. Años posteriores en la guerra fría y en vista de la necesidad de espiar al enemigo, Estados Unidos se dedicó a mejorar las aeronaves no tripuladas del cual nace el *MQM 57 Falconer*, que era más ágil, rápido con un sistema de control remoto y piloto automático. Desde entonces los drones el desarrollo de los drones se ha manifestado en diversos ámbitos, desde el espionaje hasta la investigación científica (Castañeda, 2019).

En nuestro país existe la Norma Oficial Mexicana “NOM-107-SCT3-2019”, esta norma clasifica RPAS de acuerdo con su peso y categoría en: a) micro (2 kg o menos), b) pequeño (de 2.1 kg hasta 25 kg), y c) grande (25 kg o más); y de acuerdo con su uso en: a) Privado Recreativo, b) Privado no comercial, y c) Comercial.

6.6 Clasificación supervisada

La clasificación de imágenes en la teledetección consiste en hacer una agrupación de los píxeles, según valores de reflectividad cercanos entre ellos, en un cierto número de clases. La clasificación se realiza en función de la utilización o investigación deseada, para este



caso en particular, de usos de suelo. Y puede ser del tipo *supervisada* o *no supervisada*.

Que no sea supervisada quiere decir que no se establece ninguna clase previa de manera manual en el SIG, solamente se determina un número deseado de clases, y luego son generadas de manera automática, usualmente mediante algoritmos matemáticos de agrupación y división. En la clasificación supervisada sí se definen las clases por el usuario, mediante la generación de áreas (polígonos) de entrenamiento que se basan en el conocimiento del terreno, trabajo de campo o interpretación de la imagen, de esta manera se le indica al SIG, una caracterización espectral de cada una de las clases.

La clasificación es usualmente realizada a partir de métodos estadísticos que analizan el conjunto de datos; con el desarrollo de los SIG, la complejidad de estas metodologías se ha reducido. Uno de los métodos más utilizados y aceptados es la clasificación de máxima verosimilitud (o de máxima probabilidad), este método asume de principio que los datos presentan una distribución normal y a partir de los vectores de medias y covarianzas de los valores de reflectividad, asigna los píxeles a las clases con mayor probabilidad de pertenencia. Este método de clasificación es el más complejo por el volumen de los cálculos, sin embargo, es el más empleado por ajustarse con más rigor a la disposición original de los datos (Chuvieco, 1996).

6.7 Manglar

Son especies vegetales que viven en comunidades costeras del tipo tropicales y subtropicales, pueden estar compuestas por especies halófilas o halófitas facultativas que poseen características ecofisiológicas distintivas; tales como raíces aéreas, viviparidad, filtración y fijación de algunos tóxicos, mecanismos de exclusión o excreción de sales. Alrededor del mundo podemos encontrar más de 50 especies diferentes de mangles, y en México podemos encontrar 7 especies siendo las más representativas 4 de ellas: *Conocarpus erectus*, *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*.

El mangle se considera como un mercado biológico ya que se trata de hábitats con mucha dinámica de complejas cadenas tróficas y de diversidad de especies. Son especies que frecuentemente son amenazadas por el crecimiento poblacional y actividades antropogénicas como la agricultura, ganadería y turismo, tan vulnerables ante el cambio global que se vio la necesidad de crear un *Sistema de Monitoreo de Manglares* el cual analiza el estado actual de los mangles a nivel nacional; utilizando la fotodetección a través del satélite Sentinel-2 de la Agencia Espacial Europea. En México se distribuyen seis especies de mangle que a continuación se desglosan.

Tabla 3. Especies de mangle que se distribuyen en México

Nombre común	Nombre científico	Status NOM-059-SEMARNAT-2010
Mangle rojo	<i>Rhizophora mangle</i>	Amenazada (A)
Mangle blanco	<i>Laguncularia racemosa</i>	Amenazada (A)
Mangle Botoncillo	<i>Conocarpus erectus</i>	Amenazada (A)



Mangle negro	<i>Avicennia germinans</i>	Amenazada (A)
Mangle caballero	<i>Rhizophora harrisoni</i>	N/A
Mangle bicolor	<i>Avicennia bicolor</i>	N/A
Mangle Botoncillo peninsular	<i>Conocarpus erectus var. sericeus</i>	N/A

El mangle rojo, negro, blanco y botoncillo de acuerdo con la **NOM-059-SEMARNAT-2010**, se encuentran en la categoría de Amenazadas (A) debido a las amenazas que presentan por la deforestación; a pesar de que representan el 11% del golfo de México y cubren una extensión de 36,237 hectáreas dentro del estado de Veracruz (CONABIO, 2009). Además, se encuentran protegidas por el artículo 6to TER de la Ley General de vida Silvestre que prohíbe cualquier cambio que afecte su integridad.



Mangle rojo



Mangle blanco



Mangle negro



Mangle botoncillo

Figura 10. Especies de mangle que se encuentran en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

6.8 Fragmentación

Es la situación en la que puede llegar a verse un hábitat continuo cuando es dividido en

parches o fragmentos más pequeños y aislados; separados por barreras biológicas o antropogénicas (G. Richard, *et.al.* 2021). La fragmentación genera la pérdida de la conservación de la flora y fauna debido a que genera la distribución discontinua; en muchos casos es causada por la expansión de la mancha urbana o áreas de cultivo y ganado. Cuando un hábitat es fragmentado se produce un cambio progresivo en la configuración del paisaje, generando pérdida en cantidad, reduciendo el espacio para las poblaciones de los animales de vida silvestre y especies nativas de vegetales, lo que causa que a largo plazo pueda haber extinción del paisaje ya que muchas de las especies originarias se ven afectadas (Santos, 2006).

6.8.1 Métricas de paisaje para medir la fragmentación

Las métricas o índices de paisaje, son herramientas ampliamente utilizadas en los estudios de ecología del paisaje para conocer sus propiedades de composición (tipos de elementos que forman parte del paisaje) y configuración (disposición espacial de dichos elementos) (Benavente, 2010). Así entonces, son evaluados elementos como forma de los fragmentos y tamaño, presencia de corredores y su conectividad, así como distribución. El análisis temporal de dichos elementos también es importante pues permite monitorear durante un cierto periodo de tiempo el comportamiento del hábitat y especies del mismo, así como la intervención antrópica y grado de presión ejercida en un Sistema Ambiental.

El principal impacto al paisaje es causado la mayoría de veces por un régimen sostenido de disturbios antrópicos, y se manifiesta en la fragmentación de los ecosistemas matrices y en la pérdida de conectividad de los corredores que los comunican (Briceño, 2023). Dicho lo anterior, ciertos autores desde la ecología del paisaje, han propuesto métricas que puedan ayudar a medir este tipo de impactos. Hay un gran número de índices propuestos que contribuyen a cuantificar la complejidad de la fragmentación; en el presente estudio concierne el estudio de cuatro de ellos: Índice de diversidad de formas de Patton, Índice de fragmentación, Índice de presión circundante y Distancia media al vecino más próximo. Estas aproximaciones son importantes para establecer políticas para el uso ordenado del suelo y crecimiento urbano, y trazar las estrategias de conservación y restauración de ecosistemas (Briceño, 2023).



2024
AÑO DE
Felipe Carrillo
PUERTO
GOBIERNO DEL PROLETARIADO,
DESARROLLO Y DEFENSA
DEL PAÍS

7. MARCO DE REFERENCIA.

7.1 Antecedentes

7.1.1 Arroyo Moreno

El Área Natural Protegida denominada Reserva Ecológica Arroyo Moreno (REAM), bajo la modalidad estatal de Conservación Ecológica, tiene una superficie decretada de 287 -09-50 hectáreas, incluidas en la declaratoria del 25 de noviembre de 1999 (Gobierno del Estado de Veracruz, 1999); mismo que en 2008 se actualiza para nombrarla como Reserva Ecológica. Se localiza entre los 19° 05' y 19° 08' de latitud Norte y los 96° 06' y 96° y 09' de longitud Oeste. (Álvarez, 2002). La mayor parte del área se ubica dentro de los límites del Municipio de Boca del Río y una porción menor en el Municipio de Medellín de Bravo. Arroyo Moreno colinda al norte y al este con las colonias Ricardo Flores Magón, Río Jamapa, Fraccionamiento la Tampiquera, Graciano Sánchez, Miguel Alemán, Plan de Ayala y Venustiano Carranza, mientras que al sur y al oeste colinda con pastizales para el ganado (Garybay Pardo, 2006).

A nivel nacional, los humedales constituyen un aproximado de 770,057 hectáreas; Arroyo Moreno se trata de un bosque de mangle del tipo ribereño que conforma el sistema de transición entre el ambiente marino y el terrestre, el cual se encuentra delimitado por la mancha urbana. Se considera el único pulmón arbóreo natural perteneciente a una zona conurbada ya que provee al ambiente de muchos servicios como lo son la filtración de aguas, refugio de especies, zonas ricas de alimento y refugio para larvas. No obstante, pese a pertenecer a unos de los hábitats más importante para las zonas costeras y que contribuye al flujo de energía entre el mar y la tierra, este se ha visto amenazado por la alta tasa de deforestación, el crecimiento de la mancha urbana, la introducción de especies exóticas, contaminación y cambio climático.

Durante muchos años, por las particularidades y beneficios ambientales de la zona, Arroyo Moreno ha sido un sitio preferido por las universidades locales, gobierno estatal y federal para desarrollar estudios e investigaciones, enfocadas a las problemáticas ambientales que enfrenta la ANP. Algunos estudios realizados son:

CONABIO (2010): Realizó unas fichas técnicas sobre Arroyo Moreno, en la cual identifica las generalidades ambientales de la zona obteniendo listados de flora, fauna, así como de porcentaje de extensión y disminución de usos de suelo. En ella describe a Arroyo Moreno como una zona cálido-húmedo con una temperatura media anual mayor a 22°C y menor a 18°C. Perteneciente a la llanura costera veracruzana, la cual tiene tipos de suelo regosol (13.3%) y vertisol (86.7%).



Perteneciente a la cuenca y subcuenca del Río Jamapa, la REAM se caracteriza por ser un sistema costero estuarino con subsistema intermareal de clase humedal arbóreo. El tipo de vegetación con el que cuenta es popal, selva baja caducifolia, vegetación de dunas costeras y vegetación halófila. En la Tabla 4 se desglosan los usos de suelo de la ficha de 2010.

Tabla 4. CUS y Vegetación en la REAM, 1976-2010 (CONABIO, 2010).

Clase/Año	1976		2005		2010		Ganancias - Pérdidas (1976 a 2005)	Ganancias - Pérdidas (2005 a 2010)
	ha	%	ha	%	ha	%	Netas (+/-)	Netas (+/-)
1. Desarrollo antrópico	1417	14	4229	43	4702	47	2812	473
2. Agrícola-Pecuaria	4862	49	4293	43	3831	39	-568	-462
3. Otra vegetación	2405	24	668	7	584	6	-1736	-84
4. Sin vegetación	59	1	13	0	13	0	-47	0
5. Manglar	267	3	315	3	308	3	48	-7
6. Manglar perturbado	0	0	0	0	0	0	0	0
7. Otros humedales	820	8	268	3	319	3	-553	51
8. Cuerpos de agua	94	1	138	1	167	2	44	29

Álvarez (2002) en su tesis de maestría titulada “Análisis de la evolución del manglar de Arroyo Moreno durante los últimos 40 años utilizando un sistema de información Geográfica (SIG)”; logró observar los porcentajes de pérdida de manglar en la zona entre los años 1960 a 2001 y de igual forma calculó una tasa de deforestación total por los años analizados.

Garibay (2006) realizó en Arroyo Moreno un estudio sobre “Desarrollo Comunitario: Base para las propuestas de conservación y manejo del manglar Arroyo Moreno”, en el cual logró identificar diferentes problemas a los que se enfrenta el ANP, y para los cuales ofrece alternativas de atención.

Peña (2022), por parte del Instituto Tecnológico de Boca del Río, realizó su tesis acerca de “Inteligencia artificial para la identificación de fuentes puntuales de contaminación en Arroyo Moreno, Veracruz”; en la cual realizó la identificación y mapeo de las principales fuentes puntuales de contaminación utilizando un vehículo aéreo no tripulado (DRON).

7.1.2 Tembladeras-Laguna Olmeca

El Área Natural Protegida con la categoría de Reserva Ecológica Tembladeras-Laguna Olmeca (RETLO) se localiza dentro del Estado de Veracruz, en la Llanura Costera Veracruzana, en la vertiente del Golfo de México, dentro de los municipios de Veracruz y Medellín. Está limitada por las coordenadas 19° 09' 30" latitud Norte, 96° 11' 23" longitud Oeste en el extremo noroeste y 19° 05' 09" latitud Norte, 96° 08' 41" longitud Oeste hacia el extremo sureste.

La Reserva Ecológica de Tembladeras-Laguna Olmeca a lo largo de los años ha tenido diversos decretos que han ido transformado tanto su extensión como su nombre; el primero fue el 26 de noviembre del 2010, el nombramiento se publicó en la Gaceta Oficial del Estado de Veracruz como Reserva Ecológica Tembladeras, misma que presentaba una extensión de 228-20-44.36 ha.

En años posteriores extendió su superficie bajo el decreto Número 273 en 2011, y en el mismo año, pero en el decreto Número 313, se unificó como un Área Natural Protegida en la categoría de Reserva Ecológica a la zona de Tembladeras y la Laguna Olmeca, misma que formaba parte del sistema de Lagunas Interdunarias de la ciudad de Veracruz, categorizadas como sitios Ramsar, convirtiéndose en Reserva Ecológica Tembladeras-Laguna Olmeca (Gobierno del Estado de Veracruz, 2011).

En el 2014, tras un análisis realizado por medio de la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA) por medio de la teledetección y tecnología LIDAR, (por sus siglas en inglés: *Laser Imaging Detection and Ranging*) obtenidas de INEGI y de la Universidad de Maryland, se determinó que el humedal abarcaba una mayor superficie que la que se establecía en el decreto del 2011, ya que este contenía una corriente de agua que funciona como vaso regulador hacia otra ANP denominada Arroyo moreno, mismas que contribuyen a prevenir inundaciones. Por lo cual, bajo el decreto Número 273 se modificó la superficie del ANP denominada Reserva Ecológica Tembladeras-Laguna Olmeca, del municipio de Veracruz, para quedar con un total de 1,415.0000 ha. ■

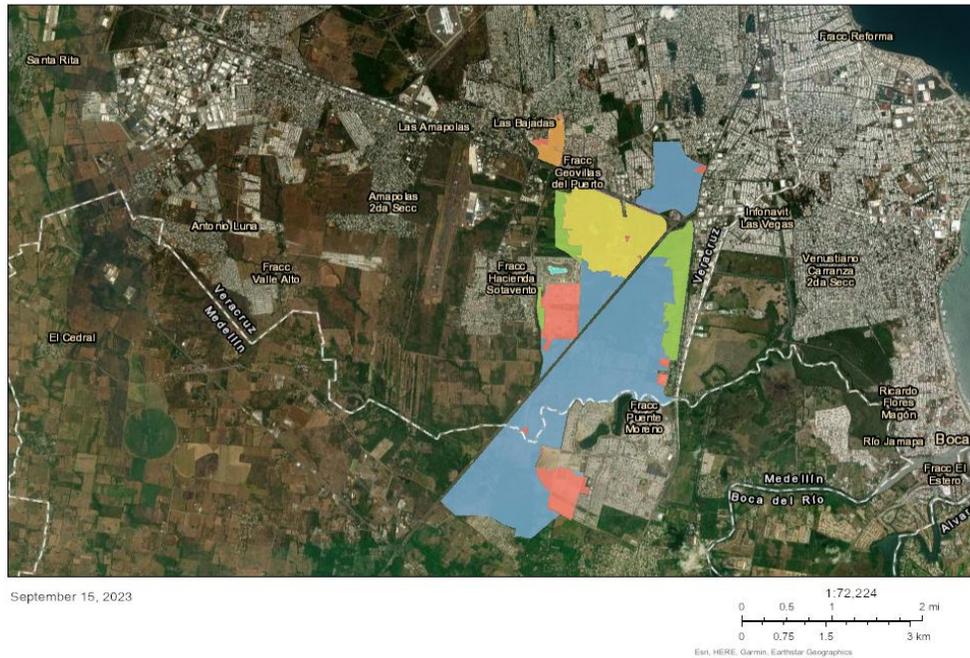


Figura 11. Imagen obtenida en la página oficial de la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA) del Estado de Veracruz del año 2017. Los colores azules representan las áreas de aprovechamiento sustentable, los rojos son asentamientos humanos, el amarillo es de uso restringido y los verdes para las zonas de preservación, el naranja son las zonas de recuperación.

Dentro del programa de Manejo de áreas Naturales Protegidas se dividió a la RETLO en zonas definidas de forma permanente, las cuales se describen a continuación.

Zona núcleo: área donde se presenta agua, con hábitat críticos que contiene especies de flora y fauna sujetas a protección especial. Es el área que mayor resguardo debería tener.

Zonas de amortiguamiento: áreas de protección de la zona núcleo, mismas que han sufrido Cambio de Uso de Suelo, y que pueden ser aprovechados por la comunidad bajo ciertas limitaciones.

La Reserva se compone por cuatro polígonos que forman una zona de humedales, la cual incluye a la laguna Olmecca, laguna Las Bajadas, Tembladeras y el Polígono Este, mismos que se encuentran incrustados entre Veracruz, Boca del Río y Medellín. También se caracteriza por tener un clima cálido subhúmedo, temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C, con precipitaciones del mes seco entre 0 y 60 mm. Los suelos predominantes son vertisol y arenosol.

De acuerdo con el Sistema de Información Geográfica para la Evaluación del Impacto Ambiental (SIGEIA, 2023), el polígono de la ANP se localiza en el acuífero Costera de Veracruz. Se encuentra dentro de la Región Hidrológica del Río Jamapa (el cual nace en

las faldas del volcán Pico de Orizaba hasta desembocar en el Golfo de México) dentro de la subcuenca del Río Jamapa (RH28Bb), que es del tipo abierta.

Son pocos los estudios que se han realizado respecto a la RETLO, por lo tanto, la información al respecto es limitada; dichos estudios se han centrado particularmente en los sistemas lagunares, por ejemplo, en la Laguna Olmeca. No obstante, para el presente estudio no se consideró a la Laguna Olmeca debido a que se encuentra en el lado opuesto de la carretera Xalapa-Veracruz, fuera del polígono definido para el Sistema ambiental. Por este motivo, a pesar de que la laguna pertenece a la ANP, no se considerará en los resultados.

Reyes (2020) realizó un estudio llamado “Factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en *Eichhornia crassipes* de la Laguna Olmeca, Veracruz” donde estableció una línea de investigación para la fitorremediación in situ, para el tratamiento de agua contaminado por metales pesados, encontrando que el lirio acuático puede presentar un servicio fitorremediador natural.

Celic (2022) realizó un estudio denominado “Valor Social, económico y ambiental de las lagunas Interdunarias de la ciudad de Veracruz, México”, en donde evaluó los valores ambientales, sociales y económicos de cinco lagunas, entre ellas a la laguna Olmeca. Concluyó que las lagunas han sido afectadas por el crecimiento de la población por medio de asentamientos irregulares, falta de políticas, vacíos legales y cambio climático.

Vidal et al. (2022) publicaron en la revista *Journal of Basic Sciences* el artículo “Indicador de la calidad del agua, caso de estudio: Laguna Olmeca, Veracruz, México”, donde se obtuvieron los índices de calidad del Agua (ICA) para compararlos con años pasados; obtuvieron que la Laguna Olmeca presenta altos índices de contaminación, sobrepasando los límites permisibles dentro de la NOM-001-SEMANART-1996 y la NOM-127-SSA1-1994.

Reyna et al. (2022) publicaron en la revista *Internacional de Contaminación Ambiental*, parte de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, la Universidad Veracruzana y la Universidad Nacional Autónoma de México, el artículo “Incorporación del análisis espacial para la caracterización de residuos y su impacto en el sistema de lagunas Interdunarias de la ciudad de Veracruz, México” en donde hicieron uso de las SIG para delimitar las lagunas donde se caracterizaron los residuos que se vierten. En Laguna Olmeca se reportó un alto índice de Residuos Sólidos Urbanos.

7.2 Área de estudio.

El lugar en el cual se desarrolló el presente estudio es la zona costera asociada a los manglares, humedales y lagunas en la zona conurbada de Boca del río y Veracruz, en la cual existen dos áreas naturales protegidas de carácter estatal (ANP) que son la Reserva



Ecológica Arroyo Moreno (REAM) y la Reserva Ecológica Tembladeras-Laguna Olmeca (RETLO).

La REAM colinda con poblaciones como Laguna Real, Geo Villas del Puerto, Hacienda Sotavento, Casas Palenque, Fraccionamiento Bonetera, Pueblo Nuevo, Mata de Pita, Francisco Villa y Arboledas San Ramón; mientras que la RETLO colinda con los municipios de Veracruz y Boca del Río.

Se ha definido un área de estudio como un sistema ambiental regional, contemplando su asociación y relación con la zona de manglares de la REAM. La definición del Sistema ambiental se hizo con base a los parámetros definidos por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en sus guías para la Evaluación de Impacto Ambiental regionales; que lleva el objetivo de definir una representación física con límites claros para ser objetos de descripción ambiental. En este sentido se tomaron en cuenta ambas reservas ya que una alberga la zona de mangle, pero la otra funciona como un vaso regulador que administra recursos a la zona costera.

7.2.1 Descripción del área de estudio

El polígono definido para el estudio tiene un aproximado de 4,550.71 hectáreas y se ubica entre los municipios de Veracruz, Boca del Río y Medellín (Figura 11). Las coordenadas UTM de los vértices de extensión del polígono son 794801.765711, 2111420.720572; 804017.264684, 2119794.332074. En el aspecto hidrológico, pertenece a la subcuenca del Río Jamapa y se localiza entre el río Jamapa (al sur de Arroyo Moreno) y río San Francisco (hacia Tembladeras).

El Sistema Ambiental tiene un clima cálido-Subhúmedo (Aw2) (CONABIO, 2010), con una temperatura media anual mayor de 22°C y la menor de 18°C; la precipitación anual para el año más seco es de 0 entre 60 mm con lluvias de verano con índice P/T mayores a 55.3. Los tipos de rocas en su mayoría son areniscas-conglomeradas del tipo de suelo vertisol.

Los usos de suelo presentes son asentamientos humanos, agrícola-pecuario, agrícola temporal, de vegetación hidrófila, humedales, y selva baja caducifolia. Por otro lado, se encuentra en una localización en donde se reportan sequías severas.

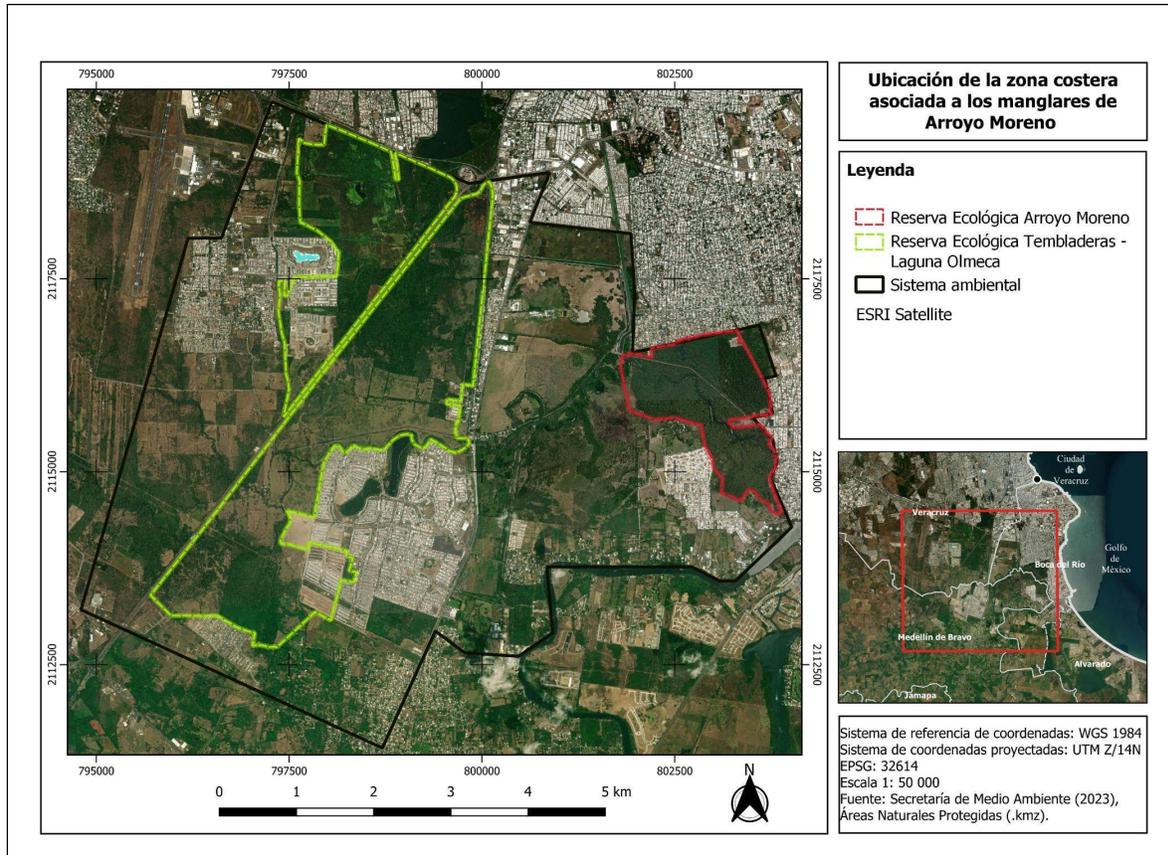


Figura 12. Delimitación del sistema ambiental, dentro la Reserva Ecológica Arroyo Moreno (REAM) y Reserva Ecológica Tembladeras-Laguna Olmeca (RETLO).

El Sistema Ambiental se encuentra rodeado por las manchas urbanas de tres municipios que se encuentran en constante desarrollo y crecimiento. Cabe resaltar que, además de encontrarse dos áreas naturales protegidas de competencia estatal, también está presente un Área de Importancia Internacional para la Conservación de Aves (AICA) denominada Centro de Veracruz (AICA 150), que se considera una región crítica para aproximadamente 236 especies de aves migratorias (CONABIO, 2015).



2024
AÑO DE
Felipe Carrillo
PUERTO
GOBIERNO DEL PROLETARIADO,
DESARROLLO Y DEFENSA
DEL PAÍS

8. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

8.1. Situación problemática.

La preservación del medio ambiente es de suma importancia para la calidad de vida humana ya que, la contaminación del aire, del agua, y la industrialización han generado el desgaste de la capa de ozono además de que son la causa de enfermedades respiratorias, intoxicación por aguas contaminadas, infecciones virales, y hasta cancerígenas (Vargas, 2005). Parte de preservar el medio ambiente es procurar mantener los hábitats en equilibrio.

En los últimos años ha habido una reducción considerable de los hábitats naturales, así como el incremento de las especies vulnerables o sujetas a protección ambiental. Veracruz, que se localiza entre la Sierra Madre Oriental y el Golfo de México, es conocido por ser el tercer estado de mayor diversidad, únicamente siendo rebasado por los estados de Chiapas y Oaxaca; cuenta con 18 tipos de vegetación, más de 8,000 especies vegetales y 1,500 de vertebrados, lo que lo convierte en uno de los estados más diversos del país. No obstante, también es uno de los que presenta mayor tasa de deforestación anual por la transformación de la cobertura vegetal para la ocupación de los terrenos con actividades agrícolas, ganaderas y asentamientos humanos (SEDARPA, 2003).

Uno de los mayores problemas que enfrenta la preservación del medio ambiente es la deforestación y el CUS que generan fragmentación del hábitat derivados de la expansión de las actividades antropogénicas para uso ganadero, agrícola o para la expansión y crecimiento de las ciudades. Se estima que México debería tener una cobertura vegetal de 0.7 ha *per cápita* en el presente pero únicamente alberga un 0.5 ha. y se estima que para el 2025 sean tan sólo 0.3 ha *per cápita*, que es menos de la mitad de lo que debería tener (Velázquez et al., 2002).

Las ANP se crearon como una estrategia para combatir y/o revertir estos problemas ambientales, dejando espacios delimitados para la conservación de los recursos naturales. Estos espacios son de vital importancia ya que proveen a las personas de servicios benéficos que sustentan la calidad de vida; pues es importante entender que todo funciona en conjunto y para tener un medioambiente equilibrado es relevante cuidar tanto la flora como la fauna, así como su hábitat.

Tan sólo en Veracruz existen 27 ANP de competencia estatal distribuidas en los municipios y abarcan una superficie de 83,439.97 hectáreas (SEDEMA, 2023). De entre ellas, el 31.25% pertenece a bosque mesófilo de montaña, el 25% a selva caducifolia, 21% a bosque de encino-pino, 18% a selvas perennifolias y un bajo porcentaje (2.1%) a humedales, particularmente manglares, los cuales en su mayoría se ven protegidos por

los sitios RAMSAR.

Muchos de los humedales son poco reflejados en las cartas de vegetación o en los Inventarios Nacionales Forestales, a pesar de que los humedales son reguladores del ciclo hidrológico, auxiliares en el tratamiento de agua salobres, además de ser reguladores de emisiones a la atmosférica, y, por lo tanto, mitigadores del cambio climático; también controlan la erosión de suelo, protegen a las ciudades de las inundaciones y son protectores contra tormentas y huracanes.

Por otro lado, también son sumamente importantes para la conservación de especies; son fuentes de hogar, alimento y funcionan como un centro de interacción de múltiples especies animales y vegetales (López *et al.*, 2010). Tomando en cuenta que las ANP apenas representan el 14.64% del territorio Veracruzano y que los humedales comprenden una baja porción entre los tipos de vegetación en ese estado de conservación, es de suma relevancia conocer las condiciones de cuidado que presentan actualmente estas áreas naturales protegidas.

8. 1. 2. Delimitación del problema.

El presente estudio consistió en identificar los cambios de uso de suelo en la zona costera asociada a los manglares de Arroyo Moreno en el periodo 2000-2023. Se tomó como base el año 2000 ya que en ese año se declaró el Área Natural Protegida “Reserva Ecológica de Arroyo Moreno”. La zona se encuentra delimitada por la mancha urbana, y a su vez, es hábitat de especies que se encuentran enlistadas por la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Las ANP consideradas para el estudio proveen a los municipios de servicios ecosistémicos y forman parte de una red importante para la conservación de muchas otras especies. Tomando las ANP como referencia, se observan los cambios de uso de suelo que se han realizado en la región, unificada como un sistema ambiental, y se analiza qué tanto contribuyen realmente las políticas ambientales en función de la conservación del mismo.

8.1.3 Planteamiento del problema.

Desde hace muchos años en México se han incorporado estrategias destinadas para la conservación que se ven reflejadas en políticas públicas. Dichas estrategias incluyen la creación de Normas Oficiales Mexicanas enfocadas a la regulación de actividades propensas a la degradación ambiental; así como las designaciones de recursos para la conservación, proyectos de restauración y los decretos para las ANP, a fin de preservar los recursos naturales, la diversidad y los ecosistemas.

No obstante, el capitalismo, el crecimiento y desarrollo de las ciudades y la lentitud con la que las leyes se actualizan han generado vacíos que propician la pérdida de diversidad,

contaminación y pérdida de cobertura. Las ANP son una herramienta que ha fortalecido la conservación, sin embargo, se da por hecho que dichas áreas permanecen intactas sin considerar el impacto que puede repercutir en ellas la actividad humana; hoy en día son pocos los estudios que se enfocan en evaluar y/o analizar el estado actual de las ANP a fin de conocer la eficacia, el grado de conservación, y el estado actual, particularmente en aquellas que se encuentran más en contacto con centros urbanos.

Es por ello que el presente estudio se centra en conocer los cambios de uso de suelo en el Sistema Ambiental que contiene la interacción de dos ANP y la conurbación Veracruz-Boca del Río, denominada de forma práctica para este estudio como la zona costera asociada a los manglares de Arroyo Moreno; lo que permitirá debatir si las ANP están preservando la naturaleza y se encuentran a salvo de los impactos negativos, o el crecimiento urbano y económico sobrepasa los esfuerzos de conservación.

8.2. Justificación.

Las políticas públicas ambientales en México son en su mayoría regulatorias y tienen el objetivo de reglamentar actividades que son propensas a la contaminación o degradación ambiental. La conformación de áreas naturales protegidas como política pública busca entre otras cosas conservar las características originales de sitios de interés ambiental.

Algunas de éstas ANP se encuentran inmersas dentro de la mancha urbana, sufriendo una presión social continua. La alta demanda de territorio para vivienda y ejecución de actividades económicas a gran escala, representan un riesgo inminente al medio ambiente y específicamente a las áreas dedicadas a la conservación; es por ello que la revisión de las tendencias de uso de suelo en las zonas de influencia de las ANP resulta innegablemente necesaria, con motivo de formular estrategias que colaboren con el cumplimiento de los objetivos de conservación en estas zonas de interés ambiental.

El Sistema Ambiental de Arroyo Moreno-Tembladeras asociado a la zona de manglares y definido como sistema ambiental para este estudio se encuentra conformado por dos ANP que interactúan con la mancha urbana; motivo por el cual es necesario observar el comportamiento de las actividades antropogénicas para buscar alternativas que no incidan de forma negativa en las zonas de conservación.

8.3. Pregunta de investigación.

¿Cuál ha sido la dinámica del cambio de uso de suelo en el Sistema Ambiental de Arroyo Moreno-Tembladeras en la zona costera asociada a los manglares desde el año 2000 al año 2023?





2024
AÑO DE
Felipe Carrillo
PUERTO
GOBIERNO DEL PROLETARIADO,
DESARROLLO Y DEFENSA
DEL PAÍS

9. HIPÓTESIS.

La dinámica del cambio de uso de suelo en el Sistema Ambiental de Arroyo Moreno-Tembladeras en la zona costera asociada a los manglares, durante el periodo 2000 al 2023, consta de un incremento en la superficie en el uso antrópico y un grado alto de fragmentación del paisaje.

10. OBJETIVOS.

10.1. General.

Analizar los cambios de usos de suelo en la zona costera asociada a los manglares de Arroyo Moreno-Tembladeras durante el periodo 2000 al 2023.

10.2. Particulares.

- Evaluar el cambio de uso de suelo durante el periodo 2000 al 2023 en la zona costera asociada a los manglares de Arroyo Moreno-Tembladeras.
- Analizar los usos de suelo en el Sistema Ambiental la zona costera asociada a los manglares de Arroyo Moreno-Tembladeras.
- Obtener índices de fragmentación en el Sistema Ambiental en la zona costera asociada a los manglares de Arroyo Moreno-Tembladeras.

11. MATERIAL Y MÉTODOS.

11.1. Definición del sitio de estudio como un Sistema Ambiental.

El sitio de estudio se definió conforme a las características de un Sistema Ambiental (SA), propuesto en las guías en materia de Impacto Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente (SEMARNAT, 2022), el cual se puede delimitar de las siguientes formas:

Deberá sustentarse con los límites naturales de los elementos bióticos y abióticos existentes, así como en los procesos ecosistémicos, con los cuales interactúan las obras y actividades del proyecto, para el caso de obras y actividades en zona terrestre se podrá utilizar la regionalización establecida por las Unidades de

Gestión Ambiental del ordenamiento ecológico (cuando exista para el sitio), la zonificación de usos de suelo cuando existe un plan o programa de desarrollo urbano o la zonificación establecida en un decreto de área natural protegida, microcuencas, topoformas, entre otros.

La delimitación del SA equivale a definir la unidad geográfica de referencia para la toma de decisiones en materia de Evaluación del Impacto Ambiental. Este objetivo, pudiera homologarse al intento de definir los límites de los ecosistemas presentes en el área donde va a establecerse el proyecto, tal delimitación se concibe en términos operativos a través de la aplicación del concepto de Sistema Ambiental, el cual se circunscribe a una expresión objetiva, inventariable y cartografiable de los ecosistemas.

De manera colateral, la aplicación de este concepto intenta evitar la presentación temática y fraccionada con la que, genéricamente se describe al ambiente en los estudios de Impacto Ambiental, fraccionando a este en componentes inconexos y genéricos (suelo, aire, agua, flora y fauna, etc) para sustituirlo por información geográfica integral referida a áreas territoriales relativamente homogéneas, también llamadas por algunos autores como “unidades naturales” o “unidades ambientales”. Para efectos de nuestro marco normativo, se identifican como “Sistema Ambiental”, el cual debe entenderse como una expresión práctica del o de los ecosistemas donde se inserta el proyecto, derivada de la selección e interrelación de componentes o procesos ecosistémicos.

La delimitación del SA deberá acotarse a una poligonal, delimitada con un sistema de coordenadas que haga posible su localización cartográfica de manera objetiva y precisa. En este contexto, el polígono se definió bajo los criterios antes mencionados, integrando toda una zona de influencia que deriva en la zona costera asociada a los manglares de Arroyo Moreno, ya que todo ese polígono influye en el comportamiento de esta zona de importancia biológica.

11.2. Elección de fechas para la obtención de imágenes

El objetivo de la investigación fue tomar en cuenta un periodo de 23 años, por la amplitud del periodo se determinaron cuatro años intermedios para una mayor fiabilidad de los cambios de uso de suelo. Debido al objeto de estudio, que fue más enfocado en evaluar la superficie de manglar de Arroyo Moreno, el criterio para la selección de fechas de las imágenes satelitales para la clasificación, fue obtener insumos cartográficos que seleccionados en los meses de temporada de lluvias; esto con la finalidad de que la cobertura de vegetación estuviera lo más aproximada a lo real, y de evitar que por motivo de la temporada de secas se confundieran áreas sin vegetación con el suelo que efectivamente desnudo.

Además, también se buscó seleccionar aquellas que presentaran menor nubosidad para una mejor manipulación del área. En la Tabla 5 se muestran las fechas y el tipo de satélite

del cual fueron obtenidas las imágenes.

Tabla 5. Tipo de satélite y fechas seleccionadas para obtener la información

Satélite	Fechas
Landsat 7	09/09/2001
Landsat 7	23/10/2008
Landsat 8	16/08/2015
Landsat 8	30/08/2023

11.3. Especificaciones de los satélites

Debido al periodo de estudio que abarca la investigación, fue necesario trabajar con imágenes de dos misiones Landsat, por lo que para los dos primeros años se utilizaron imágenes de Landsat 7 y en los otros dos de Landsat 8. El satélite Landsat 7 fue lanzado en 1999 y el Landsat 8 en 2013.

Ambos productos corresponden al tipo de Productos de Nivel 1 Terrain (L1T). Estos cuentan con datos ortorrectificados y calibrados radiométricamente utilizando puntos de control terrestre (GCP) o geoposicionamiento, dando como resultado una imagen proyectada cartográficamente en el Sistema de coordenadas WGS 84. Adicionalmente los datos también contienen una corrección topográfica mediante datos del modelo de elevación digital (DEM) debido al desplazamiento del terreno debido al relieve (USGS, 2023). El formato de los datos entregados es del tipo GeoTIFF.

El satélite Landsat 7 incluye un sensor con mejora a los usados en las misiones anteriores, este contiene cinco bandas multiespectrales, una termal y una pancromática; muestra una cobertura aproximada por imagen de 183 km y una resolución radiométrica de 8 bits. Por otro lado, Landsat 8 incluye dos sensores, ocho bandas multiespectrales, una pancromática y dos termales; el tamaño aproximado de la escena es de 170 km de norte-sur por 183 kilómetros de este a oeste y la resolución radiométrica es de 16 bits. En la Tabla 6 y 7 se muestra un resumen de las especificaciones de ambos satélites.

Tabla 6. Características de los satélites utilizados

Satélite	Sensor	Fecha de operación	Número de bandas	Cobertura aproximada	Resolución radiométrica
----------	--------	--------------------	------------------	----------------------	-------------------------

Landsat 7	Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)	1999 - 2017	8	183 km	8 bits
Landsat 8	Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)	2013 - actualmente	11	170x183 km	16 bits

Elaboración propia. Fuente: USGS, 2023.

Tabla 7. Número de bandas y resolución espacial en los satélites Landsat 7 y Landsat

Landsat 7 ETM+	Resolución espacial	Longitud de onda (micrómetros)	Landsat 8 OLI/TIRS	Resolución espacial	Longitud de onda (micrómetros)
1 - Azul	30 m	0.45 - 0.52	1 - Aerosol costero	30 m	0.43 - 0.45
2 - Verde	30 m	0.52 - 0.60	2 - Azul	30 m	0.45 - 0.51
3 - Roja	30 m	0.63 - 0.69	3 - Verde	30 m	0.53 - 0.59
4 - Infrarrojo cercano (NIR)	30 m	0.77 - 0.90	4 - Rojo	30 m	0.64 - 0.67
5 - Infrarrojo de onda corta (SWIR-1)	30 m	1.55 - 1.75	5 - Infrarrojo cercano (NIR)	30 m	0.85 - 0.88
6 - Infrarrojo lejano (Termal)	60 m	10.40 - 12.50	6 - Infrarrojo de onda corta (SWIR-1)	30 m	1.57 - 1.65
7 - Infrarrojo de onda corta (SWIR-2)	30 m	2.08 - 2.35	7 - Infrarrojo de onda corta (SWIR-2)	30 m	2.11 - 2.29
8 - Pancromática	15 m	0.52 - 0.90	8 - Pancromática	15m	0.50 - 0.68
			9 - Cirrus	30 m	1.36 - 1.38
			10 - Infrarrojo térmico (TIRS 1)	100 m	10.60 - 11.19
			11 - Infrarrojo térmico (TIRS 2)	100 m	11.50 - 12.51

Elaboración propia. Fuente: USGS, 2023

Es importante mencionar que el satélite Landsat 7, desde su lanzamiento, presentó un fallo en el llamado corrector de línea de escaneo, ocasionando que los traslapes de imágenes se duplicaran; la solución fue excluir las imágenes duplicadas al momento del

procesamiento dando como resultado un vacío en el bandeo de los datos y dejando solo el 78% de píxeles restantes. Para corregir el error que presenta Landsat 7 en el bandeo, en las imágenes de los años 2001 y 2008, fue necesario “rellenar” los vacíos de datos con la carpeta anexa en la descarga del servidor USGS denominada “Gap mask”, mediante este proceso se logra hacer una interpolación de los datos para poder trabajar con la imagen completa.

11.4. Obtención de fotografías aéreas

La obtención de fotografías aéreas se realizó con el apoyo de un VANT Mavic Air 2S; dichas fotografías sirvieron para confirmar los usos de suelo en aquellas regiones en que no se tenía certeza de los mismos. Se utilizaron para conformar ortofotos, es decir, imágenes en las cuales a nivel del terreno han sido removidos los desplazamientos causados por la inclinación de la cámara o sensor, las condiciones de toma y el relieve del terreno (INEGI, 2023) pero además con una mayor resolución espacial, por lo que permiten ver los detalles del terreno con mayor precisión y de manera tridimensional.

Es por esto que mediante las fotografías aéreas la capacidad de identificación de los usos de suelo en la zona muestreada es más confiable para poder hacer una confirmación correcta. La utilidad de las ortofotos, claramente, solo fue para el año más actual, 2023.

11.4.1. Pix4D

Las fotografías aéreas fueron procesadas en el programa Pix4D, un software muy utilizado en fotogrametría que, a partir de un conjunto de imágenes con solape obtenidas por medio de un DRON o en terreno, extrae la geometría para calcular la posición de la cámara y lleva a cabo una triangulación automática. De esta manera, es posible construir ortomosaicos y modelos digitales de superficie (MDS) y del terreno (MDT) para generar cartografía 2D y modelos 3D (Grupo TYC GIS, 2023), y que luego pueden ser exportados a diferentes formatos para la aplicación de la información.

En primer lugar, se introdujeron al software las fotografías tomadas por el VANT Mavic Air 2S, que de entrada ya contienen los datos de geolocalización, así como de elevación, y se seleccionó la opción de crear cartografía tridimensional. Posteriormente, mediante una serie de pasos, se le indicó al software identificar la superposición de las imágenes, así como la “nube de puntos” (coordenadas tridimensionales) para empezar con el proceso de triangulación y crear las ortofotos. Este procedimiento se realizó para cada una de las rutas en donde se tomaron las fotografías.

11.5. Análisis de información geográfica

Se utilizaron las Cartas de Uso de suelo y Vegetación asociada a manglares, Región Golfo de México, años 2005, 2010, 2015 y 2020, descargadas en archivo tipo *shape* (.shp) del Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de CONABIO. Las

imágenes satelitales de Landsat 7 y 8 fueron descargadas del servidor del departamento de geología de Estados Unidos, su nombre en inglés es U.S Geological Survey (USGS): <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

El SIG utilizado fue el Software QGis 3.28.8 Firenze de código abierto. La clasificación supervisada por máxima verosimilitud fue realizada utilizando el complemento Semi-Automatic Classification (SCP) 7.10.11 también de código abierto y libre acceso para QGis. Este complemento cuenta con una variedad de herramientas por etapas de preprocesamiento, procesamiento y post-procesamiento para facilitar la tarea de clasificación ya sea automática o supervisada, entre las cuales están conectarse al servidor para descargar directamente las imágenes satelitales, unión de mosaicos, combinaciones de bandas, clasificación por tres algoritmos, calculadora de índices espectrales, entre otras (Congedo, 2021).

La revisión y comparación de la información geográfica fue analizada a través de la fotointerpretación de las imágenes de satélite en QGis y también apoyada en Google Earth Pro 7.3.6, ya que esta herramienta permite la visualización de imágenes de años anteriores. Se construyeron así los mapas temáticos de Uso de suelo y Vegetación de los años 2001, 2008, 2015 y 2023.

11.5.1. Corrección Atmosférica

La corrección atmosférica de las imágenes se realizó por medio del complemento SCP en el apartado de “preprocesamiento”. La información que se necesitó es la que se encuentra anexa en los metadatos del paquete de descarga del servidor USGS. Como parte del preprocesamiento también se realizó el proceso de “pansharpening”, que consiste en combinar la banda pancromática (Landsat 8) con las demás para que las imágenes mejoren visualmente la resolución espacial a 15 m, pero no se modifican los datos crudos.

En el caso de las imágenes de Landsat 7, en primer lugar, se realizó la corrección atmosférica (sin pansharpening) con el mismo procedimiento y después el proceso de interpolación o “rellenado” de las líneas vacías.

11.5.2. Combinación de bandas

A partir de las bandas corregidas se generaron diferentes archivos tipo *ráster* mediante combinaciones de bandas. Una de ellas fue la combinación del infrarrojo cercano (4, 3, 2 en L7 y 5, 4, 3 en L8), que permite detectar la vegetación verde y su estado con mayor sensibilidad.



Figura 13. Combinación en falso color de infrarrojo cercano. Las construcciones aparecen en tonos azules, las masas de agua en negro, la vegetación en tonalidades de rojo; y en rosa, vegetación poco desarrollada.

También se utilizó la NIR-SWIR 1, combinación entre las bandas del canal rojo, infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta (bandas 4, 5, 3 en Landsat 7; y 5, 6, 4 en Landsat 8). Esta es comúnmente utilizada para la detección de humedad en el suelo y la vegetación, lo que permitió distinguir de manera más práctica los humedales de manglares presentes en el área de estudio.



Figura 14. Combinación de infrarrojo cercano, de onda corta y verde. El manglar de Arroyo Moreno aparece con un color marrón oscuro mientras que el área de humedales con un marrón más tenue y la vegetación secundaria con un color naranja. Además, se diferencian bien las delimitaciones de las parcelas de uso agropecuario.

11.5.3. Clasificación supervisada

La definición de las clases de uso de suelo fue basada en las cartas de CONABIO; estas fueron 7: Manglar, Otros humedales, Desarrollo antrópico, Otra vegetación, Agrícola-pecuario, Cuerpos de agua y Sin vegetación. Posteriormente, mediante el complemento SCP se fueron creando los polígonos de entrenamiento ROI (*Region Of Interest*), se seleccionaron entre 7 y 10 polígonos por clase. A la vez, los polígonos se fueron evaluando mediante la revisión de sus firmas espectrales (Figuras 14, 15 y 16), para asegurar que no hubiera un umbral demasiado amplio que causara fallos en la clasificación.

También se fueron realizando clasificaciones previas (pruebas en pequeñas áreas) para anticipar a que una clase no estuviera correctamente clasificada y entonces quitar o agregar polígonos. Como ya se mencionó, además de la fotointerpretación, los usos de suelo se reafirmaron en Google Earth Pro y con los vuelos con VANT; a continuación, se presentan ejemplos de las firmas espectrales de algunos de los grupos revisados.

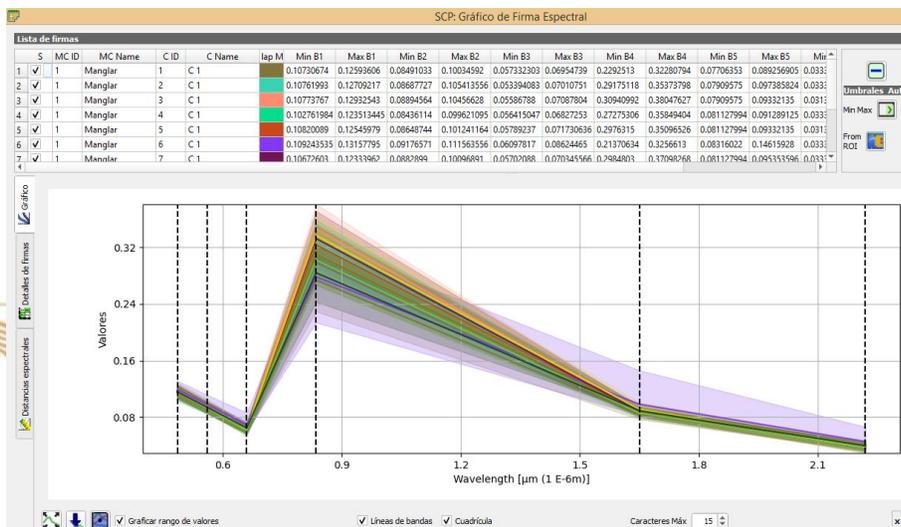


Figura 15. Firma espectral del de Manglar en Landsat 7. La línea sólida corresponde a la firma espectral y el color con transparencia a sus costados al margen en el que puede aceptar valores.

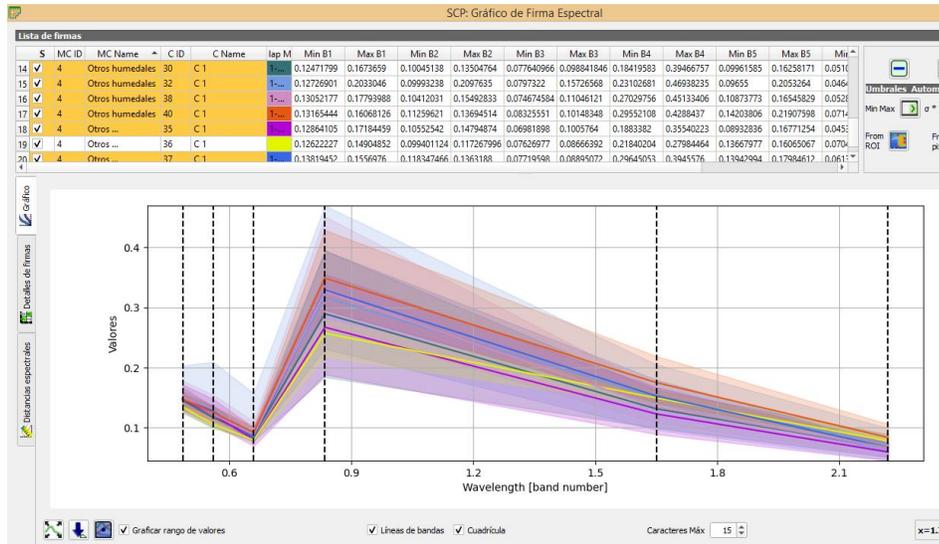


Figura 16. Firma espectral de humedales en Landsat 7.

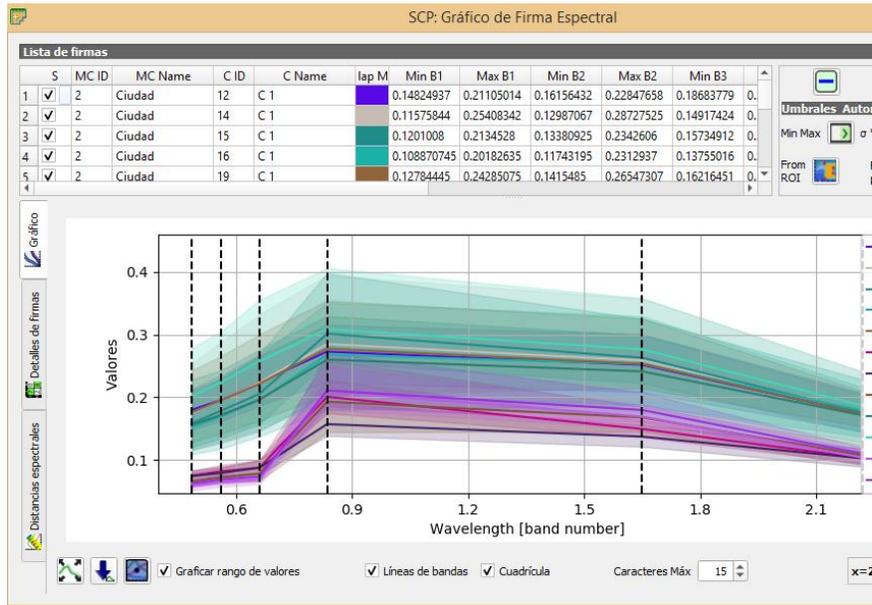


Figura 17. Firma espectral de Desarrollo antrópico en Landsat 7.

Debido al amplio umbral de algunas firmas espectrales, para algunas clases fue necesario realizar subclases, por ejemplo, en “Desarrollo antrópico” (Figura 17); dada la heterogeneidad de elementos que componen un ambiente urbano, hay diferentes firmas espectrales, por lo que el agrupar subclases facilitó la tarea de clasificación. Así mismo en “Agrícola-pecuario” pues, las superficies de las parcelas cultivadas reflejan diferente de las cosechadas o las áreas de pastoreo.

Posterior a estas revisiones, la clasificación final de los usos de suelo se realizó en el SCP *Plug-in* indicando el algoritmo del método de máxima probabilidad (ó máxima verosimilitud), lo que arrojó un nuevo archivo *ráster* con los usos de suelo. Finalmente se realizó un post-procesamiento de filtrado dentro del mismo complemento para pulir la clasificación final, este consistió en que los píxeles únicos de una clase que estuvieran rodeados en su mayoría por otra clase, pasaran a ser de la clase mayoría, es decir, disminuyendo un poco el efecto “*confetti*”, propio de la clasificación.

11.6. Obtención de áreas de cobertura

Mediante una serie de geoprosesos realizados en el QGis, las imágenes ráster obtenidas por año se convirtieron a archivos vectoriales para, de esta manera, poder obtener los valores de áreas por clase; una vez estuvieran en este formato, se procedió a disolver los polígonos (o fragmentos) por clase, es decir, se integraron los polígonos que estuvieran separados por clase, para hacer un solo cálculo y con la calculadora de geometrías se obtuvieron las hectáreas correspondientes a cada clase y por cada año.

11.7. Índices de paisaje

Para una mejor evaluación del paisaje se optó por separar las clases de la investigación en dos grupos: subsistema natural y subsistema antrópico; esto con la finalidad de tener una mejor perspectiva del impacto ambiental en el ecosistema natural, es decir del manglar, los humedales y cuerpos de agua de la Reserva Tembladeras y Arroyo Moreno. Las clases de desarrollo antrópico, agrícola-pecuario, otra vegetación (vegetación secundaria) y sin vegetación se dejaron como parte del subsistema antrópico. De esta manera, la comparación de las variaciones de fragmentación, presión circundante, forma de parches y conectividad, fue más práctica para los diferentes años estudiados.

11.7.1. Índice de diversidad de forma de Patton

Para conocer las formas predominantes que tuvieron los fragmentos del Sistema

Ambiental se empleó la siguiente fórmula de acuerdo a la metodología de Patton (1975):

$$\text{Índice de forma: } \text{Perímetro} / (2\sqrt{\pi \sqrt{\text{área}}})$$

Se hicieron los cálculos pertinentes en la tabla de atributos del archivo *shape* en el SIG y posteriormente, los valores resultantes fueron agrupados en cinco intervalos, que corresponden a las diferentes formas posibles según esta metodología, los intervalos son:

Tabla 8. Intervalos del índice de diversidad de forma de Patton (1975).

Índice	Forma
<1.25	Redonda
1.25 ≤ 1.50	Oval-redonda
1.50 ≤ 1.75	Oval-oblonga
1.75 ≤ 2	Rectangular-oblonga
> 2	Irregular

Este indicador da un panorama de la fragmentación del paisaje; toda vez, que un mayor número de fragmentos y a la vez disminución de área de un ecosistema natural indica que este se ha fragmentado, lo que ha causado aislamiento y lejanía entre ellos. Además, este modelo sugiere que el “efecto borde” es lo que influye en la forma de los fragmentos, es decir, los fragmentos con formas más redondeadas presentan menor efecto borde y menos interferencia del medio exterior; por el contrario fragmentos más irregulares o alargados indican mayor presencia de este efecto, es decir que se encuentran más perturbados y por consiguiente pueden verse en mayor afectación la diversidad de fauna y conservación del hábitat (Servicios de Mantenimiento y Logística del Golfo, 2020).

11.7.2. Índice de fragmentación

El índice de fragmentación consiste en obtener una relación entre el área de un tipo de ecosistema natural y el área total del Sistema Ambiental estudiado. Esto con la finalidad de conocer si el área ha disminuido o incrementado en el periodo estudiado. Hay varias maneras en que se emplea el índice de fragmentación, como puede ser la división entre parches. Para el presente estudio se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$F = \text{Área del ecosistema natural (ha)} / \text{Área total (ha)}$$

Particularmente para este índice se optó por emplear la fórmula separando los totales parciales de cada subsistema. Debido a que es un sistema ambiental que se encuentra ya

evidentemente intervenido por el desarrollo urbano, existía la alta probabilidad que todas las clases naturales dieran por resultado altos niveles de fragmentación sin diferencia, haciendo difícil su comparación entre los diferentes años.

Es decir, las clases de humedales, el manglar, y cuerpos de agua se dividieron por clase entre la suma de estas superficies; y el desarrollo antrópico, lo agrícola-pecuario, otra vegetación y sin vegetación, a su vez, entre la suma de las superficies.

Los valores obtenidos son clasificados de la siguiente manera:

Tabla 9. Intervalos del grado de fragmentación.

Índice	Grado de fragmentación
F= 1	Sin fragmentación
F= $<1 \leq 0.7$	Fragmentación moderada
F = $<0.7 \leq 0.5$	Altamente fragmentado
F = <0.5	Insularizado

Fuente: Elaboración propia con base en la clasificación del IF retomada por Servicios de Mantenimiento y Logístico del Golfo (2020)

11.7.3. Distancia media al vecino más cercano

La distancia media al fragmento vecino más cercano es utilizada como un índice que indica el grado de conectividad que existe en un ecosistema, puesto que una mayor distancia sugiere un mayor aislamiento y pérdida de conectividad y una menor distancia, mayor cercanía y conectividad entre los fragmentos de vegetación natural. A su vez, también nos indica si las clases antrópicas han ganado cercanía al pasar de los años que se estudiaron.

Dicha información es importante que sea contrastada con los demás datos, es decir los resultados de los otros índices y la propia información que se tenga de la presencia de los fragmentos en el área de estudio, ya que de otra manera puede ser engañoso (Servicios de Mantenimiento y Logística del Golfo, 2020)

Para el presente estudio, fue necesario en primer lugar, mediante el SIG, obtener los centroides de cada fragmento o polígono; es decir, el punto central en la geometría vectorial de los fragmentos. Una vez con un archivo *shp* de puntos, fue posible calcular las distancias medias (en metros) entre ellos, por clase; esto fue realizado a partir de la herramienta *Matriz de distancias* de QGis.

11.7.4. Índice de presión circundante

Este índice evalúa la presión que ejercen las clases que rodean a los fragmentos de una

clase en específico, y cuyo cambio ambiental se ve influenciada por dicha presión. En este caso se evaluó la presión que ejercen las clases antrópicas colindantes con fragmentos del subsistema natural, es decir, con los fragmentos del manglar, humedales y cuerpos de agua.

Para obtener los resultados del índice de presión circundante (PUC) fue necesario en primer lugar, asignar un valor de ponderación a las diferentes clases. Esta valoración fue basada en el grado de antropización de cada una de ellas, identificado durante el proceso de investigación, en tanto que, a mayor artificialización del suelo en el polígono de estudio, mayor es la presión ejercida (Servicios de Mantenimiento y Logística del Golfo, 2020). Por esta razón, a los cuerpos de agua se les dio un valor de 0, y al desarrollo antrópico un valor de 35, puesto que es la clase en la que hay mayor cantidad de usos que impactan al Sistema Ambiental. Esta ponderación fue aplicada por igual a todos los años para poder hacer la comparación temporal de los índices.

Tabla 10. Factores de ponderación por tipo de vegetación y uso de suelo para determinar el Índice de presión circundante (PUC).

Clasificación subsistema	Clase	Factor de ponderación
Natural	Cuerpos de agua	0
	Manglar	4
	Otros humedales	5
Antrópico	Otra vegetación	13
	Sin vegetación	18
	Agrícola-Pecuario	25
	Desarrollo Antrópico	35

Se calculó el Índice de Presión Circundante (PUC) para cada año de estudio con la siguiente fórmula:

$$PUC = \sum P \times Pu$$

Donde:

P= Sumatoria del Perímetro compartido

Pu= Factor de ponderación del uso del suelo

La sumatoria de los perímetros fue calculada a partir de la geometría multiparte de las clasificaciones, con la herramienta *Polygon neighbors*; a su vez se indicó la ponderación

correspondiente a cada clase.

Posterior a la obtención de los índices se clasificaron en cinco rangos, estos fueron determinados a partir de los valores obtenidos en el año 2001, agrupando en intervalos proporcionales al número de datos mediante un archivo Excel. Se utilizaron los mismos rangos para los años posteriores para una adecuada comparación.

12. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

Se obtuvieron un total de cuatro mapas correspondientes a los años 2001, 2008, 2015 y 2023. A continuación, describiremos los resultados por cada año analizado:

12.1. Identificación de usos de suelo en el año 2001.

En el año 2001, el tipo de cobertura con más presencia en el Sistema Ambiental fue Agrícola-pecuario (37.86%) con 1,722.91 ha, seguida de Otros humedales (31.24%) con 1,421.52 ha. El manglar ocupa el 5.44% del polígono con 247.62 hectáreas y la Otra vegetación el 14.25%. Las clases con menor porcentaje fueron Cuerpos de agua (0.62%) y Sin vegetación (3.3.7%) respectivamente. Para ése mismo año; el Desarrollo antrópico apenas representó el 7.22%.

Tabla 11. Áreas por clase del año 2001.

Clase	Superficie (hectáreas)	Porcentaje (%)
Manglar	247.62	5.44
Desarrollo Antrópico	328.6	7.22
Cuerpos de agua	28.35	0.62
Otros humedales	1421.52	31.24
Agrícola-pecuario	1722.91	37.86
Otra vegetación	648.52	14.25
Sin vegetación	153.18	3.37
	4550.71	100.00

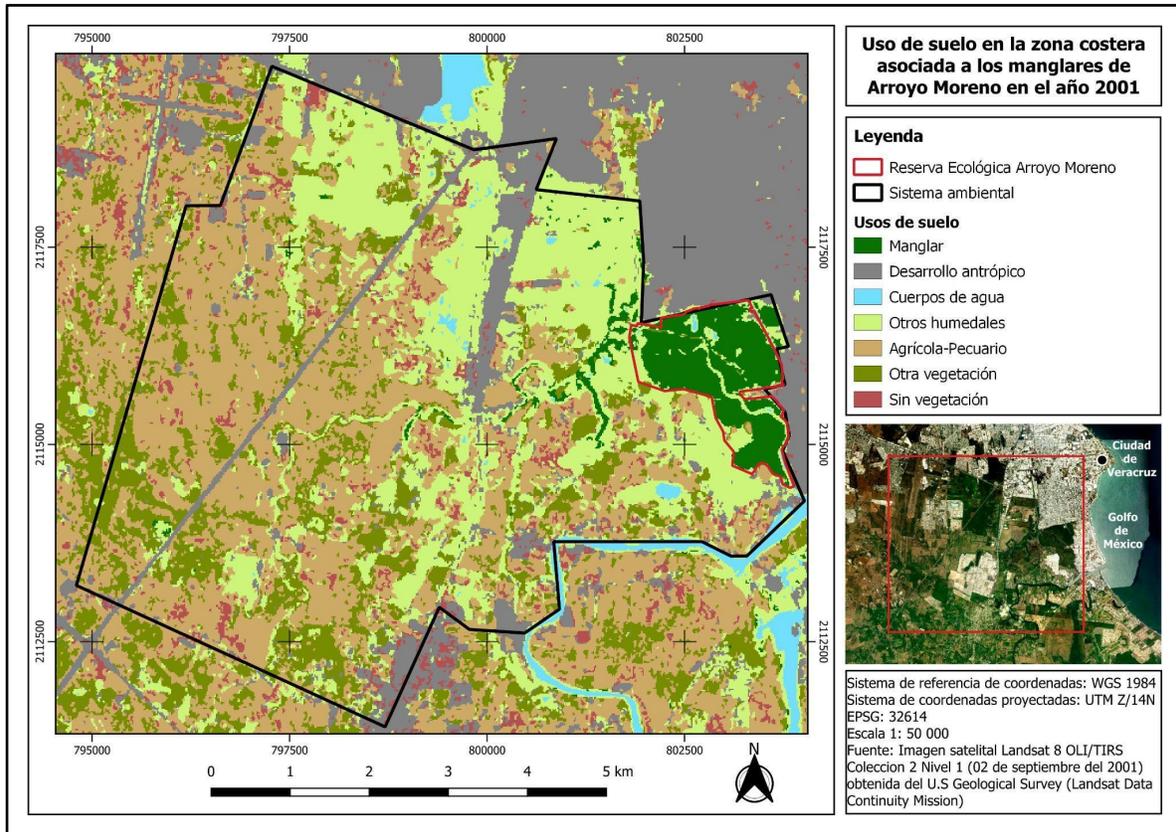


Figura 18. Mapa de uso de suelo en la zona costera perteneciente al año 2001.

Clasificación de usos de suelo del año 2001 (%)

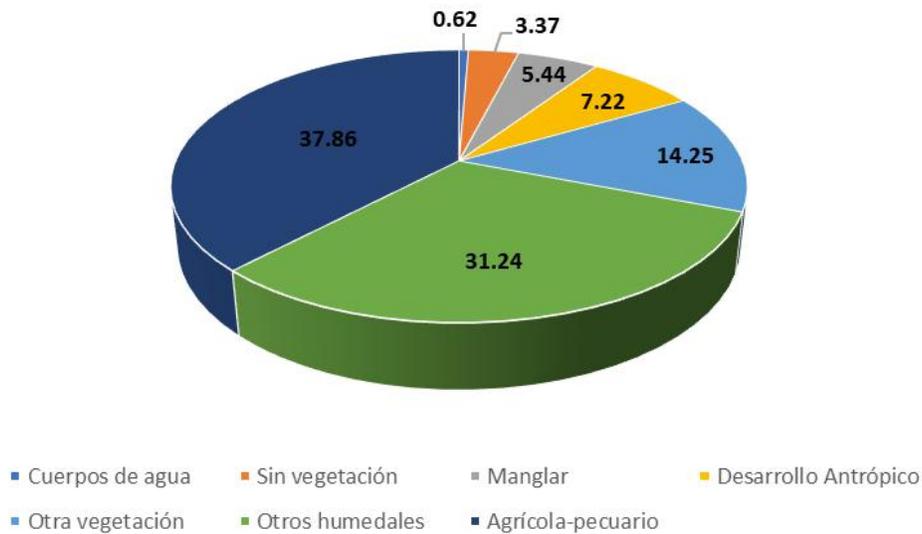


Figura 19. Porcentajes de superficie de las clases de uso de suelo en 2001.

12.2. Identificación de usos de suelo en el año 2008.

En el año 2008, el uso de suelo más predominante fue nuevamente el Agrícola-pecuario, representando el 37.45% de la superficie total del Sistema Ambiental, seguido de Otros humedales (25.17%) que tuvieron menos superficie que en 2001. El Desarrollo antrópico se duplica respecto al 2001 (14.29%), mientras que el Manglar incrementa un poco respecto al mismo año anterior (6.12%) y la Otra vegetación también (15.43%). Las clases con menor porcentaje fueron nuevamente Sin vegetación (0.63%) y los Cuerpos de agua (0.91%).

Tabla 12. Áreas por clase del año 2008.

Clase	Superficie (hectáreas)	Porcentaje (%)
Manglar	278.48	6.12
Desarrollo Antrópico	650.36	14.29
Cuerpos de agua	41.46	0.91
Otros humedales	1145.45	25.17
Agrícola-pecuario	1704.14	37.45
Otra vegetación	702.19	15.43
Sin vegetación	28.63	0.63
	4550.71	100.00

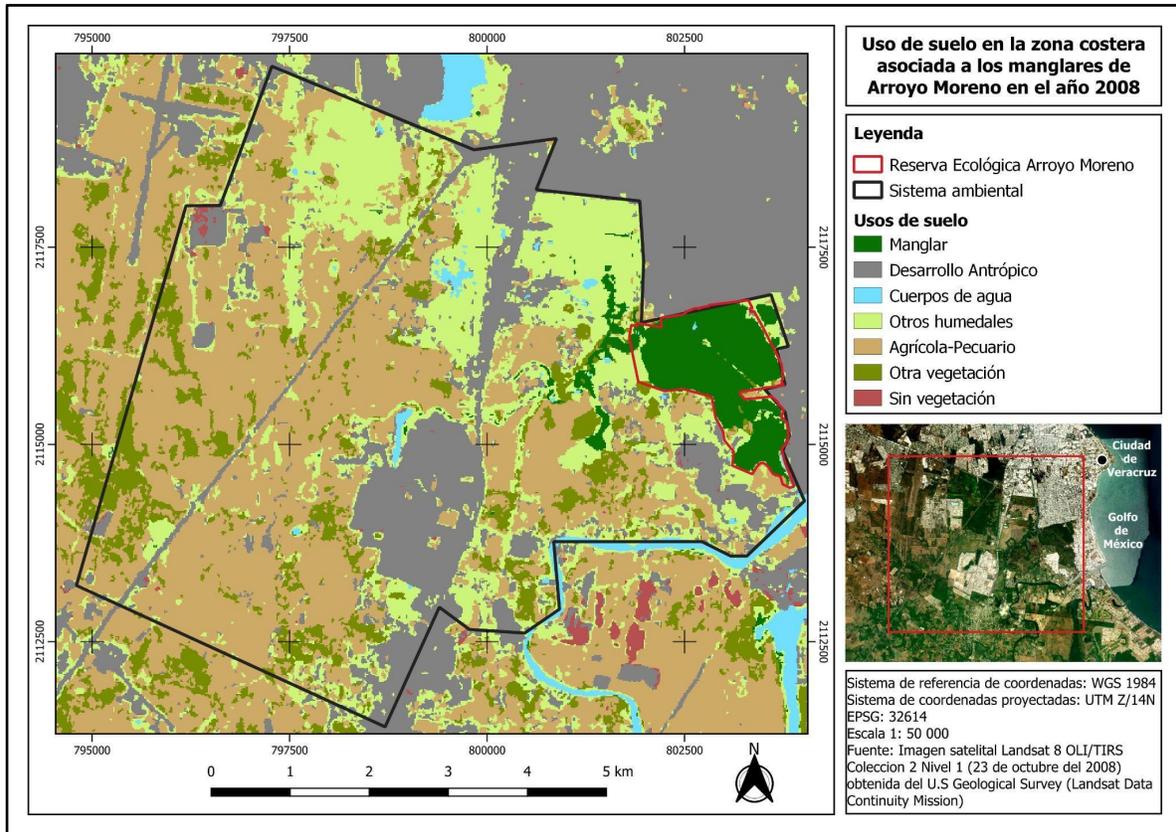


Figura 20. Mapa de uso de suelo en la zona costera perteneciente al año 2008.

Clasificación de usos de suelo del año 2008 (%)

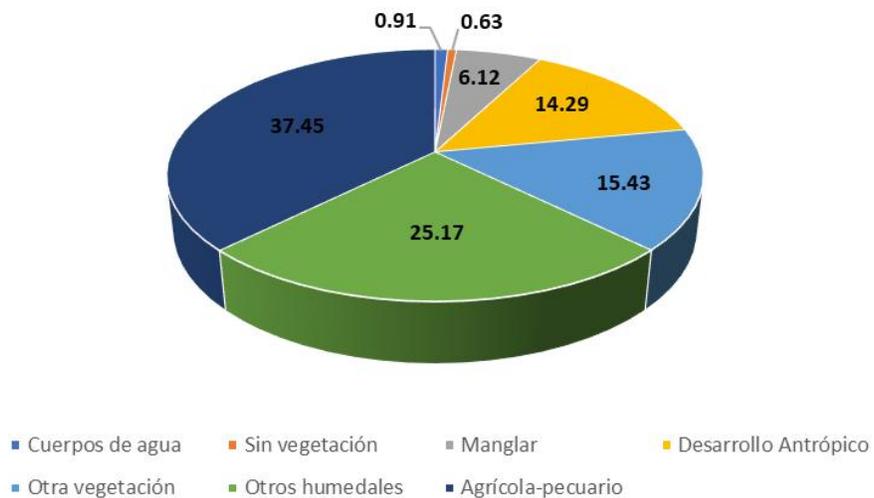


Figura 21. Porcentajes de superficie de las clases de uso de suelo en 2008.

12.3. Identificación de usos de suelo en el año 2015.

En el año 2015, el uso Agrícola-pecuario disminuye en comparación con 2008, pero sigue siendo el más predominante representando el 36.63% de la superficie total del sistema ambiental; hay un aumento considerable del Desarrollo antrópico (24.58%) quedando como el segundo más extenso. Los Otros humedales se reducen a 665.39 hectáreas (14.62%) mientras que la Otra vegetación (16.46%) y el Manglar (6.89%) siguen la tendencia de sumar hectáreas. Los Cuerpos de agua ocupan el 0.43% del polígono y el suelo Sin vegetación el 0.39%.

Tabla 13. Áreas por clase del año 2015.

Clase	Superficie (hectáreas)	Porcentaje (%)
Manglar	313.41	6.89
Desarrollo Antrópico	1118.51	24.58
Cuerpos de agua	19.54	0.43
Otros humedales	665.39	14.62
Agrícola-pecuario	1667.11	36.63
Otra vegetación	749.14	16.46
Sin vegetación	17.62	0.39
Total	4550.71	100%

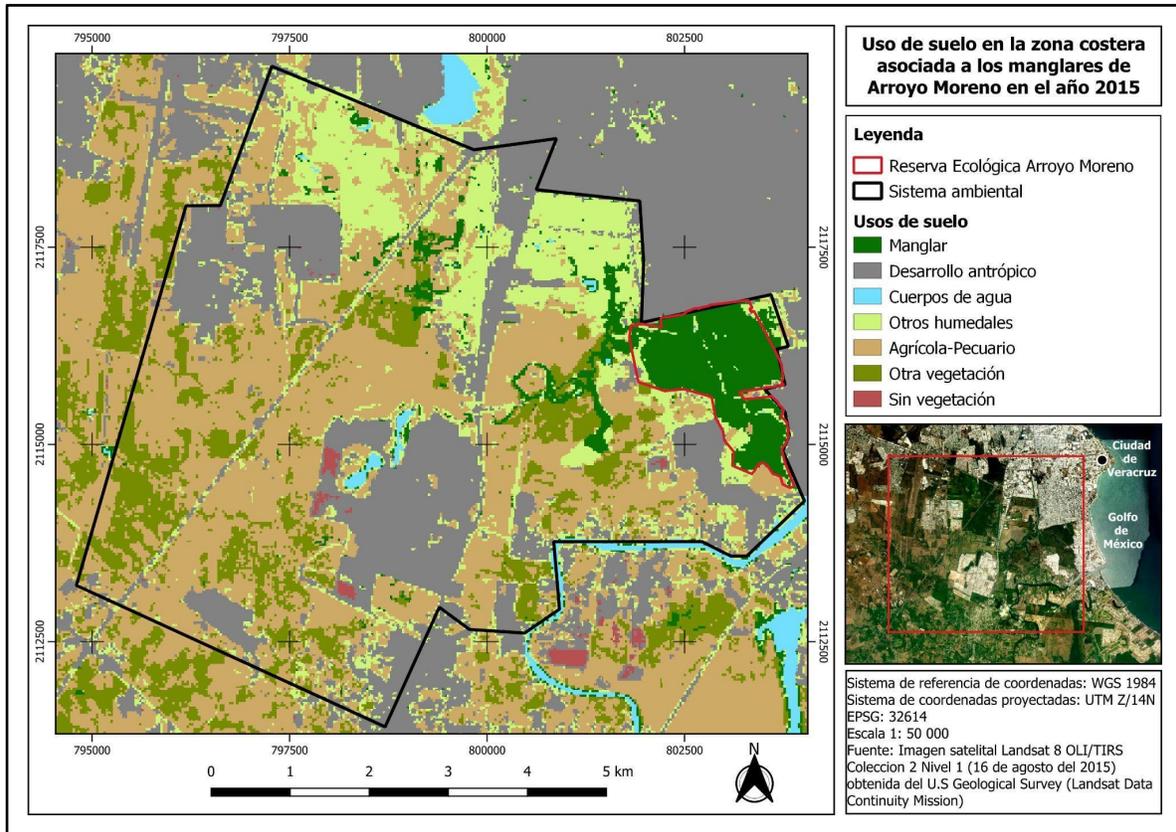


Figura 22. Mapa de uso de suelo en la zona costera perteneciente al año 2015.

Clasificación de usos de suelo del año 2015 (%)

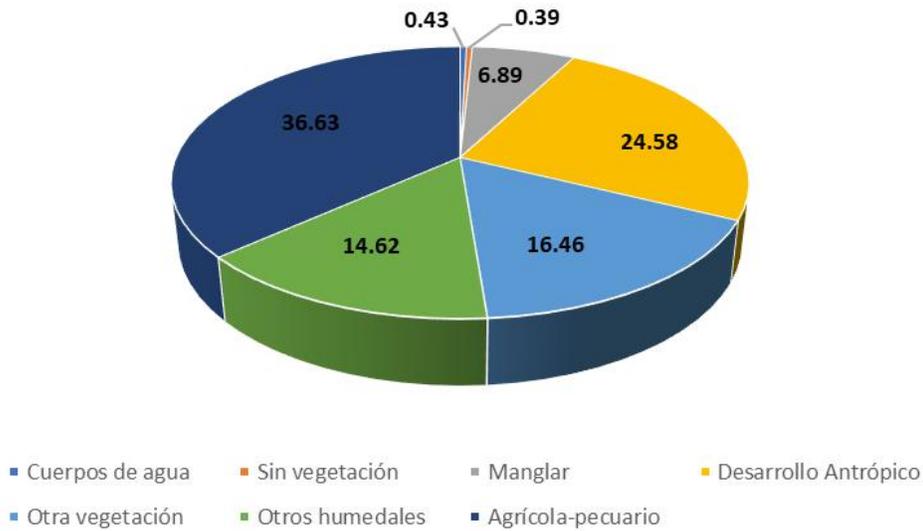


Figura 23. Porcentajes de superficie de las clases de uso de suelo en 2015.

12.4. Identificación de usos de suelo en el año 2023.

Finalmente, para el año 2023, las áreas con uso de suelo destinado al Desarrollo antrópico pasan a ser las que tienen mayor cobertura dentro del polígono (30.51%), con un total de 1,388.55 hectáreas. La segunda clase en orden de cobertura es la Agrícola-pecuaria, con 883.78 hectáreas y que representa el 19.42%. La Otra vegetación incrementa más su cobertura en este año (21.89%) mientras que las clases prioritarias representan 6.93% (Manglar) y 20.19% (Otros humedales). Los Cuerpos de agua ocupan el 0.34% de cobertura y el suelo Sin vegetación ocupa el 0.72% del polígono.

Tabla 14. Áreas por clase del año 2023.

Clase	Superficie (hectáreas)	Porcentaje (%)
Manglar	315.17	6.93
Desarrollo Antrópico	1388.55	30.51
Cuerpos de agua	15.43	0.34
Otros humedales	918.90	20.19
Agrícola-pecuario	883.78	19.42
Otra vegetación	995.93	21.89
Sin vegetación	32.95	0.72
Total	4550.71	100.00

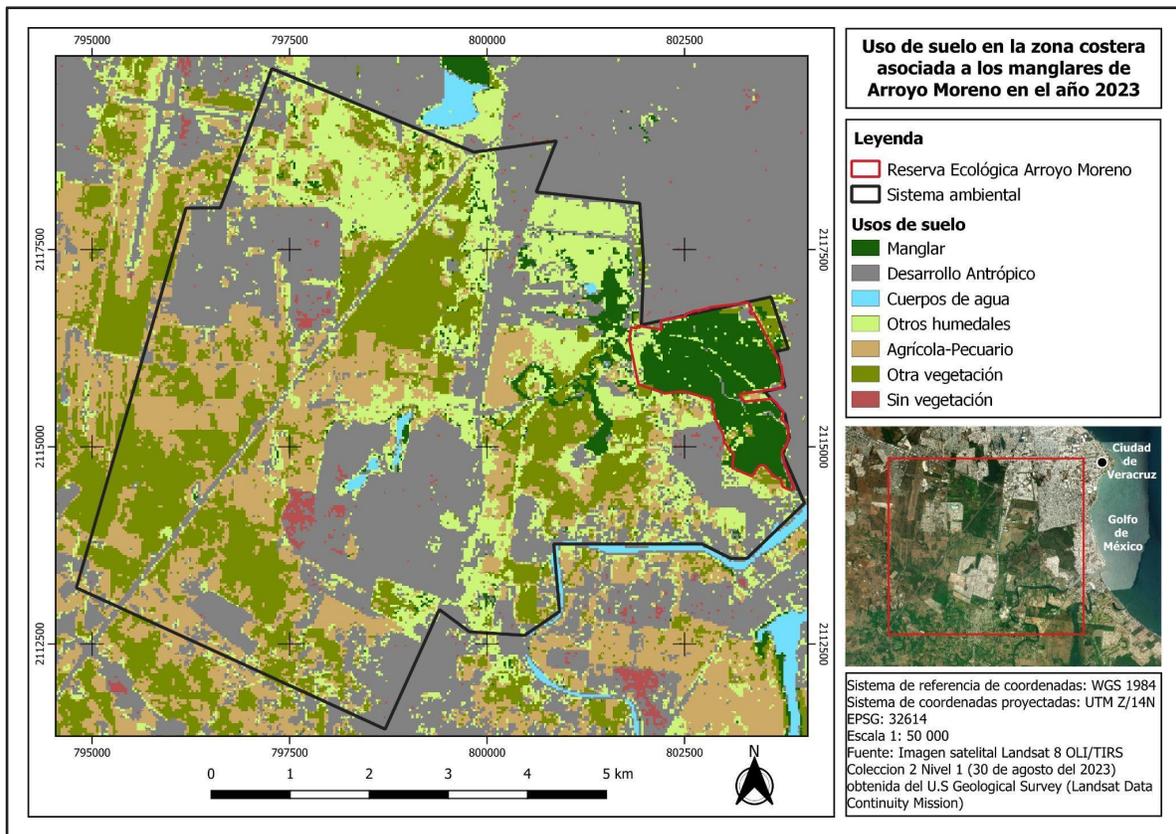


Figura 24. Mapa de uso de suelo en la zona costera perteneciente al año 2023.

Clasificación de usos de suelo del año 2023 (%)

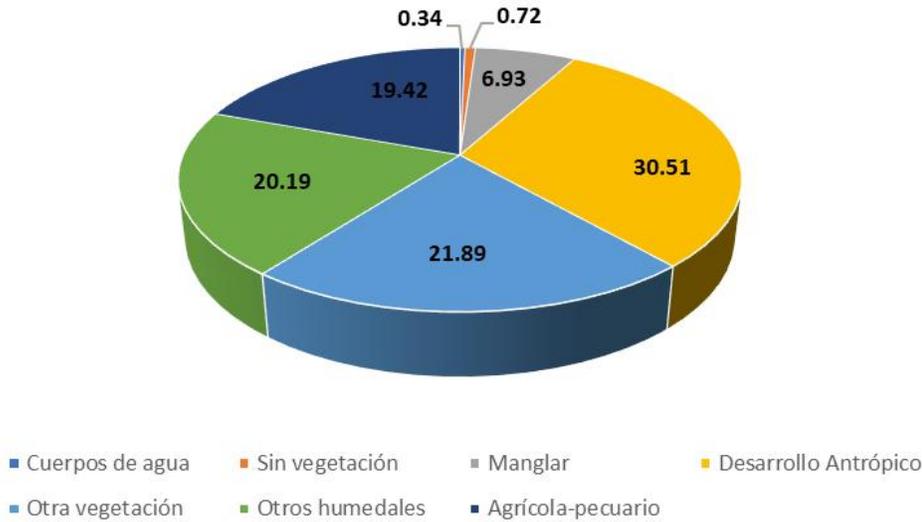


Figura 25. Porcentajes de superficie de las clases de uso de suelo en 2023.

12.5. Análisis de los cambios de usos de suelo 2001-2023

En la Tabla 15 se muestra de forma puntual las ganancias y pérdidas netas de superficie en hectáreas de cada una de las clases, durante el total del periodo abarcado (2001-2023). Así mismo, la Tabla 16 contiene la matriz de cambios de usos donde los valores dentro de la intersección de las filas y columnas representan las hectáreas que pasaron de ser de una clase en 2001 a otra en 2023.

Tabla 15. Resultados de ganancia-Pérdida por clase y por año durante el periodo de evaluación.

Clase/Año	Tipo de cambio	Ganancias -Pérdidas (2001 a 2023)
Uso de Suelo		Netas (+/-)
Desarrollo antrópico	Ganancia	1059.95
Otra vegetación	Ganancia	347.41
Manglar	Ganancia	67.55
Cuerpos de agua	Pérdida	-12.92
Sin vegetación	Pérdida	-120.23
Otros humedales	Pérdida	-502.62
Agrícola-Pecuaría	Pérdida	-839.13

Tabla 16. Matriz de cambios de uso de suelo 2001-2023 del Sistema ambiental de Arroyo Moreno-Tembladeras asociado a manglares.

AÑO	2023								
2001	Uso de suelo	Manglar	Otros humedales	Cuerpos de agua	Otra vegetación	Agrícola-Pecuario	Desarrollo Antrópico	Sin vegetación	Total 2001
	Manglar	205.29	20.74	0.00	14.21	1.68	5.71	0.00	247.62
	Otros humedales	101.09	582.03	2.12	221.96	127.85	379.64	6.84	1421.52
	Cuerpos de agua	2.27	8.81	4.18	2.27	0.90	9.92	0.00	28.35
	Otra vegetación	0.00	74.20	0.27	261.81	137.45	167.76	7.04	648.52
	Agrícola-Pecuario	6.44	211.66	7.61	434.20	552.48	495.24	15.30	1722.91
	Desarrollo Antrópico	0.00	0.00	0.59	24.99	31.55	268.65	2.84	328.61
	Sin vegetación	0.09	21.47	0.68	36.50	31.88	61.65	0.92	153.18
	Total 2023	315.18	918.90	15.43	995.93	883.78	1388.55	32.95	4550.73

Evidentemente, se detectó el incremento del Desarrollo antrópico, siendo el uso de suelo que más lo hace durante el periodo estudiado, y de una manera tendencial. Del 2001 al 2023 pasa de 328.60 a 1388 hectáreas, es decir que triplica su superficie (incrementa un 23.29% respecto al polígono). Este incremento se da principalmente a costa de la clase de los Otros humedales y también del uso Agrícola-pecuario, siendo el primero el que más impacta en términos ambientales.

Se detectó cierta ganancia del Manglar. Entre el 2000 y 2008 incrementa en 30.86 ha; para 2015 incrementa otras 34.93 ha, y en el último periodo, 2015-2023, se mantiene prácticamente igual, finalizando con un 6.93% de cobertura respecto al polígono. En el periodo general (2001-2023) la mayoría del cambio es a Otros humedales, y a Otra vegetación; hay poco cambio a usos urbanos (5.71 ha.).

Los Otros humedales fluctúan entre tiempos en que se inundan de agua y otros en que aparecen más secos; a pesar de que las imágenes utilizadas corresponden a meses de lluvias, sí se observaron a simple vista diferencias en cuanto a la humedad presentada. No obstante, el resultado de las clasificaciones arroja que hubo disminución en su superficie, pues disminuyen 502.62 ha en lo general del periodo. Es la clase más impactada dentro del subsistema natural; supone esto a la aparición de construcciones urbanas en áreas que antes ocupaban los humedales (379.64 ha.), como es observable en los mapas y se confirma con la Matriz de cambios.

El uso de suelo Agrícola-pecuario se mantiene más o menos en el mismo porcentaje de ocupación durante los primeros años de estudio, a excepción del último periodo (2015-

2023) donde hay una drástica disminución de 783.33 ha. Pasa de ser el uso con mayor cobertura dentro del polígono en 2001 (37.86%), a reducirse en aproximadamente la mitad de sus superficies en 2023 (19.42%). En su mayoría, durante el periodo general, la clase de Agrícola-pecuario pasó a ser de Desarrollo Antrópico (495.24 ha.) y a Otra vegetación (434.20 ha.).

En cuanto a la Otra vegetación, esta incrementa a lo largo del periodo general, ocupando principalmente suelo de uso Agrícola-pecuario (434.20 ha.); esto también es claro de observar en los mapas y en la Matriz de cambios. Entre 2001 y 2015 incrementa 100.62 ha., y después solamente entre 2015 y 2023 un total de 246.79 ha. Además, la Matriz también indica que gana áreas que antes eran humedales (221.96 ha.); sin embargo, esto puede deberse en parte, a que la vegetación hidrófila presente en los humedales presentó composiciones espectrales similares. Por otra parte, en cuanto a las pérdidas, se obtuvo que 167.76 ha. pasan a ser Desarrollo Antrópico.

La superficie de suelo Sin vegetación presentó tendencia a disminuir a partir del segundo año de estudio: en 2001 correspondía a un total de 153.18 ha., en 2008, a 28.63 ha., en 2015, a 17.62 ha. y finalmente, en 2023 abarca una superficie total de 32.95 ha. equivalente a 0.72% de la superficie del Sistema Ambiental. Durante el periodo general (2001-2023), el suelo desnudo, en su mayoría, pasó a ser de Desarrollo Antrópico (61.65 ha.), Otra vegetación (36.50 ha.) y Agrícola-pecuario (31.88 ha.). Y ocupó áreas de Agrícola-pecuario (15.30 ha.), Otra vegetación (7.04 ha.) y Otros humedales (6.84 ha.)

12.6. Sobrevuelos del VANT

Se obtuvieron 2 ortofotos correspondientes a los vuelos de las diferentes áreas del Sistema ambiental. Con el apoyo de estas ortofotos se logró tener certeza de los usos de suelo actuales.



Figura 26. Sobreposición de la ortofoto en Google Earth, correspondiente a la parte Este de la REAM. La composición de los orto-mosaicos constituye un total de 70 ha.



Figura 27. Sobreposición de la ortofoto en Google Earth, correspondiente a la parte Norte de la Reserva Tembladeras.

12.7. Análisis de las métricas de paisaje

A continuación, se presentan los resultados de cada una de las métricas para el análisis de la composición y fragmentación del paisaje, modificación de la cobertura natural, y principalmente, la medición del impacto en el Sistema Ambiental de Arroyo Moreno-Tembladeras asociado a la zona de manglares a partir de los cambios de uso de suelo durante el periodo 2001-2023

12.7.1. Índice de diversidad de formas de Patton

El cambio en el número y tamaño de los fragmentos de un tipo de ecosistema en un periodo estudiado, como ya se mencionó en apartados anteriores, es un indicador de la fragmentación o compactación de los hábitats. Para el caso del Sistema Ambiental, y los ecosistemas naturales que atañen a este estudio, se identificó que en la vegetación de Manglar hubo un aumento del número de fragmentos y aún más interesante, la disminución del tamaño promedio de los mismos; en 2001 eran de aproximadamente tres hectáreas y en 2023 disminuyen a solo una. El caso es similar con los Otros humedales, que pasan de ser 547 a 1289 fragmentos en 2023; el área promedio de los fragmentos

disminuye progresivamente de 2.49 a 0.55 ha.

Tabla 17. Número de fragmentos y tamaño promedio por clase del año 2001.

Usos de suelo 2001		Fragmentos		Tamaño promedio (ha)
		No.	%	
Natural	Manglar	82	2.66	2.94
	Cuerpos de agua	69	2.24	0.41
	Otros humedales	547	17.76	2.49
Antrópico	Desarrollo Antrópico	630	20.45	0.62
	Agrícola-pecuario	450	14.61	3.83
	Otra vegetación	765	24.84	0.85
	Sin vegetación	537	17.44	0.29
Total		3080	100.00	

Tabla 18. Número de fragmentos y tamaño promedio por clase del año 2008.

Usos de suelo 2008		Fragmentos		Tamaño promedio (ha)
		No.	%	
Natural	Manglar	81	3.36	3.44
	Cuerpos de agua	98	4.06	0.42
	Otros humedales	698	28.91	1.64
Antrópico	Desarrollo Antrópico	402	16.65	1.62
	Agrícola-pecuario	519	21.50	3.28
	Otra vegetación	455	18.85	1.54
	Sin vegetación	161	6.67	0.18
Total		2414	100.00	

Tabla 19. Número de fragmentos y tamaño promedio por clase del año 2015.

Usos de suelo 2015		Fragmentos		Tamaño promedio (ha)
		No.	%	
Natural	Manglar	348	9.28	0.90
	Cuerpos de agua	36	0.96	0.54
	Otros humedales	1210	32.25	0.55
Antrópico	Desarrollo Antrópico	549	14.63	2.04
	Agrícola-pecuario	808	21.54	2.06
	Otra vegetación	774	20.63	0.97
	Sin vegetación	27	0.72	0.65
Total		3752	100.00	

Tabla 20. Número de fragmentos y tamaño promedio por clase del año 2023.

Usos de suelo 2023		Fragmentos		Tamaño promedio (ha)
		No.	%	
Natural	Manglar	317	7.96	0.99
	Cuerpos de agua	23	0.58	0.67
	Otros humedales	1289	32.37	0.71
Antrópico	Desarrollo Antrópico	665	16.70	2.09
	Agrícola-pecuario	1074	26.97	0.82
	Otra vegetación	496	12.46	2.01
	Sin vegetación	118	2.96	0.28
Total		3982	100.00	



Al respecto de la diversidad de forma de los fragmentos, se tuvo que, en 2001, los parches de forma Irregular son los que abarcan más superficie del polígono del Sistema Ambiental con 404 parches (85.31%), seguido de la forma Oval-redondo (4.88%), Rectangular (4.78%), Oval-oblongo (4.49%) y Redondo (0.53%) (Tabla 21); en ese año, los parches que tienen mayor superficie son de Otra vegetación. Hay uno importante de Manglar de forma Oval-redonda con 5.53 ha., pues éste se encuentra contiguo a la REAM (Figura 28). Pero en las clases naturales, los parches de forma redonda (que es la forma más deseada) son los más escasos y abarcan apenas el 0.11% del subsistema; el manglar tiene 5 de estos y los humedales 33, pero no llegan a 1 ha. Hay dos parches rectangulares de humedales que resaltan con 11 y 12 ha.

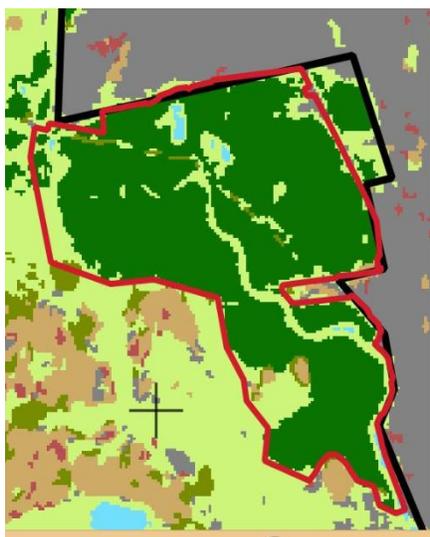


Figura 28. Parche de Manglar de forma Oval-Redonda al este de la REAM.

En el año 2008, los parches Irregulares siguen ocupando el mayor porcentaje de la superficie total (88.54%), seguido de la forma Oval-oblongo (3.88%), Rectangular (2.93%), Oval-redondo (2.68%) y Redondo (1.98%) (Tabla 22). En el subsistema natural, los redondos aumentan en número y en superficie, pero al igual que en el 2001, el área individual de los mismos no alcanza 1 ha. El parche Oval-Redondo antes mencionado de Manglar, se mantiene con la misma superficie (5.80 ha.) y continúan los dos parches rectangulares de Otros humedales, con 12 y 6 ha.

En el mismo año, pero en el subsistema antrópico, los parches de forma Oval-redonda de Otra vegetación aumentan en superficie y hay parches de 8 y 10 ha. Sobresale un parche de forma Oval-oblonga de uso para Desarrollo Antrópico (9.55 ha.); aparece también un parche rectangular de esta misma clase de aproximadamente 6.7 ha.

En el año 2015, 84.05% de los parches son de la forma Irregular, seguida de Oval-

redondo (4.90%), Oval-oblongo (4.25%), Redondo (3.55%) y Rectangular (3.25%) (Tabla 23). Aumentan más los parches redondos del subsistema natural, sin embargo, siguen siendo de superficies muy pequeñas (menores a 1 ha.), lo que indica que no hay un cambio positivo de compactación de mangle o humedales. El parche de Manglar que se mantenía con forma Oval-redonda, cambia a Irregular. Los parches rectangulares con superficies significativas de Otros humedales, pasan a ser de clases del subsistema antrópico: Agrícola-Pecuario y Otra vegetación.

Sobresalen dos parches de 4 y 6 ha. de la forma Oval-oblonga de la clase Sin vegetación (Figura 29), ubicados dentro del área de expansión de Desarrollo Antrópico (observada en 2008-2015) en el centro-sur del Sistema Ambiental.



Figura 29. Parches Sin vegetación de la forma Oval-oblonga en el centro-sur del SA.

En el año 2023, los porcentajes en orden de superficie corresponden a: forma Irregular (82.88%), Oval-redonda (4.85%), Oval-oblonga (4.59%), Redonda (4.04%) y Rectangular (3.63%) (Tabla 24). Los parches del subsistema natural con forma Redonda y Oval-redonda se mantienen casi igual en número y superficie que el año estudiado anterior; de igual manera, las áreas por parche son menores a 1 ha. Uno de los cambios que indican mayor fragmentación es que los parches rectangulares (aunque no es la forma más deseada) de Otros humedales que había en 2001 dejan de ser de esta forma y disminuyen su extensión, para quedar solamente pocos significativos de entre 2 y 4 ha.

Por otro lado, destaca un parche de forma Oval-redonda de aproximadamente 3 ha. y uno Oval-oblongo de 8, de Otra vegetación; hay otros menores de 3 ha. aproximadamente. Los parches de suelo Sin vegetación de varias hectáreas que se observaban en 2008 pasan a ser parte del Desarrollo antrópico. Hay algunos parches rectangulares de aproximadamente 5 ha. que corresponden a uso Agrícola-Pecuario y Otra vegetación.

Tabla 21. Número de fragmentos por forma de acuerdo con el Índice de diversidad de forma de Patton y porcentaje de la superficie que ocupan en el año 2001.

2001																
Subsistema	Clase	Redondo			Oval-redondo			Oval-oblongo			Rectangular			Irregular		
		No.	Superficie (ha)	% superficie total	No.	Superficie (ha)	% superficie total	No.	Superficie (ha)	% superficie total	No.	Superficie (ha)	% superficie total	No.	Superficie (ha)	% superficie total
Natural	Manglar	5	0.51	0.01	34	9.02	0.20	22	5.30	0.12	7	4.02	0.09	14	222.37	4.89
	Cuerpos de agua	2	0.36	0.01	44	5.17	0.11	13	8.32	0.18	2	1.19	0.03	8	13.31	0.29
	Otros humedales	33	4.16	0.09	247	40.02	0.88	127	35.70	0.78	54	36.68	0.81	86	1245.05	27.36
	Total	40	5.02	0.11	325	54.21	1.19	162	49.32	1.08	63	41.89	0.92	108	1480.72	32.54
Antrópico	Desarrollo Antrópico	40	6.23	0.14	345	42.45	0.93	135	31.12	0.68	60	56.04	1.23	50	254.33	5.59
	Agrícola-pecuario	24	3.48	0.08	204	35.17	0.77	95	30.63	0.67	45	37.95	0.83	82	1615.68	35.50
	Otra vegetación	36	4.86	0.11	353	52.13	1.15	179	62.32	1.37	82	61.81	1.36	115	472.17	10.38
	Sin vegetación	32	4.43	0.10	280	38.26	0.84	131	31.12	0.68	45	19.88	0.44	49	59.49	1.31
	Total	132	18.99	0.42	1182	168.00	3.69	540	155.18	3.41	232	175.68	3.86	296	2401.68	52.78

Tabla 22. Número de fragmentos por forma de acuerdo con el Índice de diversidad de forma de Patton y porcentaje de la superficie que ocupan en el año 2008.

2008																
Subsistema	Clase	Redondo			Oval-redondo			Oval-oblongo			Rectangular			Irregular		
		No.	Superficie (ha)	% superficie total	No.	Superficie (ha)	% superficie total	No.	Superficie (ha)	% superficie total	No.	Superficie (ha)	% superficie total	No.	Superficie (ha)	% superficie total
Natural	Manglar	28	1.45	0.03	29	8.62	0.19	8	1.48	0.03	6	2.15	0.05	10	264.79	5.82
	Cuerpos de agua	22	1.63	0.04	49	6.09	0.13	15	6.99	0.15	3	1.13	0.02	9	25.62	0.56
	Otros humedales	169	9.17	0.20	198	30.44	0.67	148	34.97	0.77	65	49.73	1.09	118	1021.14	22.44
	Total	219	12.26	0.27	276	45.14	0.99	171	43.44	0.95	74	53.01	1.16	137	1311.55	28.82
Antrópico	Desarrollo Antrópico	99	5.31	0.12	149	23.51	0.52	80	32.95	0.72	36	28.28	0.62	38	560.31	12.31
	Agrícola-pecuario	128	7.32	0.16	200	36.14	0.79	86	28.47	0.63	46	29.97	0.66	59	1602.24	35.21
	Otra vegetación	120	61.72	1.36	157	7.59	0.17	95	65.10	1.43	22	19.98	0.44	61	547.80	12.04

Sin vegetación	56	3.60	0.08	72	9.35	0.21	24	6.63	0.15	4	1.97	0.04	5	7.08	0.16
Total	403	77.95	1.71	578	76.59	1.68	285	133.14	2.93	108	80.20	1.76	163	2717.43	59.71

Tabla 23. Número de fragmentos por forma de acuerdo con el Índice de diversidad de forma de Patton y porcentaje de la superficie que ocupan en el año 2015.

2015																
Subsistema	Clase	Redondo			Oval-redondo			Oval-oblongo			Rectangular			Irregular		
		No.	Superficie (ha)	% superficie total	No.	Superficie (ha)	% superficie total	No.	Superficie (ha)	% superficie total	No.	Superficie (ha)	% superficie total	No.	Superficie (ha)	% superficie total
Natural	Manglar	199	15.12	0.33	108	13.93	0.31	24	5.71	0.13	4	3.06	0.07	13	275.59	6.06
	Cuerpos de agua	13	1.36	0.03	11	0.65	0.01	5	2.50	0.06	2	1.48	0.03	5	13.55	0.30
	Otros humedales	585	53.57	1.18	390	61.03	1.34	133	46.74	1.03	48	25.46	0.56	54	478.58	10.52
	Total	797	70.05	1.54	509	75.61	1.66	162	54.96	1.21	54	30.00	0.66	72	767.72	16.87
Antrópico	Desarrollo Antrópico	256	23.02	0.51	152	34.72	0.76	70	21.35	0.47	31	19.19	0.42	40	1020.23	22.42
	Agrícola-pecuario	367	33.37	0.73	240	47.33	1.04	107	51.55	1.13	35	53.19	1.17	59	1481.65	32.56
	Otra vegetación	341	33.81	0.74	236	63.10	1.39	103	55.18	1.21	36	45.64	1.00	58	551.41	12.12
	Sin vegetación	14	1.13	0.02	9	2.23	0.05	3	10.22	0.22	0	0.00	0.00	1	4.05	0.09
	Total	978	91.33	2.01	637	147.39	3.24	283	138.30	3.04	102	118.02	2.59	158	3057.34	67.18

Tabla 24. Número de fragmentos por forma de acuerdo con el Índice de diversidad de forma de Patton y porcentaje de la superficie que ocupan en el año 2023.

2023																
Subsistema	Clase	Redondo			Oval-redondo			Oval-oblongo			Rectangular			Irregular		
		No.	Superficie (ha)	% superficie total	No.	Superficie (ha)	% superficie total	No.	Superficie (ha)	% superficie total	No.	Superficie (ha)	% superficie total	No.	Superficie (ha)	% superficie total
Natural	Manglar	158	13.23	0.29	109	14.42	0.32	26	10.53	0.23	13	8.83	0.19	11	268.16	5.89
	Cuerpos de agua	5	0.41	0.01	10	3.19	0.07	2	3.40	0.07	2	3.77	0.08	4	4.67	0.10

	Otros humedales	623	56.88	1.25	366	60.75	1.33	163	59.70	1.31	57	49.47	1.09	80	692.11	15.21
	Total	786	70.51	1.55	485	78.36	1.72	191	73.63	1.62	72	62.06	1.36	95	964.93	21.20
Antrópico	Desarrollo Antrópico	315	29.32	0.64	184	41.16	0.90	85	33.65	0.74	34	29.28	0.64	47	1255.14	27.58
	Agrícola-pecuario	539	52.39	1.15	304	61.40	1.35	120	50.62	1.11	42	47.52	1.04	69	671.85	14.76
	Otra vegetación	249	26.68	0.59	131	35.79	0.79	55	47.30	1.04	18	22.87	0.50	43	863.28	18.97
	Sin vegetación	65	4.86	0.11	35	4.22	0.09	13	3.74	0.08	3	3.56	0.08	2	16.58	0.36
	Total	1168	113.25	2.49	654	142.56	3.13	273	135.31	2.97	97	103.22	2.27	161	2806.86	61.68

12.7.2. Índice de fragmentación

Los resultados del índice de fragmentación para el año 2001. indican que para el subsistema natural los fragmentos de Manglar y Cuerpos de agua están insularizados y los de Otros humedales presentan fragmentación moderada; en cuanto al subsistema antrópico. todas las clases tienen fragmentos insularizados. excepto lo Agrícola-Pecuario que se presenta como altamente fragmentado (Tabla 25).

En el año 2008. persisten las mismas condiciones tanto en el subsistema natural como en el subsistema antrópico variando poco en los valores particulares (Tabla 26).

En el año 2015. en el subsistema natural permanecen las mismas condiciones y en el antrópico. hay una diferencia en la clase Agrícola-Pecuario que ahora se presenta insularizado (Tabla 27):

En el año 2023 persisten las mismas condiciones que en 2015 en ambos subsistemas. sin cambios significativos en los valores (Tabla 28).

Tabla 25. Índice de fragmentación del año 2001.

Usos de suelo 2001		Índice de grado de fragmentación	
Natural	Manglar	0.15	Insularizado
	Cuerpos de agua	0.02	Insularizado
	Otros humedales	0.84	Fragmentación Moderada
	Total	1.00	
Antrópico	Desarrollo Antrópico	0.12	Insularizado
	Agrícola-pecuario	0.60	Altamente Fragmentado
	Otra vegetación	0.23	Insularizado
	Sin vegetación	0.05	Insularizado
	Total	1.00	

Tabla 26. Índice de fragmentación del año 2008.

Usos de suelo 2008		Índice de grado de fragmentación	
Natural	Manglar	0.19	Insularizado
	Cuerpos de agua	0.03	Insularizado
	Otros humedales	0.78	Fragmentación Moderada
Total		1.00	
Antrópico	Desarrollo Antrópico	0.21	Insularizado
	Agrícola-pecuario	0.55	Altamente Fragmentado
	Otra vegetación	0.23	Insularizado
	Sin vegetación	0.01	Insularizado
Total		1.00	

Tabla 27. Índice de fragmentación del año 2015.

Usos de suelo 2015		Índice de grado de fragmentación	
Natural	Manglar	0.31	Insularizado
	Cuerpos de agua	0.02	Insularizado
	Otros humedales	0.67	Altamente Fragmentado
Total		1.00	
Antrópico	Desarrollo Antrópico	0.31	Insularizado
	Agrícola-pecuario	0.47	Insularizado
	Otra vegetación	0.21	Insularizado
	Sin vegetación	0.00	Insularizado
Total		1.00	

Tabla 28. Índice de fragmentación del año 2023.

Usos de suelo 2023		Índice de grado de fragmentación	
Natural	Manglar	0.25	Insularizado
	Cuerpos de agua	0.01	Insularizado
	Otros humedales	0.74	Fragmentación Moderada
Total		1.00	
Antrópico	Desarrollo Antrópico	0.42	Insularizado
	Agrícola-pecuario	0.27	Insularizado

	Otra vegetación	0.30	Insularizado
	Sin vegetación	0.01	Insularizado
	Total	1.00	

12.7.3. Distancia media al fragmento vecino más cercano

En todos los años estudiados, la clase de Desarrollo Antrópico es la que tiene más distancia media entre sus fragmentos, es decir, más lejanos entre sí. En los mapas de las clasificaciones de uso de suelo se puede observar que, si bien en 2008 y 2015 aparecen dos desarrollos inmobiliarios de gran superficie, también aparecieron más asentamientos por todo el sur y sureste del polígono, y otros sitios aislados con pequeñas áreas. Es decir que, el Desarrollo Antrópico creció como se ha venido comprobando, pero a la vez se extiende por todo el Sistema Ambiental, por lo que se explica que las distancias medias no presentan mucha variación.

El Manglar y los Cuerpos de agua son las clases que por lo general se observaron con mayor cercanía entre sus fragmentos (y suelo Sin vegetación en 2015). Sin embargo, haciendo la comparación amplia entre 2001 y 2023, se puede estimar que la distancia media aumenta 76 m entre los fragmentos de Manglar, lo que sí indica aislamiento entre ellos.

Otras clases cuya distancia media entre fragmentos aumentó durante el periodo general (2001-2023) fueron los Otros humedales (53 m.), Agrícola-pecuario (21 m.), y Otra vegetación (409 m.), siendo ésta última la que más aumenta. Por el contrario, los usos de suelo que reducen la distancia entre sus fragmentos son: Cuerpos de agua (271 m.), Desarrollo Antrópico (2 m.), y el suelo Sin vegetación (6 m); los dos últimos prácticamente sin diferencia. En las tablas siguientes se muestran los resultados para cada año.

Tabla 29. Distancias medias al fragmento vecino más cercano de cada clase del Sistema Ambiental en el año 2001.

Año 2001		Distancia media al fragmento vecino más cercano (m)		
	Uso de suelo	Media	Mínima	Máxima
Natural	Manglar	2786.58	35.33	8208.77
	Cuerpos de agua	2984.53	21.87	6979.39
	Otros humedales	3656.18	25.58	8898.90
Antrópico	Desarrollo Antrópico	3769.39	21.27	9491.35
	Agrícola-pecuario	3653.84	24.23	9052.34
	Otra vegetación	3270.43	38.58	9238.21
	Sin vegetación	3501.06	29.35	8967.34

Tabla 30. Distancias medias al fragmento vecino más cercano de cada clase del Sistema Ambiental en el año 2008.

	Año 2008	Distancia media al fragmento vecino más cercano (m)		
	Uso de suelo	Media	Mínima	Máxima
Natural	Manglar	2616.06	37.04	8386.56
	Cuerpos de agua	3001.40	21.15	7671.24
	Otros humedales	3714.87	24.64	9450.79
Antrópico	Desarrollo Antrópico	3891.68	21.21	9472.13
	Agrícola-pecuario	3653.93	31.71	9456.64
	Otra vegetación	3586.99	33.43	9417.30
	Sin vegetación	3823.03	33.43	8931.77

Tabla 31. Distancias medias al fragmento vecino más cercano de cada clase del Sistema Ambiental en el año 2015.

	Año 2015	Distancia media al fragmento vecino más cercano (m)		
	Uso de suelo	Media	Mínima	Máxima
Natural	Manglar	3366.67	21.21	9331.08
	Cuerpos de agua	3526.53	42.41	7666.81
	Otros humedales	3759.23	21.63	9456.07
Antrópico	Desarrollo Antrópico	3921.60	21.27	9513.20
	Agrícola-pecuario	3707.59	31.48	9441.83
	Otra vegetación	3581.37	24.23	9415.56
	Sin vegetación	2965.59	37.47	7080.07

Tabla 32. Distancias medias al fragmento vecino más cercano de cada clase del Sistema Ambiental en el año 2023.

	Año 2023	Distancia media al fragmento vecino más cercano (m)		
	Uso de suelo	Media	Mínima	Máxima
Natural	Manglar	2863.15	33.98	8978.77
	Cuerpos de agua	2713.39	37.47	5322.49
	Otros humedales	3710.05	30.94	9494.03
Antrópico	Desarrollo Antrópico	3766.84	21.27	9514.31
	Agrícola-pecuario	3675.84	29.98	9473.46
	Otra vegetación	3679.58	24.44	9393.47
	Sin vegetación	3494.24	37.47	9316.04

12.7.4. Índice de presión circundante

El índice arrojó que, en todos los años estudiados, el Manglar se encuentra rodeado en su mayoría por Otra vegetación. Como se ha dicho en los anteriores apartados, en los años recientes el Desarrollo antrópico y Agrícola-pecuario van ganando terreno; finalmente, para el último año, aumenta más el perímetro de Desarrollo antrópico que rodea al Manglar y por lo tanto la presión ejercida en la ANP.

En los Otros humedales, durante el periodo 2001 al 2008, la clase antrópica que ejerció mayor presión fue el uso Agrícola-pecuario; y del 2015 al 2023 pasa a ser el Desarrollo antrópico, parecido a la situación de manglar.

En cuanto a los Cuerpos de agua, en todos los años, el Desarrollo antrópico es el uso que más ha ido presionando a los fragmentos, que en su mayoría se encuentran dentro de humedales, esta presión ha ido aumentando progresivamente a lo largo de los 20 años.

Tabla 33. Índice de la presión circundante en el subsistema natural ejercida por clases antrópicas del año 2001.

Clase	Clase vecina	Ponderación (P)	Perímetro total (Pt)	P x Pt
Agua	Sin vegetación	18	90.00	1620.00
Agua	Agrícola-Pecuario	25	75.00	1875.00
Agua	Desarrollo Antrópico	35	1673.17	58561.02
Humedales	Agrícola-Pecuario	25	156182.12	3904552.91
Humedales	Desarrollo Antrópico	35	103256.27	3613969.54
Humedales	Sin vegetación	18	19362.15	348518.64
Humedales	Otra vegetación	13	92718.21	1205336.79
Manglar	Agrícola-Pecuario	25	630.00	15750.00
Manglar	Desarrollo Antrópico	35	240.00	8400.00
Manglar	Otra vegetación	13	6240.00	81120.00

Tabla 34. Índice de la presión circundante en el subsistema natural ejercida por clases antrópicas del año 2008.

Clase	Clase vecina	Ponderación (P)	Perímetro total (Pt)	PxPt
Agua	Agrícola-Pecuario	25	29.92	748.04
Agua	Desarrollo Antrópico	35	3521.45	123250.71
Agua	Otra vegetación	13	74.80	972.44
Humedales	Agrícola-Pecuario	25	220536.97	5513424.33
Humedales	Desarrollo Antrópico	35	125506.36	4392722.43
Humedales	Otra vegetación	13	43469.41	565102.36
Humedales	Sin vegetación	18	6662.60	119926.78
Manglar	Agrícola-Pecuario	25	1577.37	39434.33
Manglar	Desarrollo Antrópico	35	59.84	2094.49

Manglar	Otra vegetación	13	13575.41	176480.29
---------	-----------------	----	----------	-----------

Tabla 35. Índice de la presión circundante en el subsistema natural ejercida por clases antrópicas del año 2015.

Clase	Clase vecina	Ponderación (P)	Perímetro total (Pt)	PxPt
Agua	Agrícola-Pecuario	25	120.00	3000.00
Agua	Desarrollo Antrópico	35	2677.75	93721.15
Agua	Otra vegetación	13	180.00	2340.00
Humedales	Agrícola-Pecuario	25	116836.45	2920911.30
Humedales	Desarrollo Antrópico	35	107440.10	3760403.62
Humedales	Otra vegetación	13	49948.42	649329.49
Humedales	Sin vegetación	18	15.00	270.00
Manglar	Agrícola-Pecuario	25	6876.32	171907.98
Manglar	Desarrollo Antrópico	35	9617.71	336620.02
Manglar	Otra vegetación	13	24789.00	322256.96

Tabla 36. Índice de presión circundante ejercidos por clases antrópicas en el subsistema natural del año 2023.

Clase	Clase vecina	Ponderación (P)	Perímetro total (Pt)	PxPt
Agua	Desarrollo Antrópico	35	4282.84	149899.29
Agua	Agrícola-Pecuario	25	0.00	0.00
Humedal	Desarrollo Antrópico	35	193097.33	6758406.45
Humedal	Otra vegetación	13	72355.64	940623.30
Humedal	Agrícola-Pecuario	25	135542.78	3388569.53
Humedal	Sin vegetación	18	405.00	7290.00
Manglar	Desarrollo Antrópico	35	14566.34	509822.05
Manglar	Otra vegetación	13	17213.43	223774.55
Manglar	Agrícola-Pecuario	25	4455.00	111375.00
Manglar	Sin vegetación	18	45.00	810.00

El valor dentro de las celdas representa el número de clases antrópicas que se encuentran ejerciendo presión a cada una de las clases naturales. Es decir, a manera de resumen, se presenta cuántas clases antrópicas ejercieron una presión: muy débil, débil, media, alta y muy alta, durante el periodo 2001-2023, en los fragmentos del subsistema natural para evaluar que tanto han sido afectados por la presión antrópica.

Por ejemplo, en el caso del Manglar, en 2001 dos de las clases ejercían una presión muy

débil y una. débil; en 2015 las tres ejercen presión débil y en 2023 una clase pasa a ejercer un nivel medio de presión. Por otro lado. en los Otros humedales la situación empeora un poco pues desde el 2001. las clases ejercen presiones entre un nivel medio y muy alto lo cual. en general. se mantiene así para los siguientes años.

Tabla 37. Clasificación de los índices de presión circundante ejercidos por clases antrópicas en el subsistema natural del 2001 al 2023.

Índice de presión circundante	Subsistema natural			
	Rango PUC	Cuerpos de agua	Humedales	Manglar
Muy débil	<81120	3		2
Débil	≥81120 < 348518.64			1
Medio	≥348518.64 < 1205336.79		1	
Alto	≥1205336.79 < 3904552.91		2	
Muy alto	≥3904552.91		1	
Índice de presión circundante	Subsistema natural			
2008	Rango PUC	Cuerpos de agua	Humedales	Manglar
Muy débil	<81120	2		2
Débil	≥81120 < 348518.64	1	1	1
Medio	≥348518.64 < 1205336.79		1	
Alto	≥1205336.79 < 3904552.91			
Muy alto	≥3904552.91		2	
Índice de presión circundante	Subsistema natural			
2015	Rango PUC	Cuerpos de agua	Humedales	Manglar
Muy débil	<81120	2	1	
Débil	≥81120 < 348518.64	1		3
Medio	≥348518.64 < 1205336.79		1	
Alto	≥1205336.79 < 3904552.91		2	
Muy alto	≥3904552.91			
Índice de presión circundante	Subsistema natural			
2023	Rango PUC	Cuerpos de agua	Humedales	Manglar
Muy débil	<81120		1	1
Débil	≥81120 < 348518.64	1		2
Medio	≥348518.64 < 1205336.79		1	1
Alto	≥1205336.79 < 3904552.91		1	
Muy alto	≥3904552.91		1	

12.8. Discusión.

Como era de esperarse el desarrollo antrópico ha ganado terreno a lo largo de los años; desde luego. ha aumentado la presión circundante que ejerce en el manglar y humedales

de Arroyo Moreno-Tembladeras durante los años estudiados. Lo que ha ocurrido en el Sistema Ambiental es que el aumento de edificaciones y construcciones inmobiliarias, han empujado, más que los otros usos, los cambios en la composición del paisaje. Esto se relaciona con lo que menciona Chong en 2015, que, de acuerdo a su análisis de expansión y transformación del territorio, menciona en a partir de año 2000 se fue dando un crecimiento habitacional-comercial hacia el centro de la microcuenca de la Laguna Olmeca-Puente Moreno, mismo que afectó al área natural arroyo moreno, ya que en el año 2000 había tan sólo 87.38 km² y en 2010 había un aumento de 111.25 km² (Chong, 2019).

En el caso de la REAM, se observa que la conformación de la ANP como una política pública ha incidido a que la zona de manglar no solo se mantenga, sino que también gane terreno; aunque en mucho menor proporción al desarrollo antrópico. No así con los humedales de la RETLO, que han disminuido su extensión territorial, dando paso en su mayor parte a asentamientos humanos.

La vegetación secundaria obtiene ganancia a lo largo de los años, en las áreas antes de uso agropecuario; los parches de esta vegetación por lo general tienen formas ovales y áreas importantes, lo que indica una variabilidad de cobertura que se alterna con diferentes usos. Por otro lado, es posible identificar que la actividad agrícola-pecuaria ha disminuido, siendo este uso de suelo el que tiene la mayor pérdida de cobertura a lo largo del periodo de estudio, específicamente durante el último periodo (2015-2023); esta identificación presta oportunidad a futuros estudios que indaguen en las causas de dicho cambio de uso.

En lo que respecta a la fragmentación del paisaje, el índice de diversidad de formas mostró que aun desde 2001, no se encontraban parches redondos de manglar o humedales de área significativa, que estuvieran más compactos o sin fragilidad ante la intervención antrópica. Inclusive el parche de manglar de mayor superficie de la REAM (187 ha.), a pesar de observarse espacialmente compacto presenta una forma irregular y un perímetro muy extenso y alargado, lo que quiere decir que desde entonces se encuentra expuesto y muy en contacto con las alteraciones del exterior, principalmente la zona urbana de Boca del Río que lo rodea. Lo mismo pasa con los parches de humedales de la Reserva Tembladeras con las superficies más amplias (169.62 y 229.89 ha.) que en los últimos años pasan de una forma rectangular (aunque no es la más deseada) a una irregular. Esto es importante ya que las áreas fragmentadas crean un efecto borde, que en el caso de los espacios transformados son contrastes más abruptos, que generan procesos de degradación progresiva como menciona Gurrutxaga en su artículo (2006).

Los fragmentos de mangle y humedales presentaron además de incremento en número, mayor aislamiento entre ellos y disminución de su superficie promedio. Por el contrario, en la clase de desarrollo antrópico, la vegetación secundaria y el suelo sin vegetación

disminuye el número de fragmentos y el tamaño promedio. indicando mayor compactación. esto se relaciona con los datos que se aplicaron en la actualización del Monitoreo de los Manglares de México en 2020. pues indican que hubo una disminución entre 1976 y 2020 de la extensión de mangle en el estado de Veracruz y. a pesar de que se incrementó la superficie de áreas naturales protegidas estatales está no rebasa la superficie máxima en 2005. sin embargo. se nota un crecimiento en la cobertura de desarrollo antrópico y disminución en las áreas de agrícola-pecuario como se observó en este estudio.

Aunque por el momento el crecimiento antrópico no ha impactado en una disminución de área de la ANP de Arroyo Moreno. sí ha intervenido en la forma y probablemente el equilibrio ecológico de un fragmento de manglar que queda fuera de la delimitación de la Reserva. y que antes se presentaba más compacto; es de suponer que las presiones antrópicas del área urbana contigua y utilizarse a veces como tiradero informal de residuos sólidos urbanos. esté originando afectaciones en la cobertura de mangle de esa área. tal como reporta Williams y colaboradores (2002) en su artículo sobre la fragmentación de los bosques mesófilos de montaña en Xalapa. Veracruz.

13. CONCLUSIONES.

A partir de la evaluación de las dos décadas estudiadas se puede concretar que las estrategias de crear la ANP Arroyo Moreno han frenado en gran medida la pérdida de cobertura vegetal de importancia como lo es el manglar; sin embargo. la región ha preferido dar paso a la creación de fraccionamientos y a actividades antropogénicas a costa de actividades agrícolas-pecuarias y humedales de la ANP Tembladeras-Laguna Olmeca. siendo estos últimos los que más se han impactado en términos ecológicos.

Por otro lado. la fragmentación del paisaje natural y la presión ejercida por las actividades antrópicas sí es un hecho constatable en el Sistema Ambiental. Es importante mencionar que ya no hay mucho espacio que pueda sumar a esta tendencia. por lo que es necesario dar seguimiento y promoción a la conservación de las áreas naturales protegidas. De igual manera. el seguimiento de las áreas de amortiguamiento de las ANP también es de particular atención ya que son el área donde interactúan los componentes ecológicos de las mismas y los usos que las rodean.

Por otro lado. el uso de tecnología para la fotodetección contribuye a mejorar la obtención y procesamiento de información. misma que permite elaborar estudios más complejos; que plasmen con mayor eficiencia y facilidad el comportamiento de área de mayor importancia como los son las áreas naturales protegidas. por lo tanto. es de vital importancia; mejorar la enseñanza dirigida a realizar estudios utilizando los VANT y las

herramientas que proporcionan los programas de SIG.

14. RECOMENDACIONES.

Ante la observación de las tendencias en el uso de suelo en la zona de estudio se recomienda lo siguiente:

1. Evaluar la posibilidad de integrar la REAM y la RETLO como una sola área natural protegida; elevando incluso su categoría como ANP estatal e incorporando todo el sistema ambiental que lo conforma; con el objetivo de frenar el cambio de uso de suelo en la región.
2. Fortalecer las políticas públicas de conservación de la zona mediante la revisión, conformación y en su caso publicación de planes de manejo de las reservas ecológicas, que puedan aportar un marco legal ejecutable que evite la pérdida de hábitats de importancia para la zona asociada a los manglares de Arroyo Moreno.
3. Conformar un plan a corto mediano y largo plazo interinstitucional que ayude a objetivos conservacionistas de la zona.
4. Fortalecer actividades de revisión y regulación legal en las zonas destinadas a conservación.
5. Asignación de presupuesto para actividades de reforestación y mantenimiento a las zonas de conservación.

15. REFERENCIAS.

Agüero R. C. J., Teplta M. J. y Torres B. B. Realidad de las ANP. el caso de las altas montañas.



Almeida. A. T., Silveira. L. & Felizola. J. A. 2004. Niche separation between the maned wolf (*Chrysocyon brachyurus*), the crab-eating fox (*Dusicyon thous*) and the hoary fox (*Dusicyon vetulus*) in central Brazil. *Journal of Zoology*. 262: 99-106.

Benavente. F.A. (2010). Aplicación de métricas de Ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el área Metropolitana de Granada. *Anales de geografía de la Universidad Complutense* (Vol. 30. No. 2. p.9). Universidad Complutense Madrid.

Bocco. G., Mendoza. M., Masera. O. R. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación (parte 1). *Investigaciones Geográficas (Mx)*. 18-38.

Briceño. G. (2023). *Ecología: Conceptos y aplicaciones para latinoamerica*. Alpha Editorial.

Castañeda. F. (2019). Tesis de licenciatura: Análisis jurídico del uso de Drones. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca. México.

Chuvieco E. (1996). *Fundamentos de teledetección espacial*. Madrid. España. RIALP. S.A

Chong. M. (2015). *Expansión y Transformación del territorio: La ineficiencia de los fraccionamientos urbanizados Zona conurbana de Veracruz*. México. Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

Chong. M. (2019). La vulnerabilidad de las áreas urbanas y de las áreas naturales en la periferia de la zona conurbada de Veracruz. *Anuario de espacio urbanos. historia. cultura y diseño*. ISSN 2448-8828.

Fernández Núñez. M. y Prados Velasco. M. J. (2010). Cambios en las coberturas y usos del suelo en la cuenca del río Guadalupe (1975-1999). *GeoFocus*. Disponible en www.geofocus.org/articulo7_2010. Consultado el domingo 21 de agosto de 2011.

Fontal. B. (2005). *El espectro Electromagnético y sus aplicaciones*. Editor: Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química. Mérida.

Gamboa. D. (2021). Tesis de ingeniería: Análisis de la firma espectral en la especie *Polylepis reticulata* con imágenes Sentinel 2 en el bosque sachafilo. Parroquia pasa. Cantón Ambato. provincia de Tungurahua. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Garybay Pardo Leticia. 2006. *Desarrollo comunitario: base para las propuestas de conservación y manejo del manglar arroyo moreno*.

Gelambi. Mariana. (6 de diciembre de 2018). Abundancia relativa: qué es y cómo se estudia. *Lifeder*. Recuperado de <https://www.lifeder.com/abundancia-relativa/>.

Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave (2011). Decreto por el que se declara Área Natural Protegida en la categoría de Reserva Ecológica Tembladeras-Laguna Olmeca. *Gaceta Oficial*. Recuperado de: <http://dns.veracruz-programa.gob.mx/opg/Guia2/paginas/Archivos/DECRETOS/408.pdf>

Gurrutxaga. M. (2006). Efectos de la fragmentación de Hábitats y pérdida de conectividad ecológica dentro de la dinámica territorial. *Revista de geografía*. 16: pp.35-54.

Hernández. J. (2011). *Procesamiento digital de imágenes: Apuntes de clases*. Universidad de Chile. ISBN 978-956-353-324-8.

Hubbell. S. P. 2001. *The unified neutral theory of biodiversity and biogeography*. Princeton

University Press. Princeton. N.J.

Jenks. K. E., Chanteap. P., Damrongchainarong. K., Cutter. P., Cutter. P., Redford. T., Lynam. A. J., Howard. J., & Leimgruber. P. 2011. Using relative abundance indices from camera-trapping to test wildlife conservation hypotheses - an example from Khao Yai National Park, Thailand. *Tropical Conservation Science*. 4: 113-131.

Julián Pérez Porto y Ana Gardey. Publicado: 2009. Actualizado: 2021. Definicion.de: Definición de mamíferos (<https://definicion.de/mamiferos/>).

Lambin. E. F., Geist. H. J., and Lepers. E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environmental Resources*. 28(1): 205-241.

Li. X., Levin. N., Xie. J., & Li. D. (2020). Monitoring hourly night-time light by an unmanned aerial vehicle and its implications to satellite remote sensing. *Remote Sensing of Environment*. 247. 111942.

Lira-Torres. I. & Briones-Salas. M. 2011. Impacto de la ganadería extensiva y cacería de subsistencia sobre la abundancia relativa de mamíferos en la Selva Zoque, Oaxaca, México. *Therya*. 2: 217- 244.

López-Portillo. J. A., L. R. Gómez-Aguilar y V. Vázquez. Criterios para la selección del sitio de manglar Arroyo Moreno. en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2009. Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO. México. D.F.

López. P., Vázquez. R., Gómez. A. y Priego. A. (2010). Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz; Enrique Florescano, Juan Ortíz Escamilla, coordinadores. México: Gobierno del Estado de Veracruz: Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana: Universidad Veracruzana. 2010. V.1. p.227-248. ISBN 9786079513160.

Maffei. L., Cuellar. E. & Noss. J. 2002. Uso de trampas cámara para la evaluación de mamíferos en el ecotono Chaco-Chiquitanía. *Revista boliviana de ecología y conservación ambiental*. 11: 55-65.

Martínez. J. (2020). Tesis de ingeniería: Estudio y caracterización de materiales estructurales para drones. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena. Colombia.

Mejía. P. y Mármol R. (2023). Elaboración de mapas de flujo de calor y procesamiento de datos, utilizando imágenes satelitales e instrumentos de medición de temperatura. Tesis de ingeniería. Universidad de el Salvador. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Monroy-Vilchis. O., Zarco-González. M., Rodríguez-Soto. C., Soria-Díaz. L. & Urios. V. 2011. Fototrampeo de mamíferos en la Sierra Nanchititla, México. *Revista de Biología Tropical (International Journal of Tropical Biology)*. 59: 373-383.

Morruzzi. T. L., Fuller. T. K., DeGraaf. R. M., Brooks. R. T. & Li. W. 2002. Assessing remotely triggered cameras from surveying carnivore distribution. *Wildlife Society Bulletin*. 30: 380-386.

Patton D.R. 1975. A diversity index for quantifying habitat edge. *Wildlife Society Bulletin* 3: 171 – 17

Pineda. 2011. Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de valle de Santiago.

Prados Velasco. M.J., y Fernández Núñez. M. (2010) Cambios en las coberturas y usos de suelo

en la cuenca del río Guadalfeo (1975-1999). *Ppmode*. 10. 158-184.

Rodrigues. T., Rodríguez-Pinzón. E. y Waever. O. (2020). *Pensamiento Propio. Militarización y seguridad pública en las Américas. Edición especial*. 51.

Rojas. G. (2020). *Generación de cartografía de ocupación y uso de suelo mediando el uso de técnicas de Percepción remota en la región centro del Estado de Guerrero. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Guerrero*.

Rovero. F. & Marshall. A. 2009. Camera trapping photographic rate as an index of density in forest ungulates. *Journal of Applied Ecology*. 46: 1011-1017.

SEMARNAT. (2021). ANP <https://www.gob.mx/conanp/documentos/areas-naturales-protegidas-278226>

SEMARNAT (2022). *Guías de Impacto Ambiental*. www.gob.mx/semarnat/documentos/guias-de-impacto-ambiental.

Servicios de Mantenimiento y Logística del Golfo. s.a de c.v/ Servicio y Consultoría especializados del Carmen. s.a. de c.v./ACC Ingeniería y servicios especializados. s.a. de c.v. (2020). *Informe de la subpartida 2.13.1 "Programa de alidad de paisaje. fragmentación. avistamientos de fauna y cambio de uso de suelo. en época de secas (incluye captura de carbono) del SAR en el Proyecto regional Macuspana"*.

Silveira. L., Jácomoa. A. & Diniz-Filhoa. J. 2003. Camera trap. line transect census and track surveys: a comparative evaluation. *Biological Conservation*. 114: 351-355.

Sobrino. J. A., Raissouni. N., Kerr. Y., Oliso. A., López-García. M.J., Belaid. A., El Kharraz. M.H., cuenca. J., Dempere. L. (2000). *Teledetección*. Sobrino. J.A. (Ed.) Servicio de Publicaciones. Universidad de Valencia (ISBN 84-370-4220-8). Valencia. España.

Sutherland. W. 1996. *Ecological Census Techniques*. Cambridge University. Cambridge. Gran Bretaña

Turner. B. L. y Meyer. W. B. (1994). *Global land use and land cover change: an overview*. en W. B. Meyer y B. L. Turner ii. *Changes in land use and land cover: a global perspective*. Cambridge University Press.

United States Geological Survey (2023). <https://www.usgs.gov/>

Vitousek. P.M., H. A. Mooney. J. Lubchenco y J.M. Melillo. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277:494-499.

Yasuda. M. 2004. *Monitoring diversity and abundance of mammals with camera traps: a case study on Mount Tsukuba. central Japan*. *Mammal Study*. 29: 37-46

Williams. G., Manson. R. y Isunza. E. (2002). *La fragmentación de los bosques mesófilos de montaña y patrones de uso de suelo en la región oeste de Xalapa. Veracruz. México*. *Madera y Bosques* 8(1). 2002: pp 73-89.

Wilson. D. E., Rusell. F., Nichols. J. D., Rudran. R. & Foster. M. S. (Eds.). 1996. *Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standar Methods for Mammals*. Smithsonian Institution Press. Washington and London



2024
AÑO DE
Felipe Carrillo
PUERTO
GOBIERNO DEL PROLETARIADO,
DESARROLLO Y DEFENSA
DEL PAÍS