



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFÍA



TESIS

**Detección de cambios de la cobertura de manglar en la Barra de
Tecoanapa Guerrero aplicando técnicas de percepción remota**

Que para obtener el título de

LICENCIADA EN GEOGRAFÍA

Presenta:

María Isabel Ángeles Rivera

Asesor: Mtro. José Mauricio Galeana Pizaña

Ciudad Universitaria, CD. MX.

Marzo de 2019.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme permitido aprender y prepararme profesionalmente y haber hecho de mí una mejor persona.

A mis padres por haberme dado la vida, por haberme educado con amor y paciencia demostrándome que la herencia más valiosa que podrán dejarme es el estudio y la preparación con pasión y dedicación para ser mejor cada día. Yo sé que no tienen la mejor estudiante como hija pero me llena de felicidad que en estos momentos se sientan orgullosos de su hija geógrafa, los quiero mucho.

A Mauricio Rito, no sé cómo fue que te encontré en mi camino pero posiblemente fue lo mejor que me ha pasado hasta ahora en la vida, muchas gracias por ayudarme, apoyarme e incluso mostrarme mis errores y ayudarme a repararlos porque eso hace un compañero de vida, potenciar lo mejor de cada uno; esta etapa de mi vida no la hubiera podido lograr sin ti. Te amo flais.

A mi asesor Mauricio Galeana, gracias por tus enseñanzas, por tu tiempo dedicado, por confiar en mí al aceptar dirigir mi tesis, por tus lecciones en clase, en fin... Eres un buen profesor y excelente profesional, pero sobre todo eres una magnífica persona.

A la Lic. Teresa López, Lic. José Luis Hernández, Mtro. José Manuel Espinoza y Dra. Olivia Salmerón, gracias por la retroalimentación para mejorar mi tesis, por las clases que alguna vez me dieron y me hubiera gustado aprovechar aún más, gracias por ser parte del jurado.

A mis hermanos Alejandra y Arturo por haber crecido y convivido juntos hoy y siempre, y demostrarme a su manera lo que les importa que triunfe profesionalmente.

A toda mi familia por demostrarme su interés en mí y las metas de mi vida, por apoyarme y ofrecerme siempre su ayuda en cualquier situación por difícil que sea.

A quien nunca vi, no conocí, nunca le hablé pero lo amé...

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

Capítulo 1. Marco Teórico - Conceptual

| | |
|--|----|
| 1.1 Detección de cambios de cobertura y uso de suelo | 11 |
| 1.2 Degradación Ambiental | 19 |
| 1.3 Deforestación Ambiental | 19 |
| 1.4 Degradación y Deforestación en México | 20 |
| 1.5 ¿Qué es un Humedal? | 24 |
| 1.5.1 Los recursos y servicios que brindan los humedales | 26 |
| 1.6 ¿Qué es un manglar? | 29 |
| 1.5.1 Características físicas del manglar | 30 |
| 1.5.2 Importancia y principales servicios ecosistémicos del mangla | 35 |
| 1.5.3 Impactos , amenazas y situación actual del manglar | 38 |

Capítulo 2. Principales Fundamentos de la Percepción Remota

| | |
|---|----|
| 2.1 ¿Qué es la percepción remota?..... | 41 |
| 2.1.1 Breve historia de la percepción remota | 42 |
| 2.1.2 Principios teóricos de la percepción remota..... | 43 |
| 2.2 Fundamentos de la radiación electromagnética..... | 44 |
| 2.2.1 El comportamiento de la radiación..... | 46 |
| 2.2.2 El espectro electromagnético..... | 49 |
| 2.2.3 Respuesta espectral de las cubiertas terrestres..... | 52 |
| 2.2.4 Características espectrales de la vegetación | 53 |
| 2.3 Sistemas Satelitales | 55 |
| 2.3.1 Clasificación y características de los sensores..... | 55 |
| 2.3.2 El programa LANDSAT..... | 58 |
| 2.3.3 Tipos de imágenes de acuerdo a su resolución espectral..... | 61 |

Capítulo 3. Zona de Estudio

| | |
|---|----|
| 3.1 Descripción del área de estudio | 63 |
| 3.1.1 Localización | 63 |
| 3.1.2 Clima | 65 |
| 3.1.3 Hidrología | 65 |
| 3.1.4 Edafología | 66 |
| 3.1.5 Vegetación y Fauna | 67 |
| 3.1.6 Población | 68 |

Capítulo 4. Desarrollo Metodológico

| | |
|---|----|
| 4.1 Principios teóricos del programa CLASlite | 75 |
| 4.1.1 Calibración de imágenes | 76 |
| 4.1.2 Clasificación de cobertura fraccional | 77 |
| 4.1.3 Clasificación de cobertura boscosa | 80 |
| 4.1.4 Detección de cambio del bosque | 81 |
| 4.2 Aplicación de la metodología | 84 |
| 4.2.1 Recolección de Insumos | 84 |
| 4.2.2 Procesamiento de imágenes | 85 |

| | |
|--|-----|
| RESULTADOS | 98 |
| I. Cobertura boscosa del manglar | 98 |
| II. Deforestación del manglar | 102 |
| III. Perturbación del manglar | 105 |
| IV. Trabajos de investigación vinculados | 108 |
| CONCLUSIONES | 110 |
| GLOSARIO | 113 |
| BIBLIOGRAFÍA | 115 |

INTRODUCCIÓN

En el estado de Guerrero, la vegetación en general se ha reducido en dos décadas a partir de 1980 en un 36%; a consecuencia de ello, se han visto afectados los mantos freáticos, lo que ha provocado un desabasto de agua en los centros de población, por lo que el ritmo de la destrucción ambiental en el estado es rápido (UACJ, 2013; Biodiversidad, conservación y áreas naturales protegidas en el estado de Guerrero, 2002, Recuperado 24 de agosto de 2018 de <http://sinacver.mx/anpbook/ANP/Cap%C3%ADtulo%202.pdf>). Existen cinco áreas protegidas en el estado de Guerrero de las cuales el santuario de Tierra Colorada tiene colindancia con el área de estudio, sin embargo, los decretos de áreas protegidas puntualiza la exclusividad para la protección de la tortuga marina, es decir, de la especie y no de su hábitat, por lo que no se han dado a la tarea de conservar los ecosistemas como el manglar (Ibidem). Actualmente, se siguen dando casos donde los bosques de manglar se ven afectados por la destrucción del hábitat, la contaminación y la sobreexplotación de los recursos por actividades de alto impacto ambiental como la mala planificación en el desarrollo urbano, industrial y turístico; desarrollo agrícola, ganadero y acuícola reduciendo superficies de manglares (Rodríguez et al., 2013).

La importancia de los humedades es diversa, dado que abarca desde ser vasos reguladores de agua, auxiliares para el tratamiento de aguas residuales de manera natural; han funcionado como un receptor de desechos orgánicos tanto vegetales como antrópicos, ya que, por su naturaleza de procesar desechos, son importantes para una fase en el ciclo biogeoquímico (Sánchez *et al.*, 2007); son barreras naturales para desastres naturales como ciclones y huracanes; para el caso de humedales en zonas costeras como el bosque de manglar; son bioindicadores de áreas de riesgo para la construcción por ser terrenos inundables. Además de las funcionalidades mencionadas, sirven de protección para la fauna en anidación ya que hacen la función de incubadoras de diversas especies; además de proporcionar alimento para éstas, son de gran utilidad para la agricultura de cultivos en zonas inundables (Moreno e Infante, 2010; Sánchez

et al., 2007) como las hortalizas en las zonas chinamperas de la Ciudad de México donde, además, se cultivan flores de ornamento y otras plantas (Guidefor Cool Men. Tradición Milenaria, 2008 citado en González y Torres, 2014; Moreno e Infante, 2010).

Los humedales son una cobertura vegetal y por ello son importantes para el entorno físico y natural; funcionan como un sistema, por lo que deben ser considerados antes de la puesta en marcha de cualquier proyecto de tipo: hídrico, de explotación, social, eco turístico, agrícola, industrial, entre otros, que tenga por objeto desarrollarse en el área que ocupa dicha cobertura vegetal (Monitoreo de la cobertura de suelo, 2012, Recuperado el 30 abril de 2017 de http://www.biodiversidad.gob.mx/país/cobertura_suelo/).

La detección de cambios en la Barra de Tecoaapa en los municipios de Marquelia y Cuajinicuilapa en el estado de Guerrero prevendría la desecación futura y mantendría los bosques de manglar de forma idónea para la filtración de agua, proceso importante dado que se tiene una escasez de agua en el estado y a nivel global (Israel Díaz, marzo, 20018 “Ríos de Guerrero, de los más contaminados” Novedades Acapulco, revisado de <https://novedadesaca.mx/rios-de-guerrero-los-contaminados/>); el Sistema de Monitoreo de los manglares de México (SMMM), generado por CONABIO, evalúa cada cinco años a partir del 2005 la distribución espacial de los manglares así como las condiciones en las que se encuentra, en su último monitoreo del 2010 a 2015, registro una pérdida de 1448 ha y 117 ha en los estados de Guerrero y Baja California Sur respectivamente (CONABIO, 2015), sin embargo, el monitoreo es a nivel estatal, lo que imposibilita saber que zonas son las afectadas y si existe un plan de manejo respecto al manglar, ya que hasta el año 2009 no pertenece a ninguna área natural protegida ni tampoco es un sitio Ramsar (Tovilla Hernández, 2009).

La detección de cambios en imágenes satelitales es una de las técnicas más funcionales e importantes de la percepción remota y los sistemas de información geográfica dentro del campo de los estudios ambientales (Darío y Dos Santos, 2005). La percepción remota permite darle seguimiento a los procesos que se

presentan en la superficie terrestre, los cuales se mantienen en constante cambio y que difícilmente se pueden seguir de cerca para su estudio (Franklin, 2001). Preservar y conservar de una forma apropiada los ecosistemas que cubren la superficie terrestre, es un objetivo importante para las ciencias ambientales incluyendo la Geografía, que con la ayuda de la tecnología ha desarrollado nuevos métodos de análisis con un enfoque geoespacial.

Mediante técnicas de percepción remota como el tratamiento digital de imágenes satelitales y obtención de cálculos usando sistemas de información geográfica se calculó la superficie del manglar para el año 2017, así como los cambios negativos que se ha presentado en él, como la deforestación y la perturbación en un lapso de 16 años a partir del 2001 al 2017 en dos tiempos de nueve años y siete años respectivamente, se usaron datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en formato shape de las series de uso de suelo y vegetación III, IV y VI de los años 2003, 2010 y 2016 respectivamente, los datos en formato shape se encuentran a una escala 1:250 000, lo que podría prestarse a un cálculo de la superficie a nivel estatal y no local.

El trabajo está dividido en tres capítulos. El primero de ellos está referido al marco teórico- conceptual, en el cual se abordan conceptos enfocados en la detección de cambios de la cobertura del manglar, deforestación y degradación ambiental, así como las principales características, usos y beneficios del manglar para el entorno humano; el segundo capítulo describe las nociones básicas de la percepción remota y las principales descripciones de las imágenes satelitales LANDAST; el tercer capítulo incorpora la descripción del área de estudio como su localización, hidrología, vegetación, entre otras, y dentro de este capítulo se presenta el desarrollo de la metodología, los resultados de la misma se exponen en las conclusiones y discusiones del trabajo.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Detectar los cambios de cobertura de manglar en los humedales de la Barra de Tecoanapa en Guerrero aplicando técnicas de percepción remota.

Objetivos particulares

- Describir las características físico-geográficas de la Barra de Tecoanapa en el estado de Guerrero.
- Analizar las principales características del manglar así como la importancia de este para la vida humana.
- Describir el proceso de degradación del manglar en la Barra de Tecoanapa en el estado de Guerrero.

JUSTIFICACIÓN

En el estado de Guerrero, la vegetación en general se ha reducido en dos décadas a partir de 1980 en un 36%, a consecuencia de ello, se han visto afectados los mantos freáticos, lo que ha provocado un desabasto de agua en los centros de población, además de que el ritmo de la destrucción ambiental en el estado es rápido (UACJ ,2013; Biodiversidad, conservación y áreas naturales protegidas en el estado de Guerrero, 2002, Recuperado 24 de agosto de 2018 de <http://sinacver.mx/anpbook/ANP/Cap%C3%ADtulo%202.pdf>).

Preservar y conservar de una forma adecuada los ecosistemas que cubren la superficie terrestre, es un objetivo importante para las ciencias ambientales incluyendo la Geografía, esta última con la ayuda de la tecnología que con el paso del tiempo le da un lugar importante a la percepción remota y sistemas de información geográfica para el desarrollo de análisis y proyectos desde un enfoque geoespacial.

El conocimiento tanto del área de estudio como de las técnicas que se implementen para el desarrollo de la tesis dará pie a la aplicación de otros métodos en percepción remota para estudios y proyectos que se presenten en la vida académica y laboral del geógrafo.

PROBLEMÁTICA

La detección de cambios en la Barra de Tecoanapa en los municipios de Marquelia y Cuajinicuilapa en el estado de Guerrero prevendría la desecación futura y mantendría los bosques de manglar de forma idónea para la filtración de agua, proceso importante dado que se tiene una escasez de agua en el estado y a nivel Global (Israel Díaz, marzo, 20018 “Ríos de Guerrero, de los más contaminados” Novedades Acapulco, revisado de <https://novedadesaca.mx/rios-de-guerrero-los-contaminados/>).

La cantidad de agua dulce en estado líquido tiene números usos, incluyendo el de consumo humano, lo que ha generado el cambio en el flujo natural de ríos y por ende los humedales se vean afectados (SEMARNAT, 2006 citado en Cázares, 2015).

HIPÓTESIS

De acuerdo con lo reportado por CONABIO en el año 2015, del periodo comprendido de 2010-2015, a nivel nacional se presentó un aumento de 775'554 ha de manglar, mientras que en el estado de Guerrero se presenta una disminución en la superficie de manglar de 1448 ha, por lo que para la zona de Barra de Tecoanapa existe una tendencia en el aumento de la perturbación del manglar que reducirá la superficie de manglar.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

1.1 Detección de cambios de cobertura y uso de suelo

El uso del suelo se expresa como la actividad socioeconómica que se desenvuelve sobre determinado territorio y como consecuencia se obtiene el cambio de la cobertura original de dicho territorio (Rosete, 2008), estos cambios presentaran ciertas características de acuerdo a la magnitud y persistencia con la que se muestran los usos de suelo (Lambin, 1994 citado en Rosete, 2008). Los procesos que se vinculan con la transformación de los usos de suelo y, como consecuencia, de la pérdida de la cobertura, son modelados espacial y temporalmente en estudios de cambio de uso de suelo y pérdida de cobertura, donde el principal objetivo es encontrar y comprender las causas y consecuencias de estos cambios (Long, *et al.*, 2007 citado en Osuna, *et al.*, 2015), estos estudios se presentan de forma interdisciplinaria, donde son agregados conceptos, metodologías y datos obtenidos de acuerdo con su disciplina correspondiente (Manso, 2006 citado en Rosete, 2008).

En vista de que un estudio de cambio de cobertura y uso de suelo es explicado y analizado por diferentes disciplinas, existen modelos de acuerdo con la especialidad que se utiliza para este ejemplo de análisis los cuales, buscan entender como el ser humano transforma y reorganiza la superficie terrestre y sus componentes para beneficio propio con el propósito de plantearse a futuro la forma como se reorganizará el paisaje y con base en esto, saber qué políticas fomentar para un mejor manejo del uso que se le darán a los recursos y el entorno físico desde escalas locales hasta escalas globales (The National Academy of Sciences, 2014).

De acuerdo con The National Academy of Sciences (2014) se han desarrollado una variedad de modelos de cambios de suelo para hacer proyecciones de uso de suelo y cobertura terrestre los cuales se encuentran categorizados de acuerdo con el enfoque del modelo, y son los siguientes:

1. Modelo de Aprendizaje memorizado y enfoque estadístico.- Proporciona posibles escenarios a partir de una combinación de mapas de cobertura terrestre y mapas de variables explicativas como la topografía de un lugar, se puede decir que es un enfoque predictivo pero en si prospectivo, ya que se refiere a un tiempo futuro con base en patrones históricos como los cambios de la cobertura terrestre.

2. Enfoque estadístico celular.- Hacen simulaciones de los cambios de cubierta terrestre usando información y algoritmos sincronizados en todas las unidades espaciales haciendo un modelo del proceso de cambio de coberturas y uso de suelo proyectando posibles cambios de coberturas terrestres usando patrones históricos.

3. Enfoque en el sector económico.- Utiliza modelos estructurales de equilibrio parcial y general para representar la oferta y demanda del suelo por sectores económicos dentro de las regiones basadas en la actividad económica general y el comercio.

4. Separación del espacio económico.- Con un enfoque económico, se evalúan modelos econométricos estructurales para identificar los vínculos entre las causas que influyen en el equilibrio espacial de los elementos de la superficie terrestre.

5. Enfoque basado en los sujetos de estudio.- Modelo que simula las decisiones y acciones de los sujetos de estudios que interactúan entre sí sobre la superficie terrestre para generar cambios en sistemas espaciales como el sistema económico, biológico, edáfico, de transporte, entre otros.

6. Los enfoques combinados.- Abarcan aplicaciones que combinan enfoques diferentes en un único modelo o marco de referencia.

Los modelos se encuentran ordenados de acuerdo con su objetivo, los dos primeros modelos son los más parciales y se basan en visualizar en imágenes satelitales patrones que refieran cambios en el área de estudio; su objetivo es proyectar en periodos cortos cambios que pudieran ocurrir, sin embargo, existe una capacidad limitada para evaluar la condición de la cobertura que es observada. Los demás modelos están basados en el sector económico y la división de éste, en los cuales se utiliza la información de las ciencias sociales sobre los procesos de cambios de cobertura y uso de suelo, proporcionando representaciones más realistas de dichos procesos donde se obtiene un panorama más amplio de lo que ocurre, no obstante, son más difíciles de calibrar y validar, pues sólo pueden proporcionar información cualitativa de los posibles cambios (The National Academy of Sciences, 2014).

El mejor modelo y de cómo funcione dependerá de los objetivos que se están planteando en el estudio, las ventajas de los modelos con fines particulares es que se utilizan en el ámbito político para la toma de decisiones donde se lleva a cabo un proceso en el que primero se identifica el problema, se interviene para establecer una estrategia, posteriormente se toman decisiones y se llevan a cabo, y por último se evalúa que beneficios trajo consigo las decisiones tomadas. No obstante, son los modelos de aprendizaje memorizado y modelado estadístico celular los más adecuados al momento de identificar problemas, son fáciles de implementar y pueden proporcionar valiosas descripciones y proyecciones de modelos y posturas a pesar de carecer de los detalles estructurales en cuanto a su proceso para evaluar los efectos de los cambios en las políticas (*Ibidem*).

Las imágenes de determinada superficie con distintas temporalidades, permiten evaluar los diferentes tipos de cambios y condiciones que presenta la superficie terrestre, este tipo de análisis es de los más importantes que utiliza la teledetección, conocido como detección de cambios. Los análisis más empleados son: el análisis bitemporal que emplea imágenes de dos temporalidades y el análisis multitemporal que trabaja con un ilimitado número de imágenes de diferentes temporalidades, no obstante, es este último el que permite mayor

información visual temporal por la cantidad de imágenes que se manejan. La detección de cambios consiste en comparar los píxeles de una imagen de determinada fecha a otra; sin embargo, los analistas consideran que tiene una precisión baja cuando se realiza la detección sin hacer una clasificación de coberturas previamente (Ross y Bhadauria, 2015).

Los métodos de detección de cambio basados en la respuesta espectral pueden clasificarse de la siguiente manera: Interpretación visual, transformación, álgebra de mapas, clasificación, modelación; estas técnicas son aplicadas tanto en la investigación como en la teledetección. A continuación se describen los métodos y ejemplos de técnicas de cada uno de los métodos:

- Interpretación visual: es una comparación de imágenes de dos fechas diferentes usando técnicas sencillas como el compuesto de color de varias fechas donde se combinan dos imágenes radiométricamente corregidas con sus bandas apiladas para formar la imagen, posteriormente se seleccionan bandas de diferentes fechas para mostrar el cambio; otra forma de visualizar los cambios es cargar la imagen una encima de la otra. También se usa la búsqueda panorámica, el zoom y el puntero para un análisis a detalle. La interpretación visual ayuda a seleccionar mejor la técnica de detección de cambios con base en el objetivo del análisis, el analista usa los tonos, la textura, sombras, patrones, formas, tamaño y asociaciones en la imagen así como el conocimiento de la zona de estudio para obtener resultados más precisos (Campbell, 2011).
- Álgebra de mapas: es la aplicación de operaciones aritméticas en los píxeles de la imagen, las operaciones más comunes son la diferenciación de imágenes, las relaciones de imagen, la distancia euclidiana y el análisis de vectores de cambio. La diferenciación de imágenes es una resta de dos imágenes de diferente fecha con sus respectivas correcciones radiométricas y geométricas que permite discriminar zonas que han sufrido un cambio de una fecha a otra; las zonas que no presenten un cambio tendrán valores

cercanos a cero y los que presenten cambios tendrán un valor significativamente diferente a cero ya sea negativo o positivo; cuando no se visualizan valores negativos, se calcula la constante :

$$NDC = NDt2 - NDt1 + C$$

Donde NDC es el ND correspondiente a la imagen de cambios, $NDt1$ y $NDt2$ corresponden a las imágenes de primer y segundo tiempo respectivamente y C es la constante para evitar valores negativos y los convierta a valores que el equipo de análisis visual de las imágenes pueda leer; el resultado será una imagen con cambios representados en valores bajos o negativos que figuran como tonos oscuros en zonas donde haya reducido sus ND, los valores altos figurados como tonos claros corresponden a las zonas donde se hayan ganado ND y los valores intermedios son zonas donde no existe un cambio. Otra técnica conocida como relación de imagen es la diferencia entre la porción de la superficie terrestre visualizada en una banda de una imagen y esa misma porción de la superficie terrestre visualizada en la banda de otra imagen con distinta fecha donde la primera imagen tiene números digitales de 100 y 24 en el infrarrojo cercano y rojo respectivamente y en la segunda imagen los números digitales de 61 y 36 en las mismas regiones espectrales, la diferencia de la imagen en la banda del infrarrojo cercano es de $100 - 61 = 39$, la relación de la imagen sería de $100 \div 61 = 1.64$ (Campbell, 2011). Estos algoritmos detectan los cambios mayores de ciertos umbrales identificados y proporcionan la información del cambio cuantitativamente en términos de reflectancia (Jiménez, *et al.*, 2011).

- Clasificación: es un método que normalmente no se usa para detección de cambios en la teledetección, sin embargo, siendo una herramienta funcional y potente cuando se combina con otras técnicas que permite saber qué tipo de cambio se presentó y a que se le atribuyo , por ejemplo en un cambio forestal, saber si esos cambios son de bosque a pastizales, áreas agrícolas

o áreas urbanas; la clasificación puede realizarse en todo el área de estudio y hacer la clasificación posterior a la detección de cambio.

Una de ellas es la clasificación supervisada la cual se seleccionan píxeles representativos de cada categoría a clasificar conocidas como áreas de entrenamiento las cuales, deben ser muestras homogéneas de cada clase y al mismo tiempo se debe considerar el rango de variabilidad para cada clase; para verificar las áreas de entrenamiento se valen de fotografías aéreas, trabajo de campo con GPS para la ubicación de las clases de cobertura y cartografía confiable y actualizada. Si existe una variabilidad mayor de la clase ,por ejemplo en el caso de la agricultura que tiende a ser cambiante por cuestiones fenológicas de algún cultivo, se requieren más de una muestra de cada clase; seleccionar áreas o campos de entrenamiento puede ser laborioso porque es difícil asegurar cuantos campos de entrenamiento son suficientes para determinada clase; según Swain (1978, citado en Ormeño, 2006), se requieren de entre 10m y 100m por clase, de las clasificaciones supervisadas podemos encontrar el de vecino más próximo o mínima distancia, entre otros (Jensen, 1996 citado en Chuvieco, 2008).

Otro tipo es la clasificación no supervisada donde el analista no se limita con la homogeneidad de las muestras por lo que se toman muestras heterogéneas entre sí para asegurar todas las posibles clases, estos campos de entrenamiento se someten a un algoritmo de clustering para agruparlos entre sí por lo que cada cluster representa una clase y esta se asume en la fase de asignación de clases al clasificar por completo la imagen, entro los algoritmos de clustering se encuentra el proceso de agrupación o clustering llamado ISODATA el cual elige valores para la media de N-clusters donde clasifica las n muestras asignándolas a la clase cuya media este más cercana, posteriormente recalcula las medias considerando las nuevas asignaciones y si alguna de las medias cambia

vuelve a reclasificar las n muestras y reasigna la clase (Ormeño, 2006; Chuvieco, 2008).

- Transformación: este método transforma los datos originales de la imagen en nuevas composiciones y, usando principios y reglas geométricas, aritméticas o lógicas, hace combinaciones lineales de las bandas existentes; los más utilizados son el análisis de componentes principales (PCA) y la transformación “*Tasseled Cap*” (TTC); en el caso de PCA, reorienta los ejes del espacio de datos multidimensionales de modo que ya no existe ninguna covarianza restante entre las bandas de PC, que son combinaciones lineales de las bandas originales, esta técnica se emplea con frecuencia en ciencias sociales y naturales, su objetivo es resumir la información de un grupo que contiene múltiples variables haciendo un nuevo conjunto sin perder información importante; el resultado es una potente capacidad para proporcionar el mismo contenido de información utilizando menos bandas.

La transformación *Tasseled Cap* utiliza los mismos coeficientes para reorientar los ejes, al igual que PCA obtiene unas nuevas bandas, por combinación lineal de las originales, esto con el objetivo de realzar algunos rasgos que sean importantes para el análisis de detección de cambios, la diferencia con el PCA es que este ofrece componentes más precisos independientemente de la imagen que se esté usando, La TTC fue ideada por Kauth y Thomas para el proyecto LACIE de la NASA y el Departamento de Agricultura estadounidense (USDA) con el objetivo de mejorar la predicción de las cosechas. La TTC demuestra el comportamiento espectral de la vegetación y el suelo, utiliza los tres primeros ejes (brillo, verdor y humedad) (Campbell, 2011; Chuvieco, 2008; Jiménez, *et al.*, 2011).

- Modelación: son modelos que describen y manejan características espaciales de los fenómenos geográficos, el objetivo es convertir los valores de reflectividad de la imagen a parámetros o fragmentos basados

físicamente a través de modelos lineales, no lineales o ambos para que los parámetros transformados sean más fáciles de interpretar y extraer la información que proporcionan las firmas espectrales; la desventaja de estos modelos es que se requiere de tiempo debido a que son modelos difíciles de desarrollar y convertir los valores de reflectividad a parámetros biofísicos; uno de los modelos de este tipo es el modelo de Li-Strahler el cual es un modelo físico asociado a las distorsiones relacionadas a la posición de la Tierra respecto al sol y el sensor en imágenes satelitales, este modelo se basa en la geometría de los rayos paralelos para describir la propagación de la radiación óptica, considera parámetros como el tamaño de los objetos observados, si se traslapan o dejan huecos entre sí, considera la densidad de los objetos, el ángulo de la iluminación y de la reflectancia relativa de los objetos, la sombra provocada por su posición y la superficie sobre la que se encuentran (Jimenez, *et al.*, 2011; Chuvieco, 2008; Medrano, *et al.*, 2013).

Con este tipo de modelos se puede describir el proceso de dispersión de la radiación incidente y determinar la información de las propiedades ópticas y la estructura geométrica de los objetos sobre la superficie, sin embargo, para la detección de cambios, este tipo de modelo requiere de manera externa la información del tipo de cobertura observada. Otro modelo es el análisis lineal de mezclas espectrales el cual explica que la respuesta espectral que se recibe de un pixel es una mezcla de reflectividades de varias cubiertas de la que se encuentran en un solo pixel y supone que es posible identificar los componentes de dicha mezcla, el resultado será varias imágenes de salida como categorías para estudiar basándose en el ND de cada pixel y saber que categoría ocupara; la clasificación tradicional asigna cada pixel a una clase donde se tienen predeterminadas las categorías sin considerar que la radiancia de un pixel puede ser la mezcla de distintas cubiertas (*Ibidem.*) .

1.2 Degradación Ambiental

Aguilera *et al.* (1991) citado en Amestoy (2001) señala a la degradación ambiental como el empobrecimiento gradual y con determinadas características en cualquier grupo biológico donde el hombre actúa de manera cualitativa, aunque menciona que también existe un empobrecimiento de origen natural. La degradación ambiental se considera un cambio negativo en el medio ambiente, específicamente en las estructuras naturales que cubren la biosfera, esto sucede principalmente por actividades antropogénicas que perturban los medios naturales rompiendo un equilibrio por un uso inadecuado, dejando estos improductivos o con baja calidad ecosistémica (Sánchez, 1987 citado en Sánchez y Guiza, 1989d). La degradación o deterioro ambiental provoca un agotamiento de los recursos, agua, aire, suelo, bosques, diversos ecosistemas, entre otros, esto sucede porque los procesos para desarrollar una actividad antropogénica aplicados para obtener acceso al recurso no son considerados con el medio natural. Estos procesos estarán ligados gradualmente con la degradación ambiental en base al desarrollo económico y los procedimientos que emplean para explotar los recursos ecosistémicos en cada país (Zurrita, *et al.*, 2015).

1.3 Deforestación Ambiental

Deforestar es la acción de talar o remover vegetación, especialmente árboles, de determinado lugar, con el objetivo de iniciar proyectos industriales, urbanos, agrícolas, entre otros (Ferre-Veliz, 1978 citado en Sánchez y Guiza, 1989d) La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO 2010) define a la deforestación como una transformación de los bosques a otro tipo de uso de la tierra que como resultado se obtiene la disminución de la copa arbórea del 10% que por causas naturales o antrópicas cambia de manera permanente; se debe tomar en cuenta que se excluye la tala o extracción de madera que considera determinado periodo para la regeneración del recurso de forma natural o utilizando técnicas de silvicultura. La Secretaria de Medio

Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, s.f) citada por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (Guevara *et al.*, 2001) define como deforestación a “la eliminación de la vegetación forestal, o el cambio de uso de suelo hacia usos no forestales”. La FAO (2002b) citada en Martin (2008) propone que se defina a la degradación como la reducción de la capacidad de los bosques de producir los recursos y servicios que estos ofrecen. En México, se considera deforestación para solo determinados bosques que es común que ofrezcan el recurso maderable, sin embargo, es importante mencionar que la deforestación no se limita a bosques templados o de coníferas, una parte importante de manglares, matorrales o pastizales, entre otros ecosistemas, se han visto afectados por la deforestación (Alanís, *et al.*,2009), lo que la convierte en la principal amenaza de la biodiversidad y causa de las principales emisiones de gases de efecto invernadero; uno de los ecosistemas que se han visto fuertemente afectados por la deforestación son las selvas en diferentes zonas del planeta (Guevara, *et al.*, 2004) La deforestación está vinculada con la forma como es usado un ecosistema a lo largo de la historia de la humanidad, cuando los primeros pobladores que crearon la agricultura, usaban determinada área ocupada, quizá por alguna otra cobertura como un conjunto de árboles o bosque; la gradualidad de este uso está relacionado con la tecnología que se implementa, como en el caso de la agricultura, que sistemas agrícolas novedosos se ponen en práctica con el objetivo de obtener en cantidad el resultado del uso que se le da al suelo (*Ibidem.*).

1.4 Degradación y Deforestación en México

Con sus casi dos millones de kilómetros cuadrados, siendo uno de los primeros cinco países megadiversos en el mundo, el país con el mayor número de especies de pinos, encinos, cactáceas y reptiles, el segundo en mamíferos y el cuarto en anfibios, alberga 12 de cada 100 especies conocidas del planeta, cuenta con más de 23 mil especies de plantas, de las cuales, el 50% son endémicas, México, en el año 2009 aun presentaba uno de los mayores índices

de degradación ambiental a escala global (Greenpeace, 2009) ocupando un quinto lugar en deforestación mundialmente, de acuerdo al instituto de Geografía de la UNAM, anualmente se pierden 500 mil hectáreas de bosques y selvas (González, 2017), del año 2005 a 2010 se tuvo una pérdida de 775 mil hectáreas de bosques y selvas por todo el territorio nacional (CONAFOR, 2013), las pérdidas ecosistémicas en México se resumen en cifras y se miden los daños económicamente. Datos de INEGI (2015) del año 2013 mencionan que el agotamiento de los recursos naturales como el agua, los bosques, recursos energéticos, alcanzó un monto equivalente al 1,1% del producto interno bruto (PIB); la forma de consumir los recursos ecosistémicos, más la degradación del medio ambiente, generaron costos ambientales cerca del 5.7% del PIB en el año 2015 (INEGI, 2017); costos por degradación del medio ambiente, contaminación atmosférica y del agua, degradación del suelo y generación de residuos sólidos urbanos, representa el 4.6% del PIB (per cápita anual del año 2016 fue de 8'201.31 dólares) ([el economista en línea, 2017]); los gastos que se destinan a la protección del medio ambiente son cerca de 150 mil millones de pesos, los costos totales por el agotamiento y degradación ambiental son de aproximadamente 910 mil millones de pesos.

Se le atribuyen diferentes causas al deterioro ambiental, de las cuales se puede mencionar: las políticas gubernamentales y derechos de propiedad, explosión demográfica, falta de información y educación, ausencia de actividades productivas alternativas, fallas institucionales y de mercado, acelerado crecimiento tecnológico, entre otras (Guevara *et al.*, 2001; Contreras-Hermosilla, 2000 citado en López, 2012). Las causas mencionadas se relacionan estrechamente con la pobreza que aqueja al país, basándose en estudios realizados que vinculan las afecciones ambientales con la pobreza y relacionan el aumento del desarrollo agrícola y ganadero con la disminución de bosques y selvas (Guevara *et al.*, 2001). Muñoz y Guevara (1997, citado en Guevara *et al.*, 2001) señalan que las personas en situación de pobreza se ven obligados a deforestar más para poder cubrir sus necesidades básicas en el menor tiempo posible debido a que no cuentan con la ventaja de poder realizar una actividad

que les de ganancias a corto plazo al tener el inconveniente de no contar con el presupuesto que les permitiera invertir en una actividad lucrativa sin la necesidad de deforestar y respetar a la naturaleza para recuperarse y reforestarse de forma natural, esto a la larga les dejara en la ruina de recursos naturales, cuando prefieren desmontar y erosionar el suelo manteniéndolo con monocultivos a dedicarse a la silvicultura. Esto es un problema para las familias que dependen económicamente de los bienes naturales en un 40%, cuando las familias con muchas mayores posibilidades económicas cubren el 20% de sus necesidades con los recursos naturales que ocupan cuatro veces más que gente en situación de pobreza (Guevara *et al.*, 2001).

El crecimiento demográfico, está considerado como una causa de los problemas de sobreexplotación de recursos, comportándose como un círculo vicioso, donde el aumento de la población conlleva a la sobreexplotación de recursos, esto a su vez, conduce a la pobreza y la pobreza conduce a la sobreexplotación demográfica (Cleaver y Scheiber, 1994; Dasgupta, 1995, citados en Guevara *et al.*, 2001).

Otras de las causas probables que se presentan son las fallas institucionales y de mercado, los procesos que originan estas causas siguen vigentes. Dentro de estas fallas exponemos los derechos de propiedad no definidos o los que son de forma colectiva, esto lo podemos ligar con la parábola escrita por William Foster en 1833, donde basándonos en los derechos de propiedad, todos tiene acceso al recurso y se piensa que el daño de un solo propietario no afecta la capacidad del recurso, sin embargo, como al recurso acceden más de un propietario, el recurso no tiene las posibilidades de recuperación óptimas y los propietarios pierden el recurso. En conclusión, el mercado y las políticas no pinta límites sobre el consumo de recursos (Hardin, 1968, citado en Guevara *et al.*, 2001).

Estudios realizados por Torres (2001) buscó identificar variables que pudieran causar la deforestación, el modelo que utilizo para la zonas tropicales obtuvo cinco resultados. En el primero encontró que la actividad forestal no tiene impacto en la tasa de deforestación; el segundo resultado expone que la pobreza que se

mide en proporción a la población que se encuentra por debajo del límite de pobreza, es una causa de deforestación, comportándose como una curva de Kuznets, donde el aumento de pobreza incrementa y llega a su punto culminante, el deterioro ambiental empeora y la curva decrece viéndose como una “U” invertida; el tercer resultado expone que la densidad de la población es un promotor importante de la deforestación; el cuarto resulta manifiesta que conforme aumente una agricultura altamente tecnológica en áreas tropicales y sea más estimulada la actividad ganadera, mayor será la tasa de deforestación; por último, el quinto resultado muestra que el tipo de tenencia de la tierra no muestra relevancia en cuanto a la deforestación (Guevara *et al.*, 2001).

El manejo forestal sustentable tiende a obtener la misma tasa de reforestación que un área natural protegida, lo cual sería una excelente oportunidad para nivelar la economía del lugar y proteger los bosques (GREENPEACE, 2009). Sin embargo, la producción de madera en el 2000 era de nueve millones de metros cúbicos de madera en rollo y para el 2007 disminuyó a 6.9 millones de metros cúbicos y en ese mismo periodo, la superficie bajo el manejo forestal sustentable se redujo de 8.6 a 6.1 millones de hectáreas favoreciendo a la reforestación en otro modo (*Ibidem*).

En el caso del manglar, México ocupa el quinto lugar en extensión de manglares en el planeta y junto con Indonesia, Australia, Brasil y Nigeria abarcan el 47% de producción pesquera además de servicios ecosistémicos que aporta entre los que destacan barreras naturales contra desastres meteorológicos, evitan erosión de la línea de costa, zona de producción de importantes especies marinas y terrestres, entre otros; sin manglares en el mundo. En México, el manglar genera un beneficio importante en las poblaciones costeras, sin embargo, es uno de los ecosistemas más devastados mundialmente. La tasa anual de pérdida es del 2.5%, equivalente a 4.5 hectáreas diariamente (INE, 2005 citado en GREENPEACE, 2009).

1.5 ¿Qué es un humedal?

Definir humedal es, más que nada, una descripción general de los ecosistemas acuáticos con diversas características distribuidos en los cuatro hemisferios de la Tierra y que tienen ciertas características en común, la principal es la cantidad de humedad que se encuentra en ellos y que puede variar dependiendo de la estación anual en la que se encuentren así como su ubicación geográfica (Gopal, 2003 citado en Berlanga y Ruíz, 2004).

Se le denominan determinada cantidad de nombres dependiendo el lugar donde se encuentren pero en general el nombre común es el *humedal*. Este nombre fue utilizado por primera ocasión en la década de 1950-1960 por la agencia Estadounidense *US Fish and Wildlife Service* para poder inventariar los ecosistemas acuáticos donde habitaban poblaciones de aves acuáticas, actualmente es aplicado este término en 141 países participantes en la convención sobre humedales en Irán 1971 firmada en Ramsar (Berlanga y Ruíz, 2004).

López Portillo *et al.* (2010), define al humedal como un terreno con suelos que están permanente o periódicamente saturados o inundados, en ambientes con agua dulce o con algún grado de salinidad; se requiere de una descripción de la vegetación que existe en estas superficies puesto que en base a la vegetación se logra saber la calidad de agua y el tipo de suelo que existe en ellos, la vegetación es un bioindicador de la cantidad y calidad de la humedad que existe en estas tierras (Florescano y Ortiz, 2010). Es importante la saturación de agua en el terreno ya que produce sustratos en los que permite establecerse el enraizamiento de plantas que se adaptan a la inundación del terreno (Keddy, 2004 citado en Berlanga *et al.* 2007).

La definición oficial de humedal está en el artículo 3° inciso XXX de la Ley de Aguas Nacionales donde establece al humedal como:

“una zona de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, que pueden estar sujetas a la influencia de mareas como los pantanos, ciénegas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional, las áreas donde el suelo es predominantemente hídrico y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos por la descarga natural de acuíferos”

Conjuntan varias comunidades con distinta composición, formas de vida y estructura, se les considera un solo tipo de ecosistema, comparable a los bosques o pastizales, sin embargo, los humedales contienen una gran cantidad de biodiversidad ambiental (Lara, *et al.*, 2008). Otra definición de humedal importante de mencionar es la que expone Cowardin *et al.* (1979), donde señala que los humedales deben reunir tres características importantes: el suelo, al menos de manera periódica debe albergar hidrófitas, los suelos son hídricos no drenados y el sustrato está cubierto con agua somera o saturado por un intervalo anual durante la estación de crecimiento de las plantas (Florescano y Ortiz, 2010).

La convención sobre los humedales (Ramsar, Irán, 1971), define a los humedales como zonas donde el agua es el determinante que direcciona el medio, la vida vegetal y animal que se vincula con el humedal. Un humedal se presenta en la zona freática o cuando está a pocos metros de ella. La convención de Ramsar estableció un criterio que determina un terreno como humedal, el cual se cita en el Artículo 1.1 de dicha convención y dice que los humedales son:

“Extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”

Para no excluir sitios que tengan un efecto importante mundialmente para la biodiversidad, se incluyen lugares que:

“podrán comprender sus zonas ribereñas o costeras adyacentes, así como las islas o extensiones de agua marina de una profundidad superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentren dentro del humedal” (Ramsar, 2010).

De acuerdo a las definiciones que se han dado a conocer, podemos considerar a los humedales como unos ecosistemas altamente productivos debido a que existe cierta diversidad de ellos y contienen gran cantidad de especies en flora y fauna, las cuales son importantes para ciclos biológicos y que aportan nutrientes para otras especies que son importantes para el consumo humano y su economía (Dugan, 1988 citado en Carrera, *et al.*, 2010), pueden ser medidos en cientos de hectáreas o apenas unos cuantos metros como las dunas, pero el hecho de que sean pequeños no quiere decir que sean menos importantes, dado que ésta se mide con base en los beneficios y funciones que aportan (Moreno e Infante, 2010).

1.4.1 Los recursos y servicios que brindan los humedales

De acuerdo con Berlanga y Ruíz (2004), los humedales aportan servicios ecológicos, económicos, estéticos, entre otros por mencionar; con base en la Evaluación del Milenio (2005) citado en El Estudio Interdisciplinario de los Humedales de la República Mexicana del CONACYT (2008), los humedales presentan distintos servicios ecosistémicos de acuerdo al funcionamiento del humedal y la interacción físico-química-biológica que existe en él y su entorno y, con base en su funcionamiento se clasifican los servicios que aportan en: servicios de aprovisionamiento, servicios de regulación, servicios de apoyo y servicios culturales, lo que los hace sobresalir en estudios recientes y ser ambientes revalorados. Sin embargo, siguen siendo amenazados y

considerados como zonas a las que se les pueda dar un uso más productivo que el que ya tienen (Berlanga y Ruíz, 2004).

Los humedales son importantes para el ser humano ya que proporcionan recursos indispensables de manera directa e indirecta para el sostenimiento de la vida humana como:

- ❖ Madera para la construcción o las hojas de palma para techar palapas.
- ❖ Leña o carbón que extraen de los árboles de mangle.
- ❖ Taninos de las cortezas del mangle que se usan para teñir piel.
- ❖ Miel que se obtiene de las flores que se encuentran en los humedales como los mangles o popales.
- ❖ Medicinas que se obtienen de algunas plantas con dichas propiedades como el equiseto que ayuda a la artritis u osteoporosis.
- ❖ Pesca, ya que gran parte de la vida de los peces se mantienen en humedales y estuarios entre otras especies para el consumo humano, el 90% de la pesca se obtienen de lagunas y el mar.
- ❖ Agua, el principal recurso para las actividades humanas como la agricultura o para la ganadería, entre otros.
- ❖ El suelo para darle otro uso y desarrollar determinadas actividades humanas, este recurso junto con la caza ha llevado a encontrar los humedales en problemas ambientales serios como amenazas de extinción de especies como el cocodrilo o aves acuáticas así como cambio de uso de suelo que provocaría desecaciones futuras (Moreno e Infante, 2010).

Estos ecosistemas, además de proporcionar recursos, brindan servicios ecosistémicos; estos son las condiciones y procedimientos a través de los cuales los ecosistemas naturales y las especies que son parte de ellos, sustentan, satisfacen y benefician la vida humana, estos servicios mantienen en óptimas condiciones las especies vegetales y animales, que proporcionan las funciones

elementales para mantener la vida en estos ambientes la producción de bienes y recursos antes mencionados, como la pesca, madera, entre otros. A continuación se mencionan algunos servicios ecosistémicos que brindan los humedales:

- ❖ Mantienen la biodiversidad y la variación genética de esta, teniendo la oportunidad para extraer de la biodiversidad materiales para la obtención de alimento, medicinas y elementos necesarios para su economía.
- ❖ Se reduce el riesgo de inundaciones y sequías en zonas con cierto nivel de lluvias fuertes y de temporadas de calor extremo.
- ❖ Eliminan toxinas y descomponen desechos biológicos y químicos.
- ❖ Estabilizan parcialmente el clima regional y global.
- ❖ Generan y dan mantenimiento al suelo y la fertilidad de este.
- ❖ Mantienen un equilibrio de la temperatura, la fuerza de vientos de oleaje de mareas.
- ❖ Son parte de la polinización de plantas y cultivos.
- ❖ Son culturalmente importante para grupos étnicos, lo que los caracteriza por mantener la diversidad de culturas.
- ❖ Mantienen un control biológico de plagas en cultivos.
- ❖ Son limpiadores naturales del aire y el agua.
- ❖ Dispersan semillas y transportan nutrientes por medio del agua.
- ❖ Estéticamente, generan un ambiente visiblemente atractivo lo que conlleva a mantener un valor del suelo mayor en donde se encuentren este tipo de ambientes, además de ofrecerle al ser humano una vista relajante y estimulante (Moreno e Infante, 2010).

Los servicios ambientales se dividen en cuatro grupos con base en la función que desempeñan; el primer grupo son los **servicios de aprovisionamiento** encargado de proporcionar recursos que el hombre extrae de la naturaleza, como los alimentos, productos que son materias primas para la industria y energéticos como la leña; el segundo grupo son los **servicios de regulación** los cuales se

encargan de mantener en niveles óptimos los procesos encargados de darle sostenibilidad a la vida en la tierra como la captura de carbono y regulación de clima, descomposición de residuos y eliminación de toxinas en el ambiente, purificación del agua, control de plagas y enfermedades en cultivos de manera natural; el siguiente grupo son los **servicios de soporte** encargados de preservar los ecosistemas dando mantenimiento a los procesos generadores de vida y alimentos como la dispersión de nutrientes y semillas así como la producción primaria de recursos; por último grupo son los **servicios culturales** como la inspiración intelectual y espiritual que estos ambientes provocan, fines recreativos lo que ha traído consigo un crecimiento en el sector terciario y ecoturismo (Moreno e Infante, 2010; CONACYT, 2008).

1.6 ¿Qué es un manglar?

El manglar es un complejo humedal que funciona como ecosistema, está constituido principalmente por mangles, lo que lo cataloga como bosque de manglar. Los manglares son estructuras vegetales que pueden ser árboles o arbustos que crecen del suelo anegado con raíces sobresalientes y ramas descendientes, existen diferentes especies de esta clase de árbol; estos árboles o arbustos llegan a tener convivencia dentro del manglar con helechos, algas, hongos u otras plantas enraizadas, sin embargo, los bosques de manglar pueden estar compuestos solo de mangle de una o varias especies (CONABIO, 2008; Becerril Milán, 2011); estos ecosistemas tienen variadas composiciones y estructuras que se presentan en una zona transitoria entre el mar y la tierra (Tomlinson, 1986 citado en Becerril Milán, 2011). Globalmente, los manglares abarcan aproximadamente 152,000 km², representando el 1% de los bosques tropicales y el 0.4% del total de los bosques en el mundo; son 125 países que cuentan con este ecosistema en el inventario de su biodiversidad, pero son Indonesia, Brasil, Australia, México, Malasia y Nigeria los que conforman la mayoría siendo un 50% lo que en conjunto poseen (FAOa, FAOb, 2007 citados en CONABIO, 2013). México cuenta con el 5% del total mundial y del total de su

territorio nacional, los manglares ocupan un 0.4%, aproximadamente 8,000 km² (CONABIO, 2013; Groombridge y Jenkins, 2002 citados en García Calva, 2014).

1.6.1 Características físicas del manglar

El manglar es un tipo de vegetación conocida como halófila, esto quiere decir que son plantas que viven en un hábitat con presencia de una gran cantidad de sales; esta vegetación crece en suelos inundados temporal o permanentemente; son bosques que se ubican dentro de la zona intermareal cerca de desembocaduras de ríos o bahías y las lagunas salobres (Ezcurra *et al.*, 2009 citado en García Calva, 2014). La distribución de los manglares se debe a la relación que existe entre la temperatura y los cambios latitudinales de esta, estableciéndose estos ecosistemas en las zonas donde la temperatura tiene un rango de los 25°C a 30°C en la región tropical en ambos hemisferios, además de influir otros factores como la geomorfología, el contenido salino presente en la hidrología del lugar así como los periodos de inundación y el tipo de sustrato (Méndez, 2005 citado en Garibay Pardo, 2006; García Calva, 2014). Los manglares tienen adaptaciones que les permiten vivir en condiciones de baja oxigenación, esta adaptación se conoce como anoxia y debido a esto desarrollan estructuras fisiológicas que les permita tener un flujo de oxígeno, estas estructuras están formadas de tejido de aerénquima es decir, lleno de espacios con aire formando canales dentro de sí para transportar el oxígeno (Moreno e Infante, 2009). En los bosques de manglares existe macrofauna y microfauna, acuática y terrestre, de agua dulce y salada que puede ser transitoria o permanente, estos bosques se componen de canales, marismas, salinas e islas con un amplio rango de salinidad que está en constante cambio debido a la influencia de la marea que alimenta de agua a los flujos que se presentan en el manglar (Bagarinao, 2005 citado en Becerril Milán, 2011).

En América, los manglares se distribuyen desde Baja California Sur, Florida en Estados Unidos, hasta Perú y Brasil. En México, se distribuyen en las costas del

Golfo de México y el océano Pacífico; en los estados de la península Baja California, los manglares tienden a ser más bajos que en el resto de las regiones (Lara-Lara *et al.*, 2008; CONABIO, 2013). A escala global, se tienen consideradas 54 especies de 20 géneros y 16 familias de plantas (Tomlinson, citado en Moreno e Infante, 2009) las principales especies de mangle pertenecen a cinco familias: *Verbenaceae* con 8 especies del género *Avicennia*; *Combretaceae* con una especie de *Laguncularia* y dos de *Lumnitzera*; *Palmae* con una especie del género *Nypa*; *Rhizophoraceae* con los géneros *Rhizophora* con ocho especies, *Bruguiera* con seis, *Ceriops* con dos y *Kandelia* con una; y por último la familia *Lythraceae* con cinco especies del género *Sonneratia* (Moreno e Infante, 2009); en México, contamos con seis especies de mangle y cuatro son las más comunes, ya que las otras dos solo presentan pequeñas poblaciones (CONABIO, 2013; *Ibidem.*), a continuación se describen las cuatro especies relevantes en México:

- **Mangle rojo (*Rhizophora mangle*)**, tiene raíces en forma de zancos, alcanza una altura de 15 metros, aunque puede alcanzar una altura de 30 metros en el caso de que se presenten en desembocaduras de ríos, son árboles o arbustos perennifolios, de troncos rectos y delgados, de color gris claro moteado con colores rosa a rojo ya que se encuentran con muchas fisuras; de sus tallos se desprenden raíces sobresalientes llamadas fúlcreas las cuales pueden superar los 5 metros superando la base, de estas raíces le brotan otras más cortas y así sucesivamente, por lo que produce una estructura enraizada dándole protección y cimientos para sostener a la planta y funcione de alojamiento a los animales que habiten en él (Imagen 1.1), de las raíces brotan poros pequeños llamadas lenticelas que ayudan a respirar a la planta, sus hojas miden de 6 a 10 cm de largo y 2 a 5 cm de ancho, de color brillante en la cara superior y amarillentas en la cara inferior, las flores brotan de dos a cuatro juntas sobre un pequeño tallo verdoso con cuatro pétalos blancos angostos de 2 cm que después se oscurecen; el fruto es un ovoide de color café oscuro con una sola semilla que germina en la planta y se convierte en propágulo

el cual es un embrión germinado de manera sexual, lo que refiere a que el mangle rojo es vivíparo; cuando está lo suficientemente madura y se convierte en plántula se desprenden de las ramas que los mantienen colgados, se dispersan con el agua para fijarse al suelo y desarrollarse un nuevo árbol (Moreno e Infante, 2009; Tomlinson, 1986 citado en Vázquez Lule, 2008).



Imagen 1.1: Grupo de mangles de la especie *Rhizophora mangle*.

- **Mangle negro o mangle prieto (*Avicennia germinans*)** es un árbol que mide de 10 a 30 metros pero llega a medir hasta 40 metros dependiendo en qué condiciones permanezca, tiene un tronco de 10 a 50 cm, su copa tiene forma de sombrilla de follaje disperso, su color es más cenizo que el del mangle rojo; el tronco es recto y cilíndrico, con ramas irregulares ascendentes, la corteza externa es negra, alrededor de la planta emergen raíces en forma de pequeños tubos alargados en grandes cantidades conocidos como neumatóforos que cumplen la función de oxigenar al mangle cuando el nivel de agua sube y queda inundado (Imagen 1.2); sus hojas miden de 8 a 15 cm de largo y de 2 a 4 cm de ancho, son simples de color verde opaco y del lado inferior verde grisáceo que está cubierto de glándulas secretoras de sal; las flores son blancas con su centro amarillo,

florece y fructifica todo el año pero principalmente entre junio y octubre; el fruto es una cápsula en forma de elipse de 4 cm con cubierta carnosa y esponjosa, la germinación ocurre cuando el embrión sigue dentro del fruto y después se forma una plántula, la cual cae dispersándose por medio del agua hasta adherirse al suelo (Moreno e Infante, 2009).



Imagen 1.2: Raíces de grupo de mangles *Avicennia germinans*.

- **Mangle blanco (*Laguncularia racemosa*)** es un árbol de 5 a 20 metros de altura y su tronco tiene un diámetro de 10 a 60 cm, recto y cilíndrico; tiene una copa en forma de sombrilla y follaje denso con ramas extendidas, la corteza es de color gris oscuro con fisuras verticales, también tienen neumatóforos que salen de las raíces superficiales aunque son menos abundantes que en el mangle negro, sus hojas tienen forma de elipse de 4 a 10 cm de largo y de 2.5 a 5 de ancho (Imagen 1.3); lo que los distingue de las otras dos especies, es que el mangle blanco tiene unas protuberancias o glándulas de color naranja rojizo sobre los tallos de las hojas, sus flores son blancas y aromáticas que florecen y fructifican de mayo a noviembre; el fruto es una especie de nuez levemente aplastada con costillas a lo largo que cuando el fruto cae estas brotan después de

unos días y las semillas se dispersan, este mangle puede volver a crecer cuando se corta, aunque el nuevo árbol pierde o disminuye sus propiedades físicas (Moreno e Infante, 2009).



Imagen 1.3: Grupos de mangles de la especie *Laguncularia racemosa*.

- **Mangle Botoncillo (*Conocarpus erectus*)** es el mangle que vive tierra más adentro, en la parte más alta del manglar; es el más afectado por los cambios de uso de suelo agropecuario, es un árbol o arbusto que mide de 6 u ocasionalmente hasta 10 metros, tiene un tronco de 30 a 50 cm de diámetro, su corteza es gris o café, rugosa y fisurada (Imagen 1.4); sus hojas también tienen la forma de elipse y miden entre 3 y 8 cm de largo, siempre se mantienen verdes, son árboles hermafroditas ya que un árbol puede tener flores femeninas y masculinas; las flores se encuentran agrupadas en el extremo de las ramas, son aromáticas y tienen frutos en forma de conos redondos de color púrpura o marrón, estos frutos tienen semillas en forma de pequeñas nueces de 1 a 3 mm de largo, florecen todo el año pero en temporadas de lluvias son más visibles (*Ibidem.*).



Imagen 1.4: Raíces de mangles de la especie *Conocarpus erectus*.

1.6.2 Importancia y principales servicios ecosistémicos del manglar

El manglar es un ambiente complejo y dinámico, se caracteriza por sus altos niveles de biodiversidad y productividad, crean lugares de crianza, desove y refugio para una gran cantidad de peces y fauna silvestre que pueden ser especies de importancia comercial, como ya se mencionó con anterioridad, son una zona de transición entre ecosistemas marinos y ecosistemas terrestres (INECC, 2005). Muchos manglares se encuentran alrededor de lagunas costeras, esteros, orillas de ríos y arroyos o desembocaduras de estos, por lo que a nivel global, ha permitido desarrollarse en óptimas condiciones la actividad pesquera de manera artesanal y comunitaria cerca de estos ecosistemas, lo que contribuye al desarrollo económico de comunidades establecidas cerca de las costas, además de proveer de alimento para estas comunidades; son, de forma general, importantes en una cadena alimenticia de la que el ser humano es parte de ella porque desde el sustrato donde crecen, anémonas, corales, algas, ostras, camarones y pequeños organismos como el plancton que alimentan a peces,

cangrejos, caracoles, estrellas de mar que posteriormente el hombre consume (Mejía *et al.*, 2014; CONABIO, 2008; INE, 2005).

Son considerados como los “riñones de la tierra” (CONAFOR, 2009 citado en Mejía *et al.*, 2014) porque funcionan como filtros naturales que retienen sedimentos y sales, exceso de nutrientes y productos químicos que se usan en la agricultura, además, si se encuentran cerca de algún derrame petrolero pueden retenerlo. Otra importancia que se debería tomar en cuenta es que están capacitados para disminuir inundaciones y el agua que es filtrada recarga los mantos acuíferos; las diferentes especies de mangle se encuentran ubicadas en un determinado orden dentro del manglar debido a que funcionan como un sistema de protección amortiguando el impacto de vientos fuertes, huracanes, tsunamis, entre otros y mantener la línea de costa; por ejemplo, en el caso del mangle rojo, se conoce manglar de franja, este se encuentra en la orilla con un periodo mayor de inundación, recibe el golpe de la marea y está más influenciado tanto por el agua dulce como el agua salada; el mangle negro es un mangle de cuenca, soporta una mayor salinidad y transpira cristales de sal, tiene neumatóforos lo que le permite respirar cuando el manglar está más inundado; el mangle blanco tiene también neumatóforos, pero soporta menos meses de inundación, en el caso del mangle de botoncillo si se presentara en el manglar, este es el más utilizado por el ser humano, es el que se encuentra más tierra adentro y es el menos adaptado a la inundación y salinidad en el agua; el orden de cómo se ubiquen las especies de mangle en el humedal, obedece a un régimen de inundación y salinidad (Moreno e Infante, 2009; Mejía *et al.*, 2014; CONABIO, 2013). Producen gran cantidad de biomas lo que ayuda a la captura de bióxido de carbono y producción de hojarasca, lo que es importante en tanto que sirven de alimento a los organismos que habitan, además de formar parte del ciclo de la producción de suelo (Moreno e Infante, 2009; CONABIO, 2008), también juegan un papel importante en los ciclos del nitrógeno y azufre contribuyendo al retraso del calentamiento global (García Calva, 2014).

Son muchos e importantes los servicios que los manglares proveen al ser humano, algunos son valorados monetariamente, y funcionan de protección, abastecimiento de alimento y agua, regulación, construcción y desarrollo del sector terciario además de proveer servicios culturales (Gómez Palacio, 2012).

Los servicios que nos suministran son:

- ✓ Protección en la zona costera de desastres naturales gracias a sus raíces disipando la energía que produce el oleaje evitando inundaciones.
- ✓ En eventos climáticos como lluvias torrenciales o sequías, el equilibrio hidrológico que poseen ayuda a filtrar el exceso de agua o aportarla si se corriera el riesgo de perder cultivos.
- ✓ Fertilización del suelo, llevando nutrientes a zonas cercanas cuando se presenta el periodo de inundación.
- ✓ Suministra de agua los mantos acuíferos costeros, funcionando como coladores biológicos.
- ✓ Evitan que entre agua salada a ríos o lagunas de agua dulce, lo que ocasionaría que especies vulnerables a la sal se pierdan.
- ✓ Es el hogar de fauna silvestre con cierta importancia que incluso dependencias gubernamentales están involucradas a darle protección a los manglares con la finalidad de preservar dichas especies.
- ✓ Realizan la función de limpieza de contaminantes de diversos orígenes, esto es importante ya que la construcción de una planta de tratamiento terciario de aguas cuesta mucho y no siempre funciona de manera idónea, además de acarrear mayores problemas ambientales.
- ✓ Son zonas de desarrollo turístico y actualmente han funcionado en la industria ecoturística.
- ✓ En comunidades rurales asentadas cerca de estos hábitat, los utilizan como leña, carbón, materiales de construcción como la madera para canoas, pilotes o para la cimbra, algunas hojas son utilizadas para techar y son impermeables y frescas en esos ambientes cálidos, viviendas rurales, cercas para corrales, fabricación de instrumentos de pesca, espigas y puntales para la locomoción de barcas; la obtención de los

materiales son de manera sustentable lo que permite a estas comunidades tener un estilo de vida digno y a la par, protegen a los manglares ya que les proporcionan la mayoría de sus recursos (CONABIO, 2013; Moreno e Infante, 2009; Garibay Pardo, 2006; Gómez Palacio, 2012; Mejía *et al.*, 2014; Becerril Milán, 2011).

1.6.3 Impactos, amenazas y situación actual del manglar

La problemática de los manglares radica en que no existe la conciencia ambiental de proteger las selvas y bosques por el simple hecho de ser un ser vivo y valer por sí mismo, son considerados en algunos lugares, como zonas insalubres sin ningún valor económico prefiriendo que se derriben y se realicen actividades humanas como construcción de desarrollos turísticos, expandir la frontera agrícola, aumentar la ganadería desecando y convirtiendo en potreros esas zonas, no se tiene el cuidado de derrames petroleros cuando existe cerca de estos lugares la actividad petrolera (Calderón *et al.*, 2009). Como ya se mencionó con anterioridad, los manglares ofrecen recursos maderables, sin embargo, no siempre es la tala la principal causa de la pérdida de manglares (*Ibidem.*). Con el propósito de aumentar la seguridad alimentaria a nivel mundial, áreas de manglares se ven transformadas en infraestructuras, granjas acuícolas, potreros y cultivos, con el objetivo de alentar las economías nacionales, es uno de los ecosistemas tropicales costeros más amenazados a pesar de los diversos beneficios ecológicos que ofrecen (Berlanga y Ruíz, 2008), las actividades humanas con fines económicos en abundancia es la principal amenaza para los manglares (CONABIO, 2013).

La falta de planificación de desarrollos urbanos, industriales y turísticos así como la explotación demográfica provoca que exista un desorden en la producción de desechos sólidos urbanos, contaminantes industriales, pesticidas, fertilizantes agrícolas y derrames de petróleo sin que exista un control y modifique las condiciones hidrológicas, un régimen importante para que el manglar funcione de

manera idónea y se aprovechen al máximo todos los servicios que proporciona y, al contrario, se crea un gran impacto ambiental sobre el ecosistema (CONABIO, 2013).

La sobreexplotación de especies de importancia comercial altera la función de cadena alimenticia dentro del manglar, después de un fenómeno climático y el manglar queda afectado, no se permite recuperar por sí solo debido a lo tardado que pudiera ser, por lo que se somete a un cambio de uso de suelo y se da por perdido esa zona de manglar. Casos como en la península de Yucatán donde la recuperación de un manglar después del paso de un huracán, tarda cuatro años, los costos de restauración de un manglar de forma exitosa se aproximan entre los 3'000 a 510'000 dólares por hectárea, sin embargo, no es redituable y se prefiere hacer el cambio de uso de suelo. La manera como son aplicadas las políticas económicas productivas que están orientadas a una ganancia a corto plazo provoca una importante pérdida de manglares, mejoras en los planes de manejo y marcar límites en la planificación y ordenamiento de las actividades productivas así como mejorar la deficiente información educativa de lo que significa los manglares a nivel ecológico y económico, marcaría un alto a la pérdida de estos ecosistemas (CONABIO, 2013; CONABIO 2008; Calderón *et al.*, 2009).

La situación actual del manglar es que no se tiene una cifra definida del total del manglar, debido a que cada investigador usa su propio método de evaluación y cuantificación de manglar; en México no se cuenta con una cantidad exacta de la superficie de manglar, la distribución de superficie en cada entidad federativa, su tasa de pérdida y de cambio así como las principales amenazas de cada región. Esto se debe a la desarmonía que existe en las diferentes metodologías y escalas que se utilizan para determinar la superficie ocupada por los manglares (Rodríguez *et al.*, 2013). La explotación demográfica y a consecuencia de esto, el desmedido consumo de recursos asociándolo con procesos de degradación, presenta una impresionante cantidad de cambios a consecuencia de tasas de deforestación, incremento de áreas de cultivo y pastoreo, expansión urbana y

otros por arriba de la media mundial en países que concentran riqueza natural, entre estos México (Mas *et al.*, 2009).

La pérdida de manglar es variada entre regiones y países , la principal causa ha sido la acuacultura y representa una de las amenazas a nivel global (Lavieren *et al.*, 2013 citado en García Calva, 2014), esto es porque se modifica el escurrimiento del agua dulce y se interrumpe la esorrentía y el flujo natural de los manglares, evitando que sedimentos que llevan consigo nutrientes, sean depositados, además, se influye en el curso normal de la vida juvenil de peces u otros organismos (Berlanga y Ruíz, 2008). En el 2001 se estimó que cerca del 38%, a escala global, se perdieron manglares debido a la camaronicultura, 14% a otras técnicas de acuacultura (FAO, 2007 citado en García Calva, 2014). En México, la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, en el año 2013, dio a conocer que la superficie de manglar en el año 2010 era de 764, 486 hectáreas que se distribuye en 17 Estados con costa (Rodríguez *et al.*, 2013 citado en García Calva, 2014), las principales causas de pérdida en México son la construcción de infraestructura turística, agricultura y ganadería extensiva, acuacultura, asentamientos humanos y actividad petrolera (INE, 2005).

CAPÍTULO 2. Principales Fundamentos de la Percepción Remota

2.1 ¿Qué es la percepción remota?

La percepción remota o también conocida como teledetección (CONAGUA, 2005; Chuvieco, 1990; Ormeño, 2006) se define como una ciencia, técnica, procedimiento o estudio cuyo objetivo principal es adquirir información de un objeto observado a distancia por medio de un sensor el cual es capaz de obtener información de la superficie terrestre para determinados análisis (CONAGUA, 2005; Chuvieco, 1990; Ormeño, 2006). Es una práctica en la cual se obtiene información de las masas continentales y los océanos así como de los fenómenos que se presentan en ellos, a partir de imágenes satelitales, las cuales se adquieren desde el espacio pudiéndose observar todos los rasgos del lugar que son capturados en una imagen; estos rasgos se obtienen basándose en leyes de termo-electricidad, magnetismo, teorías y leyes de ondulación, entre otras (Campbell, 2011). Para poder interpretar y analizar las imágenes, se debe recurrir a las bases de la radiación electromagnética, la cual es reflejada o emitida por el objeto y es registrada por medio de un sensor capaz de interpretar esta radiación emitida o reflejada y traducirla en una imagen (Mather, 2004). Detectar los rasgos que se observan a distancia, adquiere la posibilidad de ver algo más de lo que se obtiene mediante un contacto físico con el objeto (Erickson, 1992), sin embargo, no debe dejar de considerarse ese contacto físico entre el objeto y el observador, esto con la intención de reforzar la información obtenida y garantizarla en su totalidad. Se debe tomar en cuenta que la percepción remota no está limitada únicamente a la acción de observar y almacenar la información que se obtiene, se deben incluir procedimientos que ayuden a la interpretación de las imágenes, como el tratamiento digital (Seco, 2002).

2.1.1 Breve historia de la percepción remota

La ciencia de la teledetección tiene una historia que inicia a mitad del siglo XIX cuando se montaron en globos aerostáticos cámaras fotográficas para obtener imágenes de la superficie desde el aire; en un principio la distancia a la que se tomaban estas imágenes era alrededor de unos 400 metros (Ormeño, 2006). Posteriormente, en la primera Guerra Mundial, el uso de las fotografías aéreas no sólo se concentró para fines militares, el uso de las fotografías expandió el conocimiento en geología, agricultura y cartografía. En la década de los años cincuenta, se desarrolló un dispositivo de gran utilidad para estudios de cultivos y vegetación, la fotografía en infrarrojo color. Este avance sería un inicio para que en la década de los sesenta, a la par con la ambición de poner al hombre en la luna, se realizaran las primeras observaciones de la Tierra desde el espacio (*Ibidem*). El primer satélite para su uso en la percepción remota era el TIROS, el cual, era meteorológico y fue lanzado en abril de 1960 (Campbell, 2011). En 1972, es lanzado por la NASA el satélite LANDSAT 1, que fue el primer satélite diseñado para la observación terrestre ya que tenía mejores capacidades de registro de información, y las personas adquirieron un interés por las imágenes que proporcionaba para la aplicación en análisis diversos. Derivado de esto, se empezaron a desarrollar sistemas computacionales que permitieran el análisis de estas imágenes digitales así como las bases de datos que se adquirirían de la información que se obtenía (*Ibidem*). Para los años ochenta, se desarrolló unos nuevos sistemas satelitales con mejores características visuales, además de diseñar instrumentos que permitieran obtener imágenes con un mejor detalle espectral, esto quiere decir, que dichos instrumentos captarían otras regiones más del espectro electromagnético. Posterior a esto, satélites comerciales como IKONOS, comenzaron a perfeccionar la resolución de las imágenes que obtenían con sus satélites (*Ibidem*).

2.1.2 Principios Teóricos de la percepción remota

Como ya se mencionó anteriormente, la percepción remota es una serie de técnicas que proporciona información de un objeto al observarlo y analizarlo a distancia por medio de un sensor; la interacción que se presenta entre el objeto y el sensor es importante para lograr el cometido de la percepción remota, esta interacción realiza un proceso parecido al funcionamiento del ojo humano, el cual necesita de tres principales elementos: el sensor que en el caso de la percepción remota sería el sensor montado en el satélite o la cámara fotográfica montada en el avión tripulado o no tripulado; el objeto observado que puede ser la atmosfera, la litosfera o la hidrosfera; y el flujo energético. Para la percepción remota el flujo importante es el que se emite, refleja o ambos de los objetos observados que existen en la superficie terrestre o la atmosfera, este último es el enlace entre el sensor; y el objeto que se observa (Chuvienco, 1990; Bautista *et al.*, 2011). La percepción remota y todo lo que implica desde la observación hasta el análisis que se realiza para la toma de decisiones, funciona con base en siete componentes, a continuación se explican cada uno:

- Fuente de radiación electromagnética, la cual proporciona energía luminosa o electromagnética al objeto en cuestión, este es un componente indispensable para llevar a cabo el proceso de la percepción remota.
- Radiación y la atmosfera como medio de transmisión, es por donde la energía va viajar de la fuente de energía al objeto y la energía reflejada o emitida del objeto al sensor; cuando la energía viaje por la atmosfera, esta influirá sobre ella y con base en ello, la energía emitida, absorbida o reflejada producirá determinados resultados.
- Interacción con el objeto, que dependerá de las propiedades físicas del objeto y de la radiación que entra en contacto con él, la cual puede ser

absorbida, transmitida, dispersada o emitida por algún objeto o la atmosfera.

- Detección de la energía por el sensor, este sensor debe ser capaz de recoger y grabar la información que percibe a través de la radiación electromagnética que entró en contacto con el objeto a estudiar.
- Transmisión, recepción y procesamiento de la energía que se grabó en el sensor, la cual se transmite de forma electrónica a una estación receptora donde se va a procesar la información para convertirla en una imagen digital.
- Interpretación y análisis de la imagen donde es procesada e interpretada visual o digitalmente el objeto que emitió o reflejó energía, debe tomarse en cuenta que, al hacer un análisis digital, se tiene la ventaja de incluir en el estudio un número mayor de variables y técnicas operacionales permitiendo tener un panorama más amplio de las interpretaciones.
- La aplicación de los resultados que se obtuvieron del análisis que se realizó, va permitir mejorar el conocimiento del objeto estudiado, así como tener más información actualizada de este con el fin de resolver problemas a futuro (Hernández, 2015; Arbelo, 2004).

La radiación electromagnética juega un papel importante dentro de la percepción remota; es por eso que a continuación se le da una explicación especial en la fundamentación de la radiación electromagnética.

2.2 Fundamentos de la radiación electromagnética

La radiación electromagnética es el principal fundamento para el funcionamiento de la teledetección, la cual está constituida por el dinamismo de la energía que viaja por el espacio a la velocidad de la luz y es perceptible al momento de entrar

en contacto con la materia. El comportamiento de la radiación electromagnética se debe a dos componentes importantes, el campo eléctrico y el campo magnético (Figura 2.1), que tiene como resultado cierta relación entre ambos explicado en la teoría ondulatoria donde expone que ambos campos se mantienen perpendiculares entre sí y son perpendiculares a la dirección en la que se propaga la energía acelerada por una carga eléctrica en forma de ondas transversales por el espacio (Pérez, 2004; Seco, 2002; Mather, 2004).

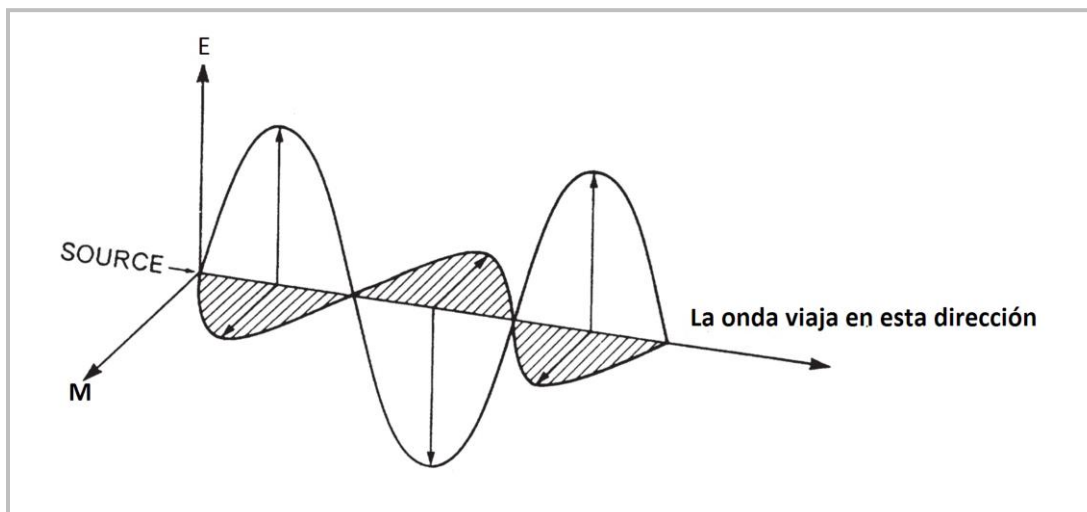


Figura 2.1 Representación gráfica de los campos eléctrico y magnético en una onda electromagnética. Fuente: Introduction to remote sensing, J.B Campbell, 2011.

Otra teoría que explica el comportamiento de la radiación electromagnética es la teoría corpuscular de Isaac Newton, quien expone que la luz está constituida por múltiples corpúsculos o partículas llamados cuantos o fotones que son emitidos por un determinado cuerpo luminoso; estas partículas chocan con un receptor de la luz, como nuestros ojos, para recibir esta sensación luminosa (Pérez, 2004; Seco, 2002). Esta teoría explica la propagación rectilínea de la luz, la cual viaja en línea recta; la reflexión de la luz que choca en una superficie lisa y los rayos luminosos son reflejados en una sola dirección; la refracción que es la desviación que sufre la luz cuando llega a la Tierra al chocar con diferentes superficies, materiales o medios de diferente densidad, esto último es lo que origina la

refracción y la velocidad de los rayos al momento de cambiar de un medio a otro (*Ibidem.*). En conclusión, se propone que la radiación electromagnética posee de una cualidad dual ya que se comporta como onda y como fotón (Seco, 2002).

2.2.1 El comportamiento de la radiación electromagnética

Como ya se expuso anteriormente, la energía luminosa que entra en contacto con la materia, ya sea sólida, líquida o gaseosa, se conoce como radiación incidente; esta radiación interactúa de distinta manera con la materia dependiendo de su densidad, lo que provoca un cambio en su intensidad, dirección, longitud de onda, polarización y la fase en la energía incidente ; estos cambios que se presentan en la energía incidente se registran por medio de la teledetección y se materializan en imágenes satelitales para que con base en ello, se conozcan las características de la materia que entra en contacto con esta energía incidente (*Ibidem.*).

El contacto entre la energía incidente y la materia reacciona de cinco formas diferentes que a continuación se describen:

- a) Transmisión: es cuando la radiación electromagnética atraviesa la materia que puede ser transparente y reflejar luz o pueden ser opacos, y en su lugar absorber luz; las diferentes densidades de la materia provocan en la radiación electromagnética un cambio en la velocidad con la que se propaga produciendo la refracción de la luz.
- b) Absorción: sucede cuando la energía hace la función de energía térmica y calienta la materia, si el objeto es opaco absorbe la luz convirtiéndola en energía calorífica.
- c) Emisión: es cuando la energía incidente se emite por la materia, sustancia o cuerpo en forma de ondas de larga longitud que depende de la estructura y temperatura de la materia.
- d) Dispersión: sucede cuando la radiación electromagnética se dispersa en todas direcciones, esto sucede porque las partículas o moléculas de

gases que se encuentran en la atmosfera, redireccionan la radiación electromagnética en función de la longitud de onda, la abundancia de las partículas o gases, el tamaño de estas partículas y la distancia que la radiación recorre para atravesar la atmosfera. Existen tres tipos de dispersión:

La **dispersión rayleigh** ocurre cuando las partículas son más pequeñas en comparación con la longitud de onda de la radiación, esta dispersión sucede en el estrato superior de la atmósfera y afecta a las ondas de longitud corta (banda azul del espectro) ya que se dispersan más que las de onda larga provocando que el cielo se vea azul (Figura 2.2); en los amaneceres y atardeceres la radiación atraviesa una mayor parte de la atmosfera que al medio día cuando la energía atraviesa de forma más directa la atmosfera, afectando las demás bandas del espectro visible.

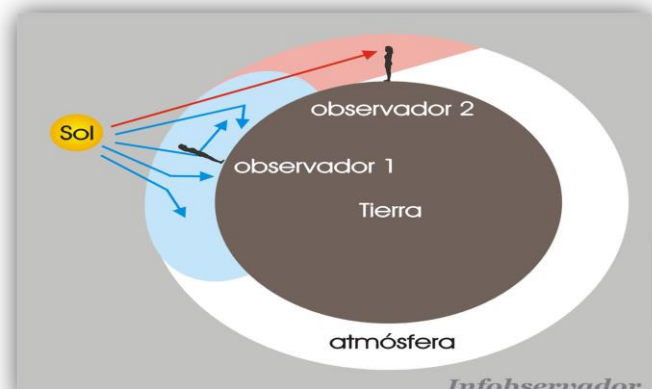


Figura 2.2 Representación visual de la dispersión rayleigh. Fuente: El efecto Tyndall y Rayleigh por Claudio Martínez, recuperado de <http://www.infobservador.com/2010/11/el-efecto-tyndall-y-rayleig/>.

La **dispersión Mie** sucede cuando las partículas tienen un tamaño similar al de las longitudes de onda, estas partículas pueden ser el humo, polen, polvo, vapor de agua y afectan a las ondas de longitudes largas que al chocar con las partículas estas absorben la luz y reflejan el resto; sucede en los estratos más bajos de la atmosfera donde se

encuentran este tipo de partículas ya que son las más cercanas a ciudades donde se podrían derivar estas partículas, como resultados el cielo se torna de diferentes tonos de grises (Figura 2.3), esto último dependerá de la composición de las partículas.



Figura 2.3 Cielo gris como resultado del Efecto de la dispersión Mie por la suspensión de partículas de tamaño similar a la longitud de onda. Fuente: La capital por Celina M. Lovera, recuperado de <http://www.lacapital.com.ar/la-region/jornada-cielo-gris-y-chances-que-finalice-lluvias-y-chaparrones-aislados-n793207.html>.

La **dispersión No Selectiva** ocurre cuando las partículas son más grandes que las longitudes de onda, este tipo de partículas pueden ser gotas de agua y polvo lo que hace que la niebla o las nubes aparezcan en tono blanco (Figura2.4), afecta a todas las longitudes de onda por igual (Seco, 2002; Lira, 2001).



Figura 2.4 Niebla como resultado del efecto de la dispersión no selectiva debido a la suspensión de partículas de tamaño mayor que las longitud de onda. Fuente: Revista literaria monolito, recuperado de <http://revistaliterariamonolito.com/cuento-la-ciudad-isonada-por-thomas-bornemisza/>.

Los gases atmosféricos y los aerosoles son importantes para la realización de la absorción y la dispersión de la luz solar directa y la luz solar reflejada por la superficie terrestre; la dispersión, como se me

nacionó anteriormente ayuda a la redistribución de la energía al cambiar su dirección, sin embargo, no cambia las propiedades de la radiación distintas a su dirección, la dispersión perjudica, principalmente, a la dirección de la radiación visible y puede alterar la distribución espectral de las longitudes de onda del rango visible y las cercanas a este (Ormeño, 2006).

- e) Reflexión: Esta se puede explicar de dos distintas formas dependiendo de la superficie con la que está entrando en contacto; la **reflexión difusa** es cuando la superficie es desigual y la energía se refleja de manera uniforme en todas las direcciones; la **reflexión especular** sucede cuando la superficie es lisa y la energía es reflejada en la misma dirección al flujo incidente (Cruz, 2008).

La dispersión, la emisión y la reflexión son fenómenos superficiales porque dependen de las propiedades de la superficie donde se desarrollan como el color o la rugosidad; la transmisión y la absorción son fenómenos volumétricos porque son dependientes de las características internas de la materia con la que entran en contacto (Seco, 2002).

2.2.2 El espectro electromagnético

Es la representación de la distribución de las longitudes de onda y frecuencia que existen en la radiación electromagnética partiendo de las longitudes de ondas cortas de mayor frecuencia como los rayos gamma a las longitudes de onda larga de menor frecuencia como las ondas de radio (Figura 2.5), la denominación que puede representar los intervalos son las micras (m) o nanómetros (nm) (Ormeño, 2006; Seco, 2002). Los rangos de ondas cortas a ondas largas respectivamente dentro del espectro son los rayos gamma, rayos X, rayos ultravioleta, visible, infrarrojo, microondas y radio. A continuación se describen de forma general:

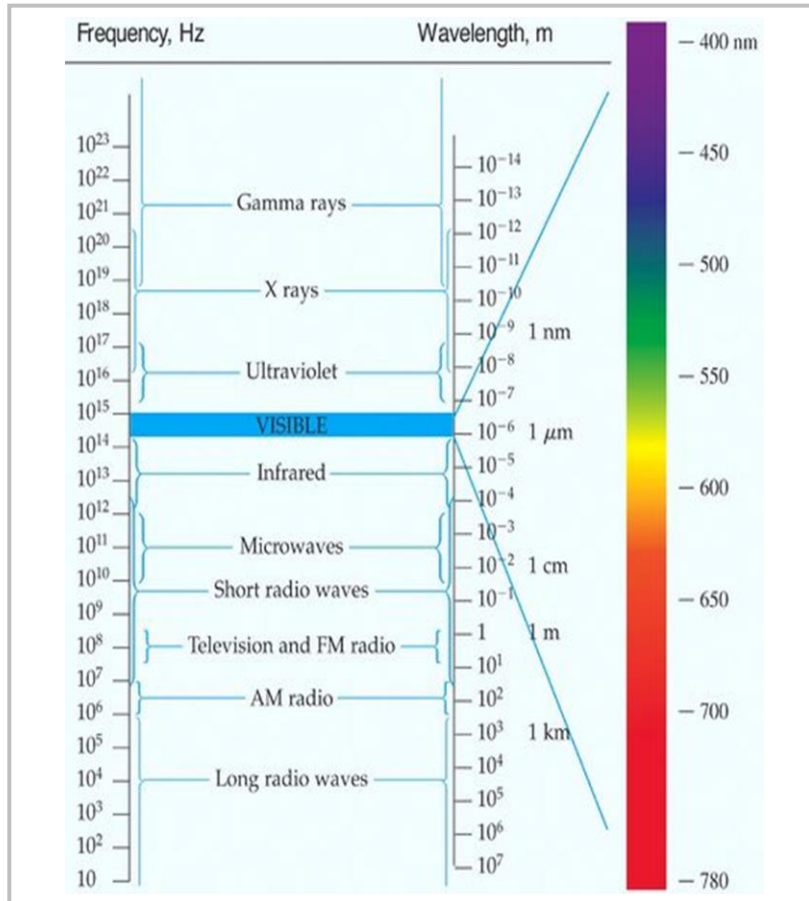


Figura 2.5 Representación visual del espectro electromagnético.

Fuente: Universidad de Sevilla, recuperado de

http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ecuaciones_de_Maxwell_FII_GIA.

- *Rayos gamma*: radiación con una longitud de onda inferior al 0.03 nm, es utilizada en plataformas de vuelo de baja altura o para el estudio de superficies sin atmósferas; esta radiación no se utiliza en teledetección puesto que las capas superiores de nuestra atmósfera la absorben.
- *Rayos X*: se encuentra sólo por unas micras arriba de la anterior, tampoco es utilizable para la teledetección, su rango va de los 0.03-0.3 nm.
- *Rayos ultravioleta*: Es la radiación proveniente del sol; gran parte de esta radiación es absorbida por la capa de ozono de la atmosfera a 20-35 km de la Tierra, esta radiación se mantiene en el rango de 30-400 nm, sin embargo, la parte de los 300-400 nm es captada por algunos tipos de

películas fotográficas; es por eso que esta radiación es conocida como ultravioleta fotográfica.

- *Espectro visible*: Es la región que puede ser captada por el ojo humano, se divide en diversas bandas (como la luz blanca dividida en varios colores al atravesar un prisma), algunos autores se extienden en la división de las bandas que comprende la banda violeta (400-450 nm), la banda azul (450-500nm), verde (500-570 nm), banda amarilla (570-590 nm), naranja (590-610 nm) y banda roja (610-700 nm) (Schanda, 1976 citado en Seco, 2002), pero en la teledetección sólo se concentran en mencionar la banda azul, verde y roja para el desarrollo de ésta resumiendo con estas tres únicas bandas al espectro visible; este rango del espectro electromagnético es captado no sólo por el ojo humano, también por cámaras fotográficas, sensores modernos, como los que son utilizados en la teledetección, y scanners.
- *Infrarrojo*: Es otra región que, al igual que la región del visible, se subdivide en regiones que son: el infrarrojo cercano, infrarrojo medio e infrarrojo lejano; otra segunda subdivisión es infrarrojo reflejado e infrarrojo térmico. En la primera subdivisión, el infrarrojo cercano abarca de 700 -1300 nm, en teledetección es importante para detectar vegetación y concentraciones de humedad; el infrarrojo medio abarca de los 1300 – 8000 nm, aquí se entremezclan la radiación que provoca los procesos de reflexión y emisión de la superficie terrestre; Infrarrojo lejano comprende de los 8000 – 14000 nm, incluye la radiación que es emitida de la superficie terrestre. La segunda subdivisión está constituida por la banda del infrarrojo reflejado que abarca de los 700 a 3000 nm (en esta división se incluye el infrarrojo cercano y medio con base en el rango de las longitudes de ondas), esta radiación no proporciona información sobre la propiedades térmicas de la superficie, su rango va de 3000 – 14000 nm; la banda del infrarrojo térmico es la que proporciona información de la radiación que emite la superficie, únicamente dos regiones de esta banda son utilizables en la teledetección que tienen un rango de 3000 – 5000 nm y 8000 – 14000 nm,

ya que el resto de la radiación es absorbida por los gases que se encuentra en la atmósfera.

- *Microondas*: Es una región con longitudes de ondas mayores que incluso utilizan los centímetros como unidad de medición, su rango va de 0.1 – 30 cm, pueden penetrar nubes, lluvia o niebla, son utilizadas en sistemas de teledetección pasivos y activos como el radar.
- *Radio*: Es la banda con las ondas de radiación de mayor longitud (mayores a 30 cm), en la teledetección es utilizada en algunos tipos de radar que pueden captar esta radiación, así como algunos altímetros, sondas y radiómetros pasivos (Chuvienco, 1990; Seco, 2002; Ormeño, 2006).

En resumen, podemos decir que para la teledetección, las bandas de mayor importancia son la banda del visible, el infrarrojo y las microondas, esto depende de los sensores que son capaces de captar la radiación y convertirla en información.

Para llevar a cabo la teledetección, se emplean diferentes instrumentos con sensores que detectan la radiación en determinada banda espectral para la que fueron desarrollados estos sensores, dichos sensores son un elemento importante para ejecutar la actividad en cuestión, además de la fuente de radiación como el sol, que en la mayoría de las bandas es la principal fuente de energía; el objeto de estudio que se puede generalizar a la superficie terrestre y la atmosfera, en caso de que sea un estudio meteorológico y el sensor el cual puede estar montado en un avión o en una plataforma satelital.

2.2.3 Respuesta espectral de las cubiertas terrestres

Todos los objetos capaces de emitir o absorber energía incidente y ésta sea captada por un sensor, proyecta un gráfico en un plano cartesiano donde el eje de las **Y** representa la reflectividad de un objeto y el eje de las **X** representa el comportamiento en las diferentes longitudes de onda; debe aclararse que cada

firma o signatura espectral de cada objeto reaccionará de manera diferente en función de las bandas que cada sensor maneje (Pérez y Muñoz, 2006); sin embargo, algunas cubiertas tienden a presentar la misma respuesta espectral en determinadas bandas (Chuvieco,1990). En el espectro visible, el comportamiento de los objetos es diferente ya que se manifiesta como color, tal es el caso del agua, ya que en la subbanda del azul refleja más que el resto de las bandas incluso en rangos de ondas mayores como el infrarrojo. En el caso de la nieve, esta cobertura representa una alta reflectividad en el espectro visible completo (azul, verde, rojo), debido a esto, la nieve tiene un color blanco, ya que refleja la mayoría de la energía incidente en el espectro visible (*Ibidem.*).

2.2.4 Características espectrales de la vegetación

Las propiedades ópticas de la agricultura y las cubiertas forestales dependen de las propiedades de las hojas y el suelo, pero también se ven afectadas por la corteza de los árboles, las flores y los frutos, entre otros.

Todas las hojas de los vegetales presentan una firma espectral parecida (Figura 2.6), esta firma presenta ciertas características en las regiones espectrales del visible, infrarrojo cercano e infrarrojo medio; en el visible, la radiación es absorbida por pigmentos como la clorofila principalmente y se visualizan en la banda azul y roja. En el infrarrojo cercano, la celulosa y los pigmentos foliares se muestran transparentes por lo que la absorción de la radiación es baja y la reflectancia es mayor por lo que alcanza valores elevados obteniendo una curva espectral en esta región. En el infrarrojo medio, las propiedades ópticas de la hoja se relacionan con el contenido del agua por lo que en ésta región se producirá mínima reflectancia la cual, será variable en función al contenido del agua en las hojas (Reuter, 2009).

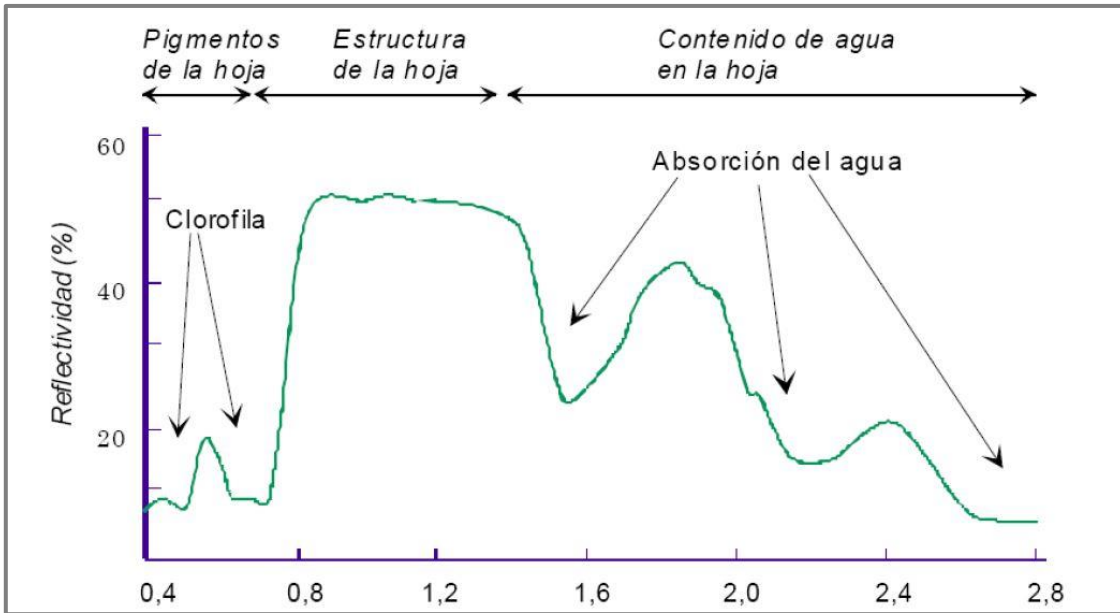


Figura 2.6 Representación visual de la firma espectral de la vegetación. Fuente: Reuter F. (2009) *Cátedra de Teledetección y Cartografía: Principios teóricos de teledetección*, Facultad de Ciencias Forestales, UNSE, Argentina.

En el caso del mangle (Figura 2.7), la firma espectral se caracteriza por un pico en las bandas azul y verde con una notable disminución en la banda del rojo; se eleva al máximo en el infrarrojo cercano debido a la estructura interna de la hoja así como la reacción de la clorofila con la radiación y disminuye en el infrarrojo medio por el contenido de agua en las plantas; esas características espectrales se deben también por la resolución espectral de las imágenes (7 bandas, en el caso de LANDSAT5), por lo que no se puede hacer una descripción más precisa en función a su respuesta espectral (Rego M.L et al., s.f).

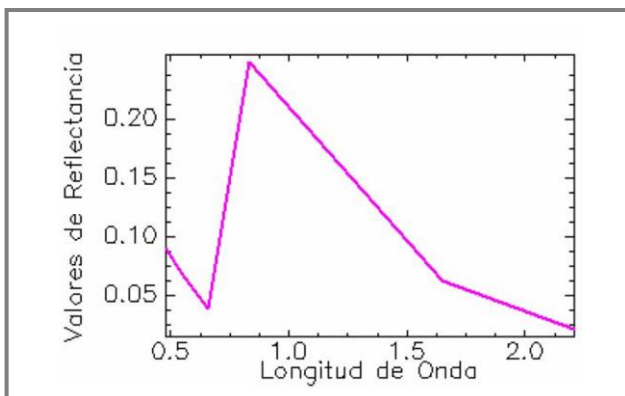


Figura 2.7 Representación de la firma espectral del manglar. Fuente: Rego M.L et al. (s.f) Construcción de la biblioteca espectral de los principales elementos del mapa topográfico UCT/GEOCUBA, La Habana, Cuba.

2.3 Sistemas satelitales

En la actualidad, lo más utilizado en la teledetección para aplicarla en numerosos estudios, son la captura de imágenes de plataformas ya sea satelitales o aéreas, no obstante, son las imágenes capturadas por sensores satelitales los que llevan la ventaja por obtener una cobertura global de información en forma de imágenes de la superficie terrestre que además se pueden obtener a escalas diversas; esto ha favorecido el desarrollo y la invitación a utilizar aún más las imágenes ya sean comerciales o de uso gratuito (Labrador *et al*, 2012).

Se tuvo un acercamiento en puntos anteriores respecto a los elementos que se requieren para llevar a cabo la teledetección y se mencionó que son: el flujo de energía electromagnética, un sensor que capta dicha energía y la superficie que es observada (Chuvienco, 2008; Hernández, 2015). En este punto del capítulo, se explicarán las características de estos sensores y los sistemas satelitales de los que son parte.

Un sensor es un elemento o instrumento capaz de captar la información de varias regiones del espectro electromagnético del objeto de estudio en forma de energía reflejada a distancia, este sensor está montado en una plataforma de teledetección en la cual se ubica el sensor que puede ser terrestre, aéreo o satelital; los sensores pueden clasificarse de diferente forma, la más común es en **sensores activos** y **sensores pasivos** que es la forma como perciben la energía (Ávalos, 2012; Hernández, 2015; Hernández y García, 2014).

2.3.1 Clasificación y características de los sensores

Los **sensores activos** emiten su propia energía electromagnética y después la captan cuando se refleja al chocar con el objeto observado, esta energía que entra en contacto con la superficie no es afectada por la atmósfera, no dependen de la energía del sol ni de las cualidades térmicas de la Tierra; los sensores más utilizados en la teledetección de esta categoría son: el radar que es un radiómetro

el cual utiliza ondas de mayor longitud, este puede trabajar bajo diversas condiciones atmosféricas; el lidar que es parecido al radar ya que usa tecnología láser que emite pulsos de luz concentrada entre el ultravioleta y el infrarrojo cercano, es útil cuando se requiere de una precisión de trabajos (Jensen, 2007; Ávalos 2012).

Los **sensores pasivos** necesitan de una fuente de energía externa (como el sol o la superficie terrestre) que posteriormente es captada desde su origen la cual puede ser energía emitida o reflejada de un cuerpo; dentro de estos destacan los sensores óptico-electrónicos que son los más utilizados en percepción remota como los dispositivos exploradores de empuje y de barrido; este último sistema es utilizado por la plataforma LANDSAT, que está constituido por un espejo que se mueve de manera oscilatoria perpendicularmente al movimiento de la trayectoria del satélite, y escanea una línea de la superficie que se observa por ambos lados del satélite, este espejo capta la radiación emitida o reflejada para convertirla en valores numéricos que posteriormente son enviados a una estación receptora en la superficie terrestre (Ávalos, 2012). Los dispositivos de empuje cuentan con una matriz lineal de detectores en el lugar del espejo oscilante, la imagen se va formando de forma simultánea al movimiento del satélite, cada detector capta su información correspondiente lo que permite agilizar la transmisión de datos, los sensores que tienen este dispositivo tienen mejor resolución espacial sin que las bandas espectrales que se usan se vean afectadas (*Ibidem*). Los sensores montados en los satélites tienen un conjunto de cualidades que determinarán las características de la imagen que resulte (Labrador *et al.*, 2012). Estas características funcionan como parámetros que describen el funcionamiento que cada sensor de diferente plataforma desempeña representándolo en una imagen, estos parámetros se encuentran definidos como resoluciones que a continuación se exponen:

Resolución espacial: es la medida más pequeña que el campo de visión instantánea (IFOV) del sensor puede distinguir, cuando ésta suele ser mayor, el sensor proyecta sobre la imagen objetos pequeños fáciles de distinguir; la

capacidad del sensor radica en la visualización de los objetos más pequeños dentro de un pixel que es la unidad que se usa para una imagen además de determinar también la altura a la que se encuentra el satélite; el tamaño de un pixel varía dependiendo de dicha resolución, por ejemplo, el del programa LANDSAT, los sensores de los satélites más recientes, su tamaño de pixel es de 30x30 metros en el terreno (Ariza, 2013; Franklin, 2001; Bautista *et al*, 2011; Pérez y Muñoz, 2006; Anji, 2008).

Resolución radiométrica: es la capacidad para detectar en formato digital (niveles digitales o ND), variaciones de la radiación espectral tanto la energía reflejada como la emitida, el formato utilizado para almacenar estos valores es un sistema binario (bits), donde un número mayor de bits permitirá una visibilidad a mayor detalle en la información obtenida (Anji, 2008; Pérez y Muñoz, 2006; Bautista *et al*, 2011). Otra definición es la cantidad mínima de energía que se necesita para aumentar el valor de los pixeles en niveles digitales, también se puede definir como la cantidad de niveles digitales que un sensor detecta (Labrador *et al.*, 2012). La cantidad de bits de ND determinara la sensibilidad del sensor, cuando los ND van del 0 a 2047 representa a 11 bits (Anji, 2008).

Resolución espectral: Se define como el número y ancho de los intervalos de longitud de onda del espectro electromagnético que los sensores son capaces de detectar; según Chuvieco (1990), un sensor que tenga un número mayor de bandas será capaz de abarcar un rango mayor de ondas del espectro electromagnético ya que la respuesta espectral registrará comportamientos de distintas cubiertas; el número de intervalos o bandas y la amplitud de estas dependerá de la capacidad del sensor, sin embargo, no por tener menos bandas implica que sea de baja calidad, influyen también los objetivos que cada analista se propone (Jenssen, 1996; Franklin, 2001; Bautista *et al.*, 2011).

Resolución temporal: es la regularidad en la que un satélite toma datos de la misma porción de la superficie terrestre, la resolución temporal que determinado sensor maneje dependerá de la altura, la velocidad e inclinación de la plataforma; normalmente la adquisición de datos de satélites usados para estudios

relacionados con recursos naturales como el LANDSAT, se da en un intervalo de 16 a 18 días, sin embargo, satélites más actuales, tienen una resolución temporal más frecuente (Labrador *et al.*, 2012; Chuvieco, 1990; Bautista *et al.*, 2011).

Resolución angular: es la capacidad que posee un sensor para capturar de forma simultánea imágenes desde distintos ángulos de una misma fracción de la superficie terrestre (Labrador *et al.*, 2012; Chuvieco, 1990). Esta resolución tiene como ventajas reducir la resolución temporal de algunos sensores ya que, la porción de la superficie de la que se está tomando datos se llega a recubrir en una sola toma además de darle la posibilidad a las imágenes de adquirir un efecto estereoscópico, muy importante para hacer una reconstrucción a escala del relieve; otra ventaja importante es que las variables atmosféricas no afectan en mayor medida la recopilación de datos al estimar estas variables por medio de las diferentes tomas en distintos ángulos de la porción de la superficie terrestre (*Ibidem.*).

2.3.2 El programa LANDSAT

A finales de los años 60s', se lleva a cabo el primer proyecto destinado a la observación de los recursos terrestres desde el espacio, uno de los primeros trabajos importantes se realizó el 23 de julio de 1972 cuando se puso en órbita el primer satélite de la serie ERTS (Earth Resources Technology Satellite) que funcionó hasta el 6 de enero de 1978, fue un satélite no tripulado, diseñado para obtener datos de los recursos terrestres de manera sistemática, consecutiva con una resolución media y multiespectral (Anji, 2008). Esta serie de satélites fueron nombrados LANDSAT para distinguir la serie de satélites meteorológicos de oceanográficos a partir de su segundo lanzamiento el 21 de enero de 1975, así, el satélite ERTS-1 fue renombrado como LANDSAT-1 (Anji, 2008; Chuvieco, 1990). El tercer lanzamiento se llevó a cabo el 5 de marzo de 1978, estos tres satélites poseían sistemas reproductores de imágenes de escáner multiespectral (MSS) y de cámaras Return Beam Vidicon (RBV), han producido un gran acervo

fotográfico importante del tiempo que estuvieron en órbita (Tabla 2.1). Estos trabajos se realizaron bajo la orden de la NASA hasta 1983 cuando la responsabilidad pasó a manos de NOAA (Nacional Oceanic and Atmospheric Administration) y, posteriormente, esa responsabilidad se asignó a la compañía privada EOSAT; esta serie de proyectos ha sido provechoso para el desarrollo e impulso de la teledetección espacial (Chuvienco, 1990; Ormeño, 2006).

| Satélite | Fecha de lanzamiento | Altura | Resolución temporal | Resolución espacial | Cobertura espacial de la imagen | Resolución espectral | Resolución Radiométrica |
|-----------|----------------------|--------|---------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------------|
| LANDSAT-1 | jul-72 | 920 km | 18 días | 80m | 185x185 km ² | 4 bandas | 6 bits |
| LANDSAT-2 | ene-75 | 920 km | 18 días | 80m | 185x185 km ² | 4 bandas | 6 bits |
| LANDSAT-3 | mar-75 | 912 km | 18 días | 80m | 185x185 km ² | 5 bandas | 6 bits |

Tabla 2.1 Nota: Características principales de los tres primeros satélites LANDSAT. Elaboró: María Isabel Ángeles Rivera. Fuentes: Lira J., 1995, La percepción remota. Nuestros ojos desde el espacio, Fondo de Cultura Económica, S.A. De C.V., Cuarta Reimpresión, México; Anji Reddy M., 2008, Remote Sensing and Geographical Information Systems, BS Publications, 3ra Edición, India.

La segunda generación de satélites LANDSAT corresponde al LANDSAT-4 y LANDSAT-5 puestos en órbita el 16 de julio de 1982 y el primero de marzo de 1984 respectivamente; actualmente LANDSAT-5 se mantiene activo (Ormeño, 2006). Se diferencian de sus antecesores en características importantes, las principales es que poseen un solo panel solar, es decir, requieren de menor energía que LANDSAT 1, 2 y 3 para operar; tiene una antena de microondas que permite la comunicación con otros satélites; respecto a los sensores que portan, poseen el sensor MSS (escáner multiespectral por sus siglas en inglés) y un nuevo sensor llamado Thematic Mapper (TM), se mantienen a una altura menor que los anteriores (705 km), se presenta una mejora en su resolución temporal (16 días) ya que su periodo orbital baja de 103 minutos a 98.9 minutos, además de tener más bandas espectrales y bits (Chuvienco, 1990; Anji, 2008).

El siguiente grupo de satélites lanzados se conforma por LANDSAT-6 y LANDSAT 7 lanzados el 5 de octubre de 1993 y el 15 de abril de 1999

respectivamente; sin embargo, LANDSAT-6 nunca llegó a operar, estaba a la misma altura que LANDSAT-5 (705 km), con siete bandas y una pancromática con una resolución espacial de 15 m, tenía una resolución temporal de 16 días y una resolución espacial de 30 x 30. Posteriormente es puesto en órbita LANDSAT-7 con las mismas características que LANDSAT-6, la característica principal de este satélite es que cuenta con el sensor Enhanced Thematic Mapper (ETM+), capaz de captar información en 6 bandas espectrales dentro del rango del visible al infrarrojo dando una resolución de 30m, una banda capaz de captar el infrarrojo térmico con una resolución de 60m y una banda pancromática de 15m de resolución espacial, permitiendo así obtener una imagen fusionada a partir de una imagen multiespectral (Labrador *et al.*, 2012), más adelante se explicará el tipo de imágenes existentes a partir de la resolución espectral. No obstante, el 31 de mayo de 2003, las imágenes de este sensor comenzaron con un problema en el funcionamiento del escaneo al momento que el satélite se desplazaba y debido a esto, se presenta zonas sin datos una cuarta parte de la imagen obtenida (Figura 2.8) (*Ibidem.*).



Figura 2.8 Falla de bandeado en imágenes LANDSAT-7. Fuente: Labrador García M., Évora Brondo J.A. y Arbelo Pérez M., *Satélites de Teledetección para la Gestión del Territorio*, 2012, Universidad de La Lagunas IROA S.A, *Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias*, 2012.

El 11 de febrero del 2013, se pone en órbita LANDSAT-8, se encuentra a una altura de 705 km con una resolución temporal de 16 días y un periodo orbital de 98.9 minutos, cuenta con dos sensores, OLI (Operational Land Imagen) y TIRS (Sensor Infrarrojo Térmico por sus siglas en ingles), su resolución espectral es de

once bandas de las cuales, las primeras nueve corresponden al sensor OLI y se incluye la pancromática, y las dos últimas pertenecen al sensor TIRS; en realidad este lanzamiento pretendió sustituir a LANDSAT-7 debido al error antes mencionado (Tabla 2.2). Actualmente, está previsto un nuevo lanzamiento para finales de 2020 que sería LANDSAT-9, en el cual, se contemplan las mismas características que LANDSAT-8, la única diferencia será que tomará 740 escenas por día, cantidad que supera respecto a los lanzamientos anteriores (Landsat Missions Timeline, Recuperado el 15 de noviembre de 2017 <https://landsat.usgs.gov/landsat-missions-timeline>).

| Satélite | Fecha de lanzamiento | Altura | Resolución temporal | Resolución espacial | Cobertura espacial de la imagen | Resolución espectral | Resolución Radiométrica |
|-----------|----------------------|--------|---------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------------|
| LANDSAT-4 | jul-82 | 705 km | 16 días | 30m | 185x185 km | 7 bandas | 8 bits |
| LANDSAT-5 | mar-84 | 705 km | 16 días | 30m | 185x185 km | 7 bandas | 8 bits |
| LANDSAT-7 | oct-93 | 705 km | 16 días | 30m | 170x185km | 8 bandas | 8 bits |
| LANDSAT-8 | feb-13 | 705 km | 16 días | 30m | 185x180km | 11 bandas | 8 bits |

Tabla 2.2 Nota: Características principales de la segunda generación de misiones LANDSAT. Elaboró: María Isabel Ángeles Rivera. Fuente: Anji Reddy M., 2008, *Remote Sensing and Geographical Information Systems*, BS Publications, 3ra Edición, India; Collado Torres R.A, Gama Campillo L.M, Díaz López H.M, 2015, *Percepción Remota: elementos básicos*, Kuxulkab', XXI, 2015.

2.3.3 Tipos de Imágenes de acuerdo a la resolución espectral

Las imágenes que son utilizadas en teledetección están en formato raster, lo que quiere decir que las imágenes están formadas por una matriz de retícula donde cada celda es un pixel el cual tiene asignado un valor numérico (niveles digitales) que son determinados por la energía que se detecta en cada banda espectral (CONAGUA, 2005; Labrador, *et al.*, 2012), de acuerdo a esto último es como a continuación se clasifican las imágenes satelitales:

- a. *Imagen multiespectral*: es una imagen captada por un sensor que mide la reflectancia en más de una banda, lo que permite que tenga asociados varios valores numéricos a cada pixel, lo cual dependerá de que tantas

bandas espectrales detecte el sensor; esta imagen proporciona la firma espectral de distintos elementos de la superficie terrestre, como es el agua, la vegetación, construcciones por el hombre, entre otros que se presentan en la imagen, un ejemplo de satélite que proporciona este tipo de imágenes son los satélites de LANDSAT, los cuales tienen sensores capaces de detectar hasta 11 canales espectrales (*Ibidem.*).

- b. *Imagen Hiperespectral*: son imágenes menos comunes, se caracterizan por tener un mayor número de bandas, son utilizadas para estudios que requieren de una precisión de identificación y clasificación mayor, tal es el caso de estudios en mineralogía; actualmente los satélites que proporcionan estas imágenes son satélites experimentales como el sensor HYPERION a bordo de satélite EO-1 con 220 bandas, esto quiere decir que sus imágenes tienen una accesibilidad limitada (Labrador, *et al.*, 2012).
- c. *Imagen Pancromática*: Es una imagen con una sola banda espectral que abarca gran parte del espectro visible y el comienzo del infrarrojo, obteniendo una imagen en tonos grises; tiene la ventaja de tener una mejor resolución espacial que las multiespectrales, funcionan para detectar elementos pequeños dentro de la imagen que no se pueden distinguir en una imagen multiespectral (*Ibidem.*).
- d. *Imagen fusionada*: Estas imágenes son obtenidas por la fusión de una imagen multiespectral con una imagen pancromática, esta fusión consiste en asignar a cada pixel de la imagen pancromática los valores procedentes de un algoritmo que combina las dos imágenes, lo que da como resultado una imagen multiespectral con la resolución espacial de una imagen pancromática, la desventaja de estas imágenes es que solo funcionan para un análisis visual ya que la información espectral original la modifica a través de los algoritmos por lo que no permite hacer un análisis espectral (*Ibidem.*).

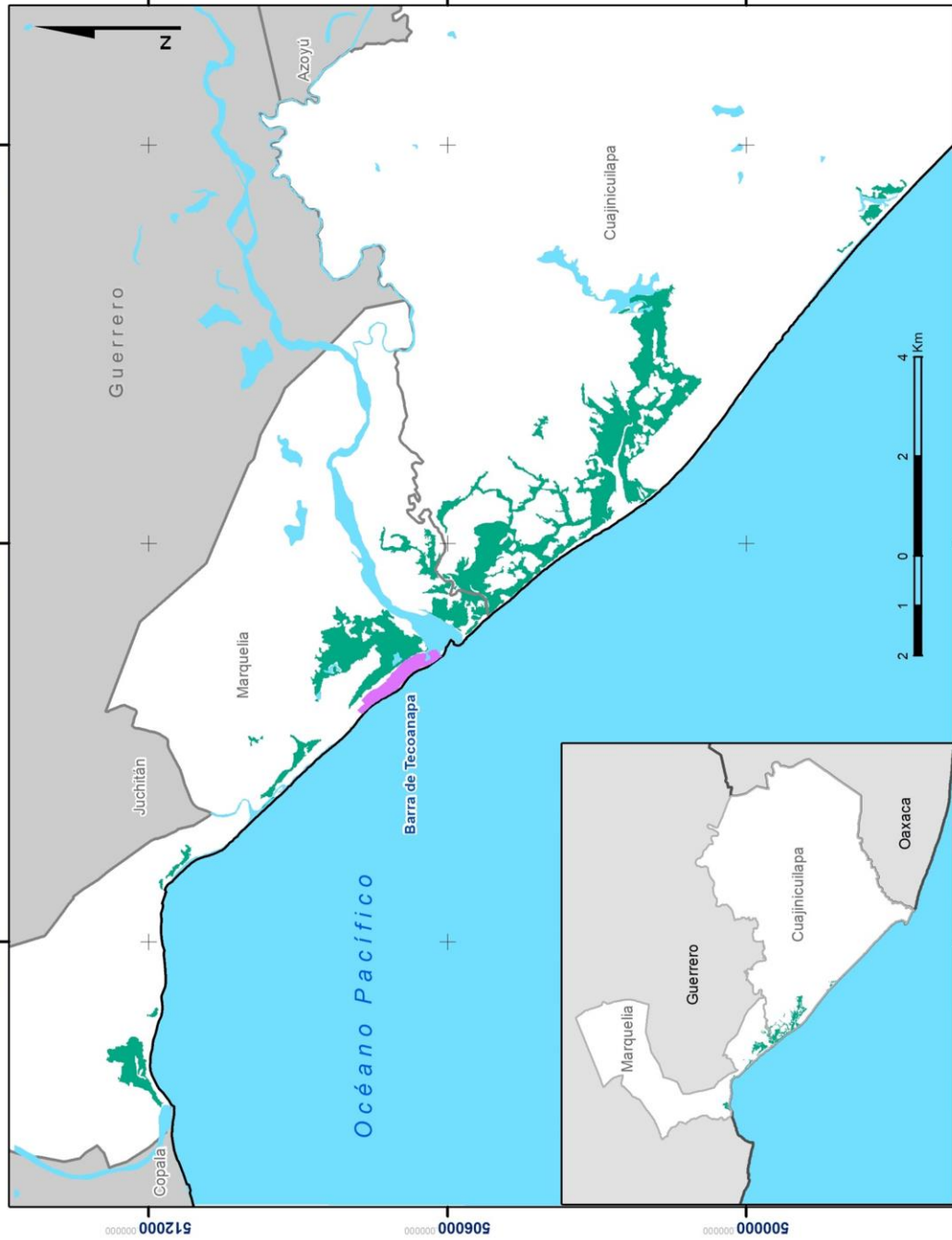
Capítulo 3. Descripción Física del Área de Estudio

En este capítulo se exponen las principales características físicas y sociales de la zona de estudio:

3.1 Localización

La Barra de Tecoanapa en el estado de Guerrero es una playa con una desembocadura del río Ometepec con sitio de arribo en los municipios de Cuajinicuilapa y Marquelia los cuales colindan al poniente con los municipios de Copala y San Luis Acatlan, al norte con los municipios de Juchitán, Azoyú y Ometepec, al oriente con los municipios de San Juan Bautista Lo de Soto, Santa María Cortijo, Santo Domingo Armenta y Santiago Tapextla del estado de Oaxaca, al Sur se encuentra el océano Pacífico (Mapa 1); ambos municipios son parte de una zona dedicada a la pesca, sus coordenadas extremas son: 16°08'03.73" y 16°39'02.41" de latitud norte; 98°10'51.29" y 99°11'53.09" de longitud oeste. El área cubre una extensión de 2'062 ha de las cuales, 925.29 ha pertenecen al manglar hasta el año 2015 (datos obtenidos de archivo shape Distribución de los manglares en México en 2015 de CONABIO 2016, escala 1:50000 edición1) es parte de la región hidrológica pacífico sur y es parte de la región costa chica de Guerrero que comienza desde el este de Acapulco hasta el límite con Oaxaca; es parte de la provincia fisiográfica de la sierra madre sur. La zona se encuentra a una altitud de 6 msnm desde el punto de la desembocadura del río Santa Catarina; la zona de estudio no se encuentra sujeta a un régimen de conservación o área natural protegida, únicamente se encuentra bajo la categoría de santuario por la presencia de la tortuga marina en solo una parte del lado este del río Santa Catarina en el límite con Oaxaca (Tovilla-Hernández, 2009; Colón, 2014; Cruz *et al.*, 2014).

Localización del Manglar en Barra de Tecoanapa



Macrolocalización



Simbología

-  Límite Estatal
-  Límite Municipal
-  Municipios colindantes
-  Área de manglar
-  Localidad de Barra de Tecoanapa

Referencia

Proyección: Cónica Conforme de Lambert (CCL)
 Datum: ITRF92
 Escala: 1:110,000
 Fecha de elaboración: febrero de 2019

Fuente: Los productos cartográficos aquí plasmados son producto de las cartas topográficas de INEGI escala 1:50,000
 Elaboró: María Isabel Angeles Rivera

Mapa 1. Localización de la zona de estudio

3.2 Clima

Según el sistema de clasificación climática de Köppen, el tipo de clima del lugar es cálido subhúmedo con una temperatura media anual de 28.9°C y una mínima de 18° en el mes más frío (Mapa 2); su temporada seca que es de noviembre a mayo tiene una precipitación de 60mm, su época de lluvias es de junio a octubre, la máxima precipitación se registra en septiembre con registros anuales menores a los 1000mm (Tovilla y Orihuela, 2002; Tovilla *et al.*, 2009).

El registro histórico de fenómenos climáticos incluye el huracán Pauline de categoría 2 el 9 de octubre de 1997 con aproximadamente 95 km/h de velocidad de vientos; la depresión tropical Carlos el 27 de junio de 2003 con aproximadamente 30 km/H de velocidad de los vientos (Tovilla *et al.*, 2009).

3.3 Hidrología

El área de estudio pertenece a las cuencas hidrológicas del río Ometepec y río Nexpa; la zona de manglar es alimentado por las lagunas costeras que se encuentran interconectadas por canales, que son parte de una red fluvial compuesta por ríos perennes e intermitentes y la marea proveniente del océano pacífico; los ríos principales que alimentan al humedal son: el río Santa Catarina y el río Marquelia, arroyo Tila, arroyo Maldonado, arroyo seco, entre otros (Mapa 3). La mayor parte del sistema de lagunas y ríos es somero y llega a quedar expuesto en temporada donde la marea se encuentra baja; el área presenta mareas semidiurnas, es decir cuando existen dos periodos de marea alta y marea baja durante 24 horas, con una altura promedio de 63 cm en los meses de julio y agosto, y en los meses de marzo abril se eleva a los 96 cm (Tovilla y Orihuela, 2002; Colón, 2014; Tovilla, 1998; Tovilla *et al.*, 2009).

3.4 Edafología

Son diferentes tipos de suelos los que se presentan en el área de estudio (Mapa 4), el que ocupa mayor área es el suelo cambisol, el cual es un suelo joven y poco desarrollado que se encuentra en transformación, existe cualquier tipo de vegetación en este tipo de suelo excepto en zonas áridas, se caracteriza por presentar en el subsuelo una capa de suelo rocoso además de acumulación de arcillas que contienen carbonato de calcio, fierro o magnesio, suelen estar colocados sobre un horizonte de tepetate, estos suelos se usan dependiendo del clima en el que se encuentren ya que tiene muchos usos (INEGI, 2004). Otro tipo de suelo que se presenta mayormente en el área es el gleysol, este tipo de suelo se caracteriza por la acumulación y estancamiento de agua en la época de lluvias por lo que es un suelo pantanoso además de ser poco susceptible a la erosión, son característicos por colores grises, azules, verdosos en la parte donde existe un mayor estancamiento de agua que al presentar sequedad se manchan de rojo, la vegetación que normalmente tiene este tipo de suelo es pastizal, cañaveral o manglar, tienen acumulaciones de salitre y existen problemas de inundación por su aspecto arcilloso al acumularse las precipitaciones fuertes en las zonas donde existe este suelo; en el sureste de México se usan para el pastoreo de ganadería bovina, algunas veces se usa para agricultura con buenos resultados en cultivos como el arroz o la caña, cultivos que soportan la inundación (INEGI, 2004; Vázquez-Lule, 2009).

El suelo feozem es otro tipo de suelo presente en la zona, caracterizado por presentarse en cualquier tipo de relieve y clima, con excepción de zonas tropicales muy lluviosas o desérticas, tienen la particularidad de tener una capa superficial oscura y suave con abundante materia orgánica y nutrientes, la profundidad en la que se encuentran es variada ya que si son muy profundos se encuentran en planicies siendo beneficioso para la alta productividad de la agricultura de riego o temporal de granos, legumbres u hortalizas, y menos profundos se pueden encontrar en laderas o pendientes por lo que no son buenos para la agricultura a que se erosionan más rápido, aunque son usados para el

pastoreo o la ganadería. Otro tipo de suelo presente en la zona de estudio es el regosol, este suelo se caracteriza por ser pobres en materia orgánica y se encuentran ubicados en diferentes tipos de clima, vegetación y relieve, están asociados a los litosoles y las eclosiones de rocas o tepetate; su fertilidad y productividad varía en función a la profundidad y pedregosidad del suelo (*Ibidem.*). El suelo fluvisol es un suelo conocido como suelo de río porque están formados de material que es arrastrado por el agua, son suelos poco desarrollados y medianamente profundos, presentan una estructura débil o suelta, se encuentran en todos los climas y regiones de México que estén a las orillas de ríos; vegetación como los ahuehuetes, ceibas o sauces son típicas de este suelo, tiene capas que se intercalan por arena o rocas redondeadas por la erosión de las corrientes de agua o crecidas de ríos, son importantes para la agricultura en la modalidad de fluvisoles mólicos y calcáricos (*Ibidem.*). Por último, el suelo arenosol se localiza en zonas tropicales o templadas muy lluviosas en el sur de México, la vegetación es variable, tienen textura gruesa con más del 65% de arena, por eso su nombre; en México son escasos, su presencia se limita a llanuras y pantanos, tienen alta permeabilidad pero baja capacidad para retener agua y, por ende, almacenar nutrientes (*Ibidem.*).

3.5 Vegetación y Fauna

El principal tipo de vegetación es el manglar con 925.29 ha ocupadas (datos obtenidos de archivo shape Distribución de los manglares en México en 2015 de CONABIO 2016, escala 1:50000 edición1), las especies de manglar que se encuentran en el lugar son: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*, las cuales se encuentran bajo la categoría de amenazadas en la Norma oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010; los manglares en esta zona son altamente productivos, exportan gran cantidad de nutrientes en la zona marina adyacente, además de ser zonas de anidación y alimentación para aves acuáticas como garzas, patos, pelícanos, fragatas y águilas pescadoras; existen también manchones de vegetación de

dunas costeras en la que se encuentran enredaderas del género *Ipomea* y plantas halófitas del género *Atriplex*, cactáceas como *Opuntia*, Acacias, *Lysilomas*, algunos pastos y *Cocus nucifera*; dentro del humedal pueden presentarse cultivos de mango, plátano, cítricos, y algunas veces maíz, sandía, melón, frijol y ajonjolí (Tovilla y González, 1994 citado en Tovilla, 1998), también está compuesto por manchones de tular, algunos manchones de vegetación arbustiva de selva baja caducifolia y selva mediana caducifolia (Mapa 5) (Datos obtenidos de archivo shape de Uso de Suelo y Vegetación serie VI escala 1:50000 de INEGI; Tovilla et al., 2009).

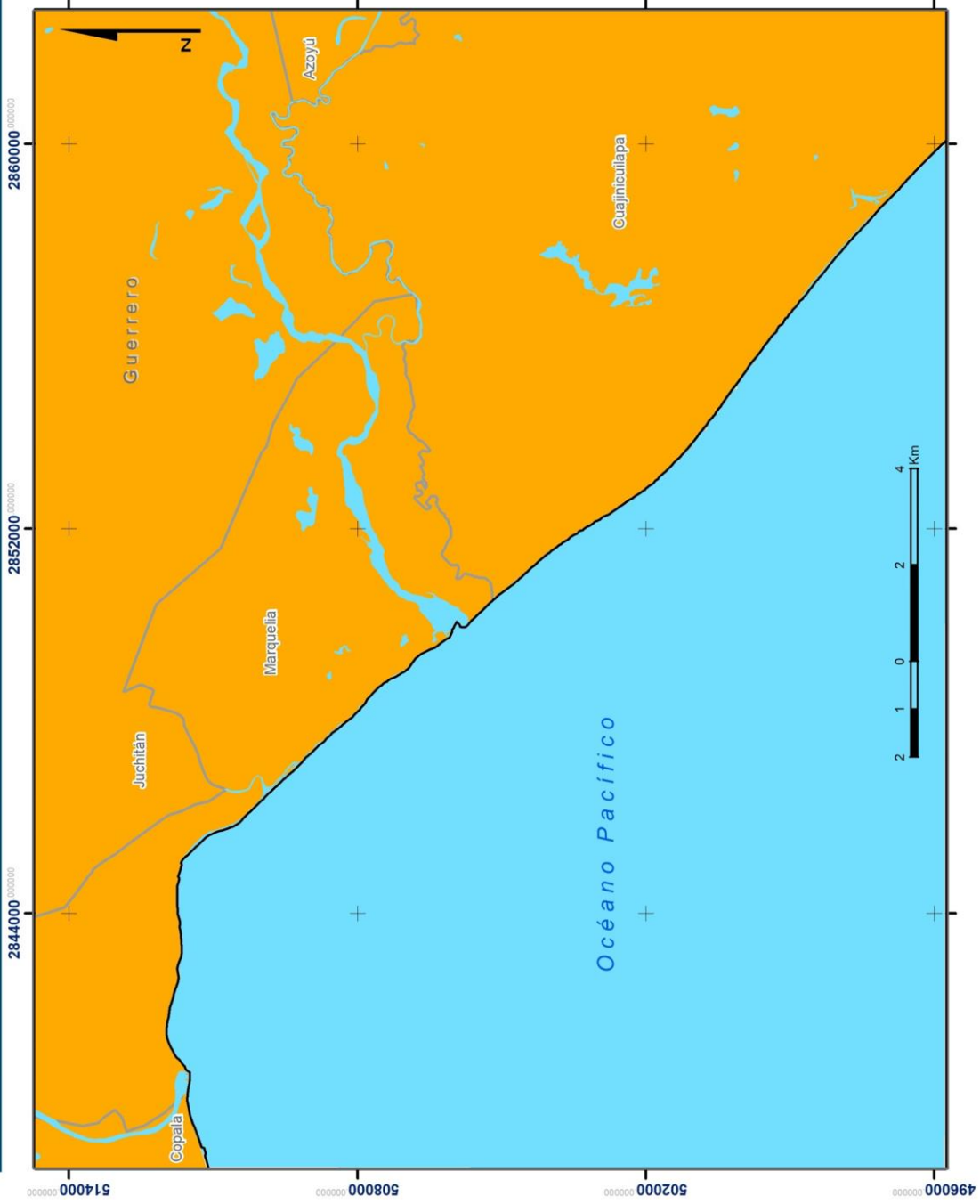
La fauna presente en la zona de estudio está compuesta de reptiles como la *Dermochelys coriacea* (tortuga laúd), *Lepidochelys olivacea* (tortuga golfina), *Chelonia mydas* (tortuga prieta), el *Crocodylus acutus* (cocodrilo de río), *Iguana iguana* (iguana verde), *Ctenosaura pectinata* (iguana negra); aves como los pelícanos del género *Pelicanus*, *Phalacrocorax* (cormorán), *Fregata* (fragata), *Recurvirostra* (avoceta), loros del género *Amazona*, carpinteros del género *Melanerpes*, garzas del género *Egretta*, patos del género *Anas*, garzas del género *Nycticorax* y martines pescadores del género *Chloroceryle*; mamíferos como el *Dasypus novemcinctus* (armadillo) y el *Procyon lotor* (mapache) (Tovilla, 1999; Tovilla et al., 2009). En las zonas de pesca se puede encontrar ostión y langosta azul, se encuentra el huachinango el cual tiene un valor comercial importante en la zona, pargos, jurel, robalo, boba, corvina, lisa y cabrilla; también existen moluscos del género *Nigritus* (caracol negro), *Pinna* (bivalvo), *Megapitaria* (almeja), *Rangia cuneata* (almeja gallo) y almejas del género *Tivela*, la pesca es la base de la economía local en la Barra de Tecoaapa (*Ibidem.*).

3.6 Población

La población en el área de influencia del manglar es de 3'643 habitantes, existen 19 localidades de las cuales, las principales son Marquelia catalogada como localidad urbana, El polvorín, La Guadalupe y Barra de Tecoaapa como

localidades rurales en el municipio de Marquelia; Buenos Aires, Maldonado y Tierra Colorada en el municipio de Cuajinicuilapa (Mapa 6) (Datos obtenidos de archivo shape de Uso de Suelo y Vegetación serie VI escala 1:50000 de INEGI; Tovilla *et al.*, 2009). La principal actividad económica es la pesca que abarca desde el municipio de Marquelia en la casa de Piedra a Playa La Bocana y en el municipio de Cuajinicuilapa abarca desde el extremo norte de la Bahía de Punta Maldonado hasta los límites con Oaxaca; existe actividad agrícola de temporal y permanente, los cultivos existentes son coco, maíz y ajonjolí, está presente la ganadería bovina y caprina, extracción de madera y baja actividad turística (Tovilla *et al.*, 2009).

Clima



Macrolocalización



Simbología

Tipo de clima

- Cálido subhúmedo (Aw)
- Límite Estatal
- Límite Municipal

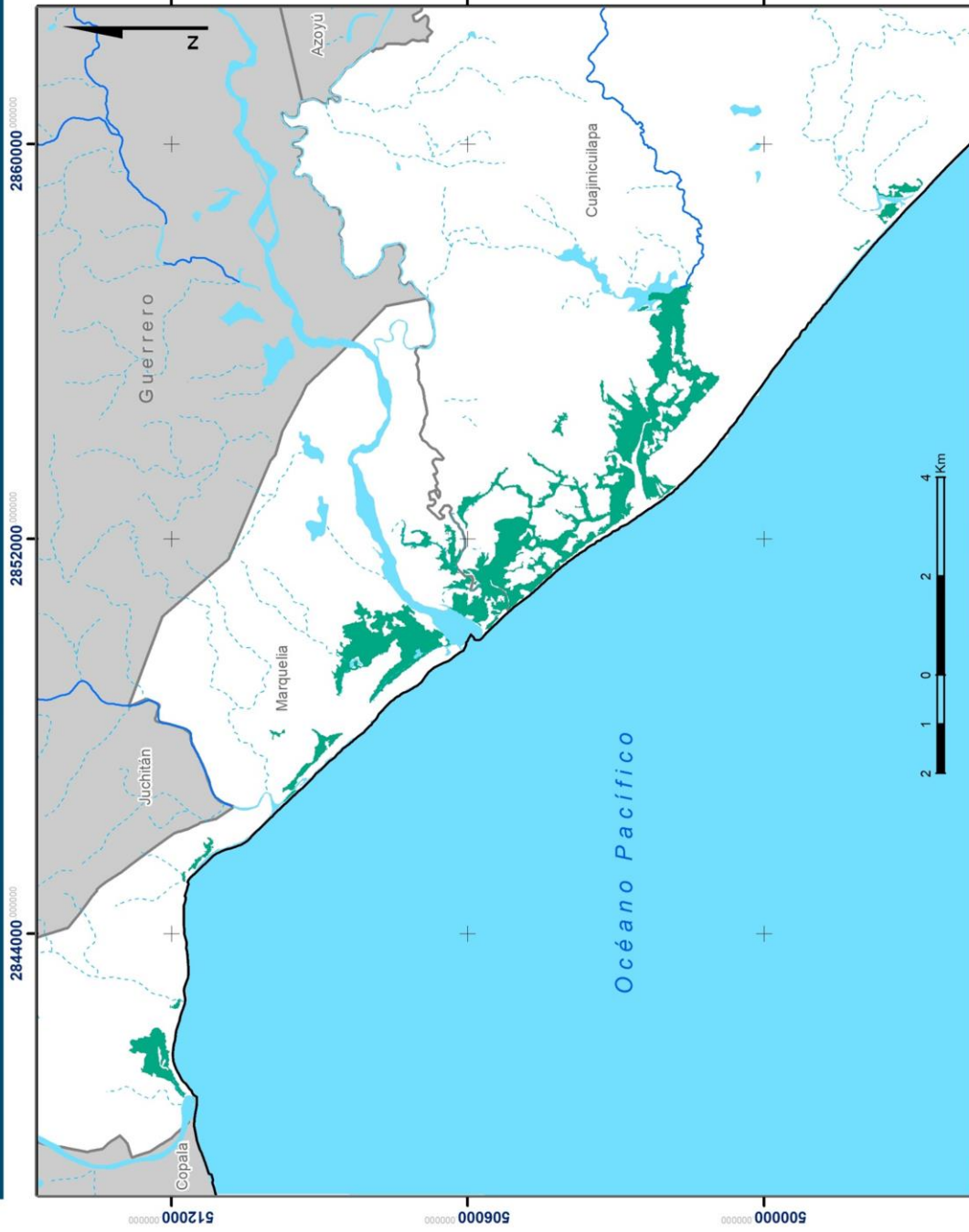
Referencia

Proyección: Cónica Conforme de Lambert (CCL)
Datum: ITRF92
Escala: 1:110,000
Fecha de elaboración: febrero de 2019

Fuente: Los productos cartográficos aquí plasmados son producto de las cartas topográficas de INEGI escala 1:50,000
Elaboró: María Isabel Angeles Rivera

Mapa 2. Clima presente en la zona de estudio

Red Fluvial



Macrolocalización



Simbología

- Ríos**
- Intermittente
 - Perenne
 - Zona de manglar
 - Límite Estatal
 - Límite Municipal
 - Municipios colindantes

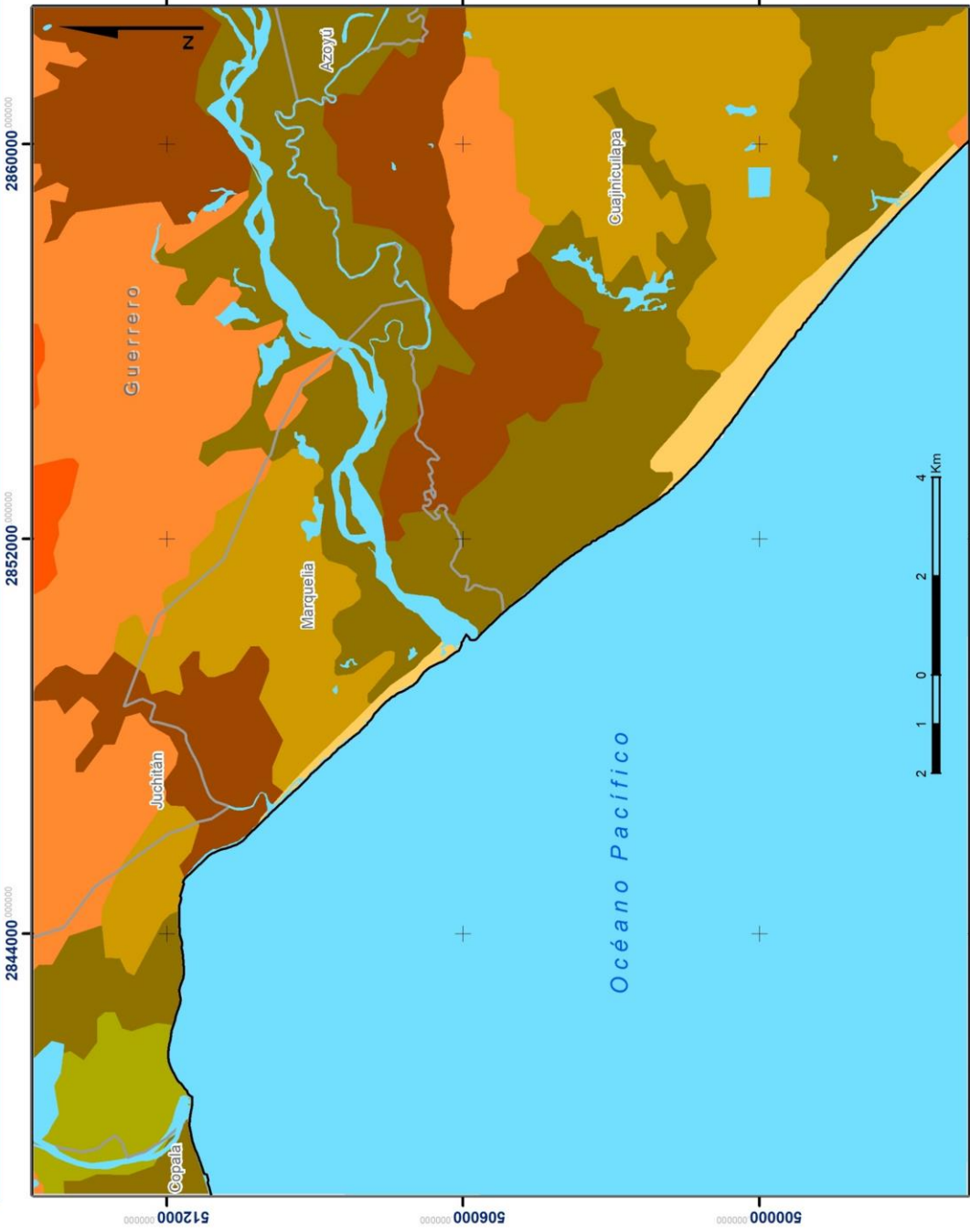
Referencia

Proyección: Cónica Conforme de Lambert (CCL)
 Datum: ITRF92
 Escala: 1:110,000
 Fecha de elaboración: febrero de 2019

Fuente: Los productos cartográficos aquí plasmados son producto de las cartas topográficas de INEGI escala 1:50,000
 Elaboró: María Isabel Ángeles Rivera

Mapa 3. Red Fluvial de la zona de estudio

Edafología



Macrolocalización



Simbología

- Arenosol
- Cambisol
- Fluvisol
- Gleysol
- Luvisol
- Cuerpo de agua
- Feozem
- Regosol
- Límite Estatal
- Límite Municipal

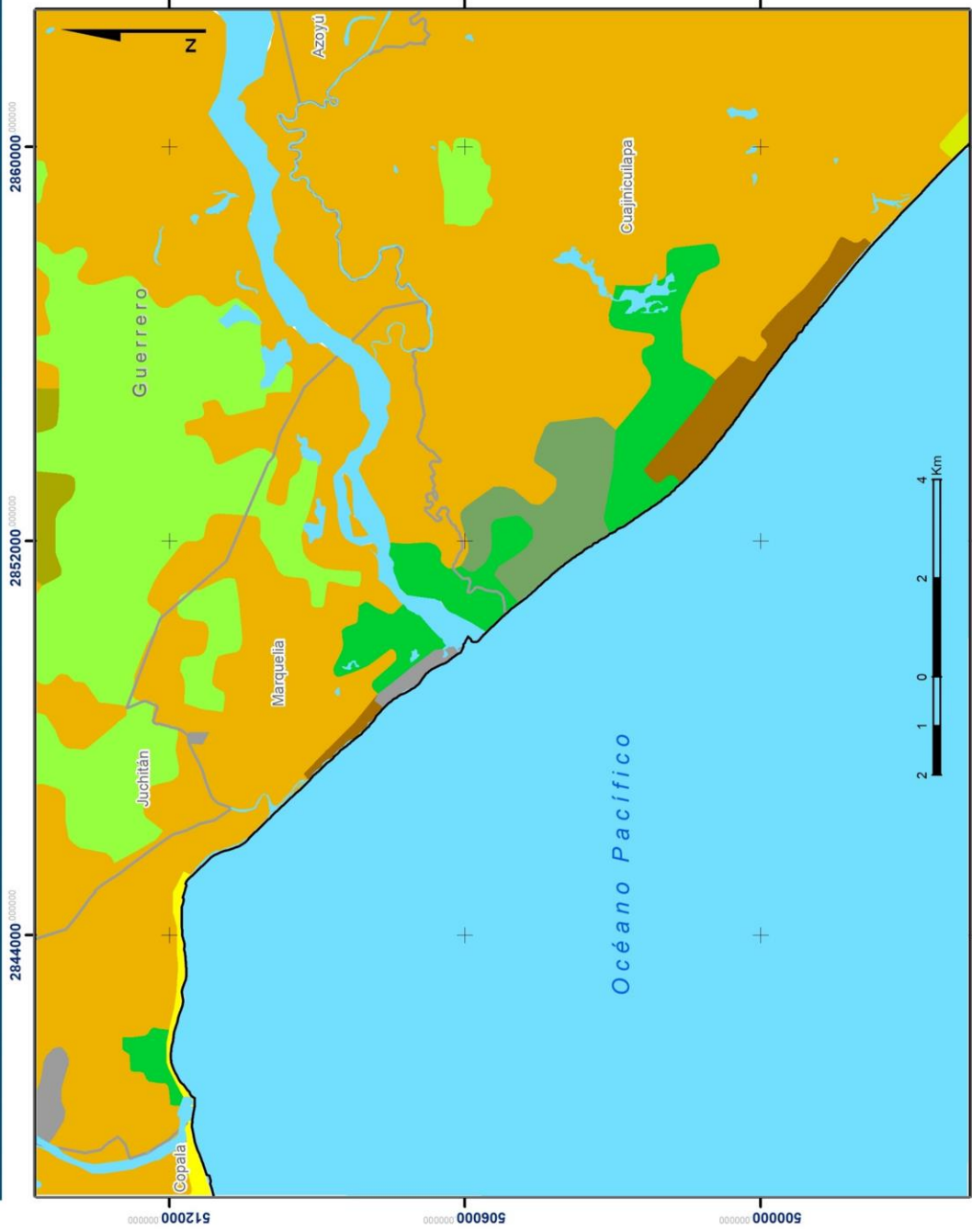
Referencia

Proyección: Cónica Conforme de Lambert (CCL)
 Datum: ITRF92
 Escala: 1:110,000
 Fecha de elaboración: febrero de 2019

Fuente: Los productos cartográficos aquí plasmados son producto de las cartas topográficas de INEGI escala 1:50,000
 Elaboró: María Isabel Angeles Rivera

Mapa 4. Distribución de los tipos de suelos en la zona de estudio

Uso de Suelo y vegetación



Macrolocalización



Simbología

- Agropecuario
- Manglar
- Pastizal halófito
- Sabanoide
- Selva baja caducifolia
- Selva mediana subcaducifolia
- Tular
- Vegetación de dunas costeras
- Urbano
- Cuerpos de agua
- Limite Estatal
- Limite Municipal

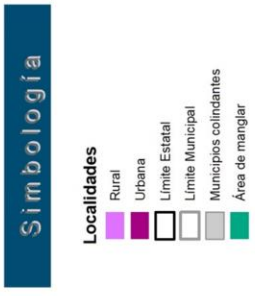
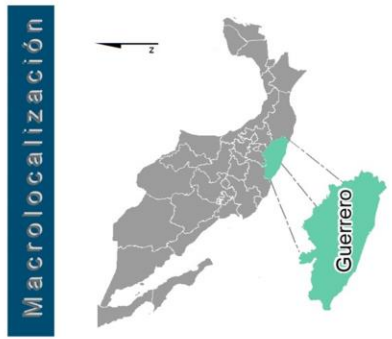
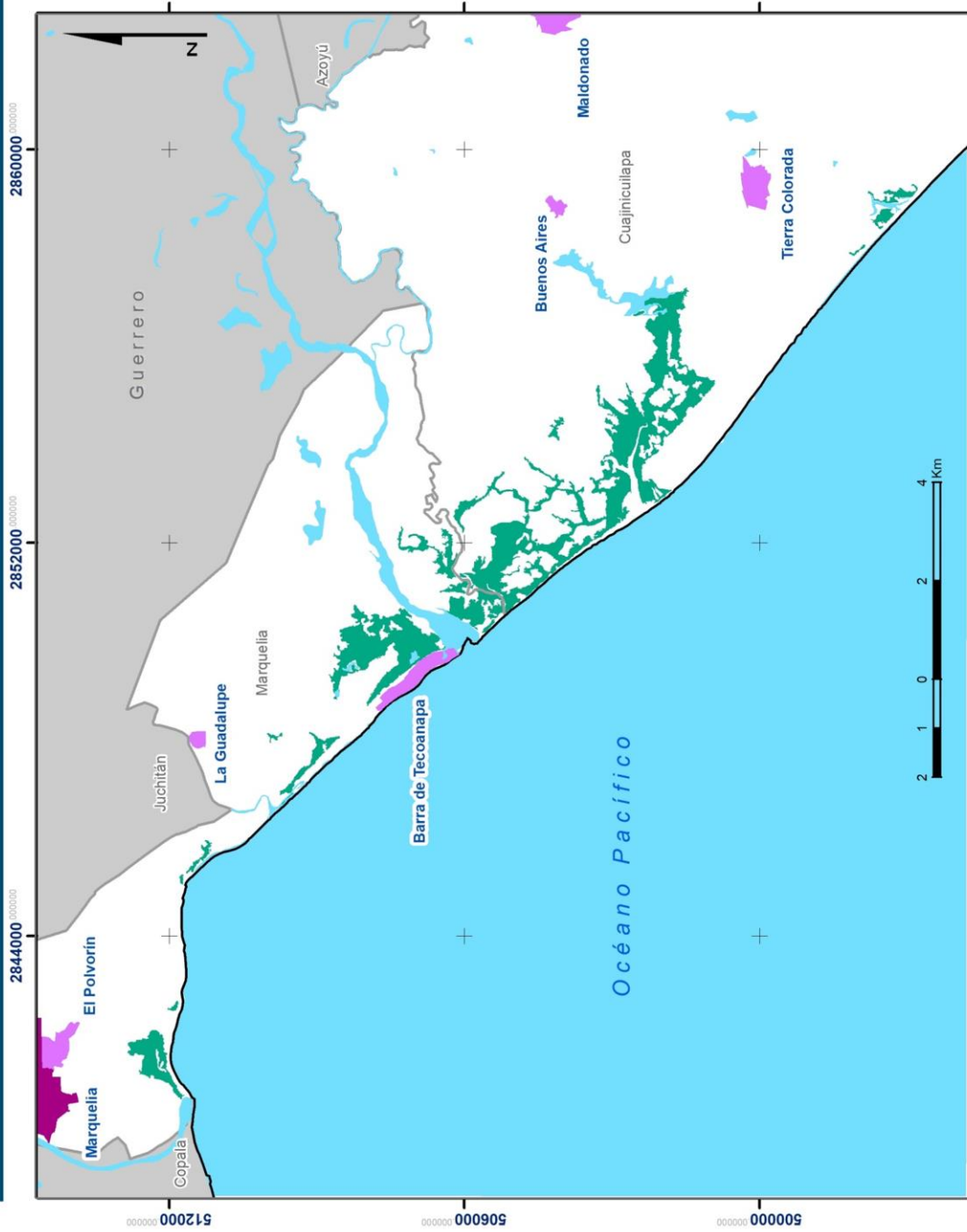
Referencia

Proyección: Cónica Conforme de Lambert (CCL)
 Datum: ITRF92
 Escala: 1:110,000
 Fecha de elaboración: marzo de 2019

Fuente: Los productos cartográficos aquí plasmados son producto de las cartas topográficas de INEGI escala 1:50,000
 Elaboró: María Isabel Angeles Rivera

Mapa 5. Uso de Suelo y Vegetación en la zona de estudio

Localidades



Referencia

Proyección: Cónica Conforme de Lambert (CCL)
 Datum: ITRF92
 Escala: 1: 110,000
 Fecha de elaboración: febrero de 2019

Fuente: Los productos cartográficos aquí plasmados son producto de las cartas topográficas de INEGI escala 1:50,000
 Elaboró: María Isabel Ángeles Rivera

Mapa 6. Localidades aledañas al área de Manglar

Capítulo 4. Desarrollo Metodológico

4.1 Principios teóricos del programa CLASlite

El Sistema de Análisis Landsat de Carnegie-lite (CLASlite) es un software creado por el Departamento de Ecología Global de la Institución Carnegie para la Ciencia; su objetivo principal es capacitar a instituciones gubernamentales, de investigación y académicas sobre el monitoreo de bosques tropicales, los cuales cubren el 5% de la superficie terrestre pero alojan casi la mitad de las especies en el mundo; Otro de sus objetivos consiste en buscar un mejor acercamiento entre los usuarios y el monitoreo de los bosques para el desarrollo de una visión amplia de la conservación ambiental para la implementación de mejores políticas de manejo de bosques, los cuales anualmente se ven afectados por la expansión agrícola, explotación minera y forestal, infraestructuras de comunicación, entre otros; y los recursos naturales en general (Carnegie Institution for Science, 2013).

CLASlite es una herramienta enfocada en la identificación de áreas de deforestación y perturbación en los bosques, usando sensores e imágenes satelitales; anteriormente realizaba procesos que llegaban a tardar días, pero con el tiempo, se desarrolló un software de procesamiento rápido, con mayor precisión en sus resultados y versátil, además de ofrecer resultados científicamente sólidos respecto al monitoreo de bosques.

CLASlite determina la perturbación y deforestación, las cuales tienen sus propias condiciones para manifestarse en un área boscosa, la deforestación es la conversión de tierras forestadas a tierras sin bosque ya sea por origen antrópico o de manera natural, perturbación se refiere a la disminución difusa de la cobertura boscosa; así como muchos otros programas que hacen la función de detección de cambios, CLASlite no define las causas del cambio ya que estas se argumentan al conocer ciertos parámetros de la zona que se está estudiando (*Ibidem.*).

4.1.1 Calibración de imágenes

El primer paso que realiza CLASlite es que ejecuta cuatro funciones principales: Calibración de imágenes, donde se incluye la corrección radiométrica y corrección atmosférica, la primera consiste en convertir los niveles digitales de cada pixel registrados por el sensor en valores de radiancia, esto con la finalidad de usar los datos de los pixeles en una forma cuantitativamente fácil de leer; visualmente no se percibe, sin embargo, en los datos estadísticos de la imagen se notará esta diferencia cuando la imagen en crudo almacena datos de números digitales del cero a 255, y la imagen convertida en valores de radiancia se almacena en porcentajes con cantidades del cero al 10000 cuando el 10000 es el 100%, este tipo de valores permite estudiar los cambios que se presenten en las coberturas vegetales, entre otras; la corrección atmosférica consiste en minimizar los efectos de la interacción de los elementos atmosféricos con la energía irradiada que es absorbida en diferentes longitudes de onda provocando que el sensor detecte menos información reflejada desde la Tierra, el resultado de la corrección atmosférica es una imagen en valores de reflectancia superficial la cual es una medida de la fracción de la energía radiante proveniente del sol que es reflejada desde la superficie terrestre la cual se mide en porcentaje (Carnegie Institution for Science, 2013).

Es importante evaluar las imágenes crudas que se van a utilizar ya que, a pesar de que las correcciones aportan calidad significativa a las imágenes, se debe considerar escogerlas con poca nubosidad y con la misma temporalidad definida por la estación del año, ya que al usar una imagen con una época del año diferente a la imagen que se pretende analizar, por cuestiones de fitofenología, dichos cambios observados no tendrán relación alguna con la problemática del lugar (*Ibidem.*).

4.1.2 Clasificación de cobertura fraccional

La segunda función que realiza CLASlite es un Análisis espectral que, a partir de la imagen de reflectancia y con base en la radiación reflejada por diferentes tipos de cobertura sobre la superficie terrestre, se obtiene un mapa de cobertura fraccional donde cada pixel se asigna a determinada cobertura de acuerdo con su respuesta espectral, obteniendo un mosaico de coberturas terrestres. La forma más convencional de hacer un mapa de cobertura terrestre con imágenes satelitales consiste en hacer una clasificación a nivel de píxeles, asignándolos a determinadas coberturas terrestres como: cuerpos de agua, áreas urbanas, bosques extensos, incluso grandes áreas de cultivos; esta forma de clasificación llega a ser eficiente en estudios donde las imágenes tienen ciertas características homogéneas en relación a la cobertura; sin embargo, para detectar perturbación o deforestación presente en bosques, en una clasificación tradicional pocas veces detecta estas situaciones en la imagen ya que, dentro de un pixel los rasgos de origen antrópico, como un área de árboles talados, se presentan en menos de la mitad de un pixel (menor a 30 x 30 metros en el caso de una imagen LANDSAT); lo que CLASlite hace es distinguir determinadas coberturas que pudieran estar presentes dentro de un pixel; para esto, CLASlite ejecuta la función AutoMCU de CLASlite, el cual, es un método probabilístico de bibliotecas espectrales que realiza una clasificación de cobertura terrestre a partir de la data de reflectancia, este método hace un análisis de mezcla espectral que descompone el pixel en las diferentes coberturas que lo constituyen (Carnegie Institution for Science, 2013).

La función de AutoMCU o Segregación Espectral Automatizada Monte Carlo, analiza cuantitativamente la cobertura en porcentaje de 0 a 100% de vegetación viva, vegetación muerta y material expuesto dentro de un pixel; la vegetación viva es la vegetación que presenta una reacción fotosintética (PV), esto es porque presenta una respuesta espectral provocada por los pigmentos de las hojas, cierto contenido de agua y determinada cantidad de follaje en el dosel; la vegetación no fotosintética (NPV) es la vegetación que no presenta actividad fotosintética asociada a materiales secos como madera, suelo desnudo u hojas secas; y por

último el material expuesto (S) como suelos minerales, rocas o construcciones de origen antrópico. La función AutoMUC en un principio estaba enfocada para ecosistemas como la sabana, matorrales y bosques madereros, posteriormente se rediseño para bosques tropicales. El análisis funciona con base en bibliotecas espectrales, que contienen caracteres espectrales puros o *endmembers* los cuales son respuestas espectrales que sirven de referencia y son representativas de determinadas coberturas terrestres; para este fin, se usan espectralradiómetros de campo que recolectan caracteres espectrales puros, lo que permite que exista una gama de posibilidades y variabilidad al momento de descomponer un pixel y poder discriminar a que cobertura se asemejan; el enfoque que usa la función AutoMUC se basa en las características del dosel de bosques y selvas que se encuentra en cada pixel, fraccionándolo en cobertura de vegetación fotosintética (PV), vegetación no fotosintética (NPV) y sustrato expuesto (S) (*Ibidem.*).

La biblioteca espectral para la cobertura de sustrato expuesto incluye una diversidad de tipos de suelos minerales, la biblioteca espectral de vegetación no fotosintética incluye hojarasca superficial, pastos secos, residuos de deforestación (tala) y otros residuos en estado de descomposición, por otro lado, la biblioteca espectral para la cobertura de vegetación fotosintética, requirió de visualización del dosel ya que las tomas a nivel del suelo como hojas individuales, follaje o dosel parcialmente como las ramas, introducen error en los modelos de mezclas espectrales. Para realizar la biblioteca espectral a nivel de dosel se usa el sensor Earth Observing-1 (EO-1) Hyperion, este sensor recolectó datos en sitios de control en bosques tropicales en Brasil, Perú, entre otros, desde 1999 hasta 2012 lo que resultó en millones de observaciones espectrales con una resolución espacial de 30 m, este sensor recolecta datos entre las copas de árboles además de discriminar los efectos de sombreado, en total la biblioteca espectral está compuesta de 250000 caracteres espectrales obtenidos por las observaciones aéreas y tomas de campo (Carnegie Institution for Science, 2013).

La función AutoMCU selecciona de manera repetitiva un espectro de PV, NPV y S de cada biblioteca y separa la reflectancia del pixel en fracciones de cobertura

compuestas, repite el proceso de selección de carácter espectral puro aleatorio hasta que se obtiene un valor promedio; para cada fracción de cobertura superficial (vegetación no fotosintética NPV, vegetación fotosintética PV y suelo expuesto S), el programa genera hasta 50 posibles combinaciones de muestras porque generalmente con 50 repeticiones es suficiente para obtener mejores resultados; la ventaja del análisis Monte Carlo es que las repeticiones por pixel producen una desviación estándar haciendo un estimado para las fracciones de PV, NPV y S (*Ibidem.*).

El resultado es una imagen de cobertura fraccionada con 7 bandas que se puede analizar combinando las bandas 1, 2 y 3 en un programa de visualización de imágenes (ENVI, ArcMap, entre otros), en el cual muestra la banda 1 como cobertura de suelo expuesto (S) representado con el color rosa, la banda 2 muestra la cobertura de vegetación fotosintética (PV) que se muestra en color verde y la vegetación no fotosintética (NPV) en la banda 3 con el color azul; la intensidad del color simboliza la manifestación de cada tipo de cobertura en cada pixel, por ejemplo, si un grupo de pixeles tiene una mayor intensidad de verde tendrán un mayor porcentaje de PV, los pixeles amarillos indican la presencia de S y de PV y los pixeles azules NPV (Carnegie Institution for Science, 2013).

Otra forma de analizar el resultado es a través de los valores de banda de la imagen, las tres primeras bandas representan la cobertura fraccional de la vegetación fotosintética, vegetación no fotosintética y el suelo expuesto, que están expresadas en porcentajes que van del 0 al 100%, debe considerarse que por ser un modelo probabilístico no siempre será el 100% la suma de los tres tipos de cobertura; las bandas 4, 5 y 6 representan la incertidumbre de cada fracción de cobertura que se expresa como desviación estándar de las 50 repeticiones del modelo donde los valores más altos indican el aumento de la incertidumbre, y la banda 7 representa el error total de los espectros de reflectancia observados en comparación con las bibliotecas espectrales (*Ibidem.*).

4.1.3 Clasificación de cobertura boscosa

El siguiente paso a seguir es realizar un mapa de cobertura boscosa con base en los valores de la imagen de cobertura fraccional y la actividad fotosintética tomando en cuenta un árbol de decisiones que tiene como fundamento que, si dentro de un pixel que cubre una fracción $\geq 80\%$ de vegetación fotosintética (PV) y el porcentaje restante es sustrato expuesto (S), se clasificará como bosque; considerando que dentro del área de estudio se encontraran otros tipos de suelos que difieren en aspecto físico pero no fotosintético, tal es el caso de pastos o agricultura que si bien, dependiendo el estado fenológico de estos, tendrán un resultado parecido al área boscosa, en caso de tener cantidades parecidas de clorofila, para ello, el usuario del programa establece un umbral (Sval) que permite ajustar los resultados en torno sólo al área boscosa de la imagen eliminando la vegetación que pudiera tener niveles altos de PV y no sea clasificada como bosque, este tipo de vegetación con frecuencia tiene altos niveles de S ($\geq 20\%$) más de lo que se puede encontrar en un bosque inalterado. Los ajustes por defecto quedan establecidos que, la fracción de PV sea $\geq 80\%$ así como la fracción de S sea $\leq 20\%$ se clasifica como área boscosa y si existe una fracción de S $\geq 20\%$ y $\leq 80\%$ esta se clasificara como área no boscosa. Debe aclararse que este paso se puede emplear en casos que se enfoquen sólo en bosques tropicales; el ajuste de umbral que se establece, de acuerdo al conocimiento del área de estudio, es general para la cantidad de tipos de bosques tropicales que existen, sin embargo, se sugiere ratificar los resultados que se obtengan de este proceso.

Otra cosa importante por mencionar es que, los resultados en el mapa de cobertura boscosa no establece si el área no boscosa se debe a que es perturbación o deforestación, simplemente lo considera como un cambio en general dentro de la imagen; además, para establecer a que clasificación pertenece, se requiere de varias imágenes para saber cuál es el origen de ese cambio y tener el conocimiento de las actividades antrópicas que se realizan así

como un historial completo de los fenómenos naturales que se presentan en el área de estudio (Carnegie Institution for Science, 2013).

4.1.4 Detección del cambio del bosque

CLASlite también hace una detección de cambio del bosque usando una serie temporal de dos o más imágenes de la misma área mapeando la pérdida del bosque por deforestación y perturbación aunque, no se sabe si es por causa natural o antropogénico el resultado que se obtenga, por tanto, debe existir un conocimiento de manera externa del área de estudio, así como la actividad antrópica que se realiza en el lugar (*Ibidem.*).

El análisis basado en la visualización de imágenes satelitales multitemporales es la mejor forma de detectar un cambio en la estructura física del bosque, en este caso la deforestación, perturbación o crecimiento de los bosques; sin embargo, un cambio en un bosque se puede deducir con una sola imagen, siempre y cuando exista una validación en campo, cumplirá con la función de solo ser herramienta visual para investigación y validación en campo. Sin embargo, un cambio en determinado lugar viene condicionado en tiempo y espacio, por ello que se recomienda el uso de imágenes de distintas temporalidades pero con la misma época estacional para evitar algún defecto provocado por las condiciones fenológicas de las plantas en los resultados (Carnegie Institution for Science, 2013).

Para obtener los resultados en forma de mapa, se emplean árboles de decisiones en cada una de las imágenes que se utilizan; para saber cuáles son los posibles resultados, se hacen cálculos teniendo como principio que, si un pixel pierde el 25% o más de su fracción de PV (vegetación fotosintética) de una imagen de un momento a otro posterior, está deforestado; otro principio explica que si un pixel comienza con una fracción baja de S (suelo expuesto) y después aumenta en gran medida la fracción de S quiere decir que el pixel está deforestado; y un último principio explica que si existe un pico alto de NPV (vegetación no fotosintética) apunta a deforestación que podría ser causada por procesos naturales de la

vegetación; para el caso de la perturbación, los árboles de decisiones se manejan con los mismos valores de PV pero difieren en que la perturbación se da de manera más sutil en comparación con la deforestación, aunque no queda exenta de causar graves consecuencias a largo plazo. Dentro de la imagen existen criterios que permiten diferenciar los pixeles de deforestación con los de perturbación, en el caso de un pixel de deforestación, un pixel debe estar rodeado de 5 pixeles en un área de 3x3 pixeles para catalogarlo como deforestación, para ello se aplica un filtro especial en la imagen cruda de deforestación y se revisa la posición de los pixeles; cuando los pixeles no coinciden con los criterios de deforestación pero se encuentran más separados de lo que se determinó, estos son clasificados como pixeles de perturbación. Los criterios planteados para clasificar los pixeles de perturbación es que, en un área de 7x7 pixeles debe estar rodeado de 5 pixeles para catalogarlo como perturbación; someter a filtros las imágenes evita la confusión de que un evento natural sea considerado como un fenómeno antrópico, además de discriminar los artefactos falsos positivos (Carnegie Institution for Science, 2013).

En esta fase del proceso, el programa elimina artefactos que se puedan reconocer visualmente enmascarándolos, como son las nubes y sombras de la nubes, cuerpos de agua y sombras topográficas; esta eliminación de artefactos es tanto para deforestación como perturbación en todas las imágenes que se lleguen a utilizar (*Ibidem.*).

Posteriormente, se hace una limpieza del mapa, sometiendo a las imágenes a un nuevo filtro de seis criterios, en el caso de las imágenes LANDSAT. Los dos primeros criterios definen los pixeles que ya se han enmascarado anteriormente, aquí se especifica que un valor menor o igual a cero representa datos faltantes; el tercer criterio define pixeles que se clasificaron erróneamente como deforestación nombrados falsos positivos y que posiblemente pertenecen a áreas no boscosas de la primera imagen temporal, esta parte del proceso es importante porque se detectan, del primer tiempo, los cambios de perturbación y deforestación en los pixeles que se clasificaron como no bosque; el cuarto y quinto criterio eliminan

pixeles parecidos a nubes, sombras y agua, esto es porque las orillas de las nubes se muestran, espectralmente, similares al suelo expuesto, por lo que, en el primer filtro no se clasificaría como deforestación; el sexto criterio sólo se utiliza en imágenes LANDSAT y menciona que, para que se mantenga la clasificación de pixeles, deben mantenerse los umbrales establecidos de PV (vegetación fotosintética), NPV (vegetación no fotosintética) y S (suelo expuesto) en las bandas de reflectancia 1 y 4 lo que permite remover más falsos positivos. Cuando se realiza la comparativa del resultado de NPV de la primera imagen menos el NPV de la segunda imagen, tiende a eliminar pixeles con vegetación recrecida en áreas deforestadas o pastos exclusivos para actividad agropecuaria, que son parte de una deforestación, para eso, se presenta una cláusula dentro del criterio la cual, involucra los valores de reflectancia en las dos imágenes temporales que permite recuperar pixeles eliminados por error. Posterior a este paso, se realiza un filtro donde elimina pixeles aislados en el mapa, esto es porque en la realidad, la pérdida del bosque no es común que se presente de manera aislada, para esto, se usa la regla de la ventana de pixeles de 3x3 donde dentro de esta ventana, 5 son pixeles pertenecientes a la deforestación, de manera que los pixeles que no cumplan con esta condición, pasaran a ser perturbación en la cual, se cumple la regla de la ventana de 7x7 donde al menos 5 pixeles deben ser de perturbación; si existen pixeles que no cumplan con estas reglas son eliminados (Carnegie Institution for Science, 2013).

Sin embargo, pueden existir pixeles que no se encuentran dentro de estas reglas pero que tienen relación con la pérdida de bosque por lo que durante el proceso de detección de cambio se presenta la función de compilación, la cual consiste en la recuperación de pixeles de perturbación que se encuentren cercanos al evento de deforestación ya que, los pixeles de perturbación suelen asociarse con un mismo suceso de pérdida de bosque creando un área de influencia de 120 metros alrededor de los pixeles de la deforestación que se presenta en la imagen recopilando pixeles de perturbación que caen dentro de esta área de influencia, el objetivo de esta fase del proceso es demostrar que los pixeles de perturbación tienen relación con la deforestación y no son del todo un fenómeno aislado. La

función tiene la opción de ocultar los píxeles de perturbación que se relacionan con la deforestación, sin embargo, no es recomendable, puesto que deja áreas vacías que se clasifican como perturbación no asociada cuando claramente existe una relación con el fenómeno de deforestación, por lo tanto no permite ver el panorama completo de dicho fenómeno (*Ibidem.*).

Un ejemplo de escenario en el que se podría usar esta función es cuando existen áreas propensas a perturbaciones naturales en mayor escala, tal es el caso de un incendio forestal, humedales o corrientes de ríos donde se pueden presentar una mayor cantidad de píxeles de perturbación agregados al fenómeno de deforestación (Carnegie Institution for Science, 2013).

La etapa de detección de cambio de cobertura se puede desarrollar hasta un máximo de 10 escenas temporales diferentes que producen resultados individuales obteniendo un mapa de deforestación y uno de perturbación; los resultados de un periodo a otro, se representan en tono gris y algunos píxeles, de dicho resultado, pueden presentar cambios en los siguientes periodos de la serie temporal, los píxeles en tono negro son píxeles sin cambios y los píxeles con sombras en blanco con gris corresponden a los resultados del periodo anterior, el usuario tiene la opción de mapear de un periodo a otro o mapear la serie completa; el cambio, entre una imagen a otra, no es igual que el cambio que presenta toda la serie, es decir, en el primer periodo puede presentar pérdidas mientras que en el segundo periodo refleja ganancias donde no existían y pérdidas donde no existían; es preferible que el lapso de una imagen a otra no sea prolongado ya que, se evitaría la omisión de cambios relevantes de un periodo a otro y son importantes para el proceso de análisis y toma de decisiones (*Ibidem.*).

4.2 Aplicación de la metodología

4.2.1 Recolección de insumos

Se recolectó material bibliográfico de tres temas, el primero fue material digital de libros y artículos, así como tesis de percepción remota y sistemas de información geográfica; se recopiló bibliografía relacionada con los manglares, sus usos e importancia a nivel mundial, nacional y local además de las amenazas a las que están expuestos y, por último, se usó bibliografía relacionada con las metodologías de la detección de cambio en bosques y la realización del curso CLASlite en línea para utilizar la metodología de este en el estudio; cabe mencionar que además del programa CLASlite para el tratamiento de las imágenes, se usó ENVI versión 5.3 para el corte de imágenes y visualizador y, arcGIS versión 10.2 para la visualización de las imágenes y realizar la cartografía del trabajo.

Se seleccionaron imágenes del sistema LANDSAT por su cobertura temporal y la adquisición de estas de forma gratuita además de que el programa acepta todas las imágenes que se utilicen de un sistema de satélites para conformar la serie temporal, en este sentido, se usaron imágenes LANDSAT 5 y LANDSAT 8. Para obtener las imágenes utilizadas en el estudio, se localizó el área de interés y posteriormente se seleccionó la secuencia temporal de imágenes LANDSAT 5 con fechas de 26 de abril para el año 2001 y 6 de abril para el año 2011 y LANDSAT 8 para la imagen del 6 de abril del 2017; Para el desarrollo del material cartográfico en el presente trabajo, se realizó la descarga de archivos shapes de coberturas tales como: climas, vegetación, suelos, ríos, cuerpos de agua, uso de suelo y vegetación, manglar perturbado y terrenos sujetos a inundación de las páginas de internet de CONABIO <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> e INEGI <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapas/>.

4.2.2 Procesamiento de las imágenes

El procesamiento de imágenes está dividido en cinco pasos, el primero es la preparación de las imágenes para que sean utilizables en el programa CLASlite; cómo se utilizaron tres imágenes, se verificaron los archivos de cada una para organizarlas en carpetas con nombres que distinga y separen los archivos uno de otro; posteriormente en el programa se da clic en botón de herramientas y clic en preparar LANDSAT (imagen 3.1).

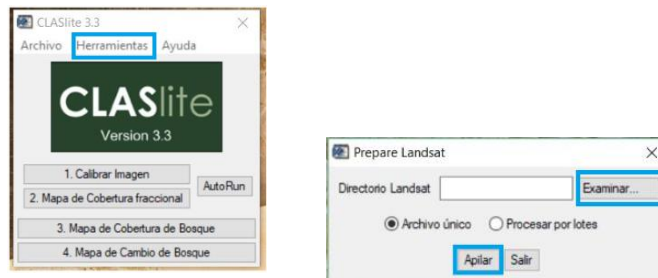


Imagen 3.1 Preparación de las imágenes en carpetas distinguibles para poder visualizarlas.

Posteriormente, en la ventana de Directorio LANDSAT, se introduce la carpeta para apilar los archivos de la primera imagen con el botón examinar (imagen 3.2), el resultado son dos archivos con terminaciones raw y therm, este mismo proceso se repite con las otras dos imágenes.

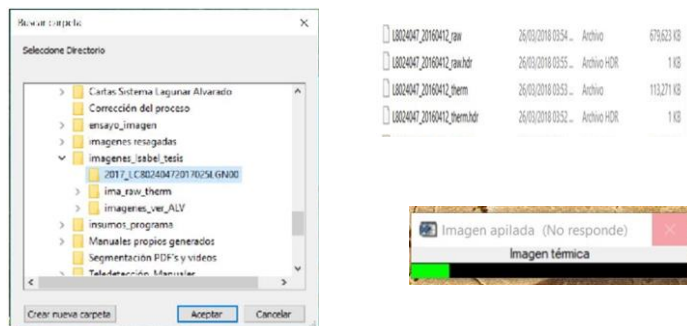


Imagen 3.2 Apilación de las imágenes para realizar las correcciones correspondientes y posteriormente obtener los archivos raw y therm.

El segundo paso es calibrar las imágenes, en otros términos, se realiza la corrección atmosférica para reducir el efecto atmosférico causado por los

componentes de la misma como aerosoles o vapor de agua, entre otros; y la corrección radiométrica que modifica los ND para acercarlos a un contraste más real de la imagen influyendo en los valores de brillo, ajusta también los valores que son afectados por la atmosfera o problemas radiométricos provocados por el mal funcionamiento del sensor (Chuvieco 1990; Campbell, 2011); se revisan los valores de la imagen cruda (imagen 3.3) para asegurar y verificar que todo marche bien con el resultado final, después, en el programa CLASlite, se da clic en calibrar imagen para abrir un ventana donde se cargan los archivos de la imagen (Imagen 3.4).

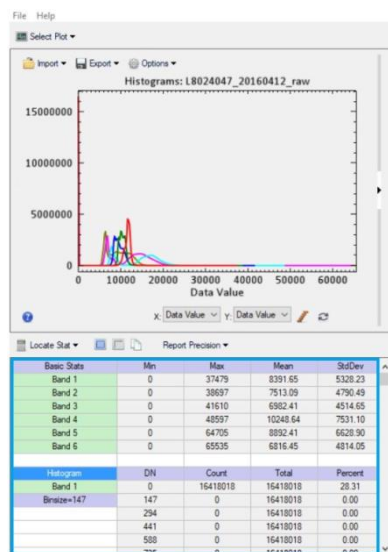


Imagen 3.3 Revisión de los valores de la imagen cruda.

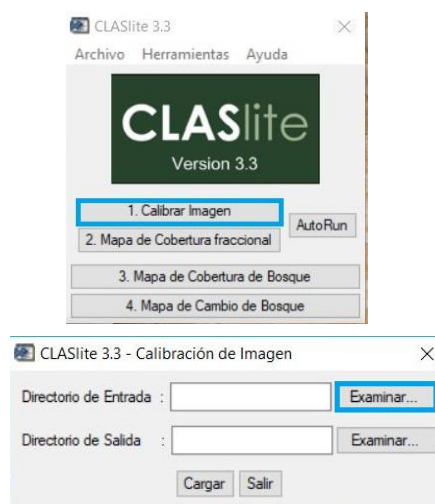


Imagen 3.4 Ventana para aplicar las correcciones atmosférica y radiométrica.

Posteriormente, se abre la carpeta donde se encuentran las imágenes que se utilizan en el estudio así como los archivos que resultaron del paso anterior; es importante aclarar que se cargó la carpeta que incluye las tres imágenes y los archivos, ya que ambas correcciones se hacen al mismo tiempo para todas las imágenes, después se da una ruta de salida al resultado en directorio de salida (Imagen 3.5).

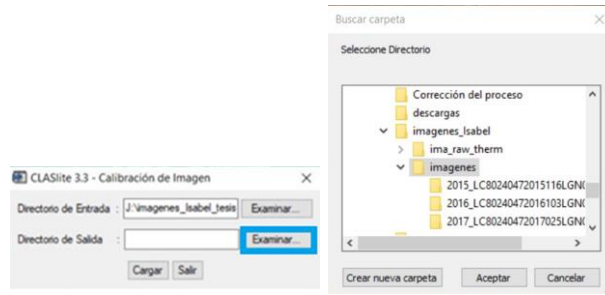


Imagen 3.5 Inclusión de la carpeta de imágenes.

Se abre una ventana donde se selecciona el número de imágenes que se usaron, posteriormente se cargó la imagen 1 la cual corresponde a la primera imagen de la serie, en este caso es la imagen del año 2001 (Imagen 3.6).

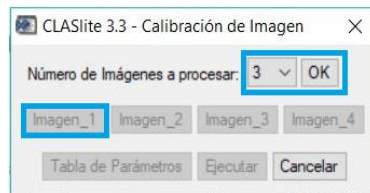


Imagen 3.6 Inclusión de imágenes por año.

En la ventana que se abre (Imagen 3.8), se llenan las pestañas de imagen de entrada, que corresponde al archivo raw, resultado del paso anterior; en la ventana del archivo metadato de entrada corresponde al archivo .txt de la imagen cruda y contiene los detalles de la imagen como la fecha de la toma de la imagen, la hora y el satélite, entre otros datos; este archivo al cargarlo, automáticamente se rellenan las demás pestañas.

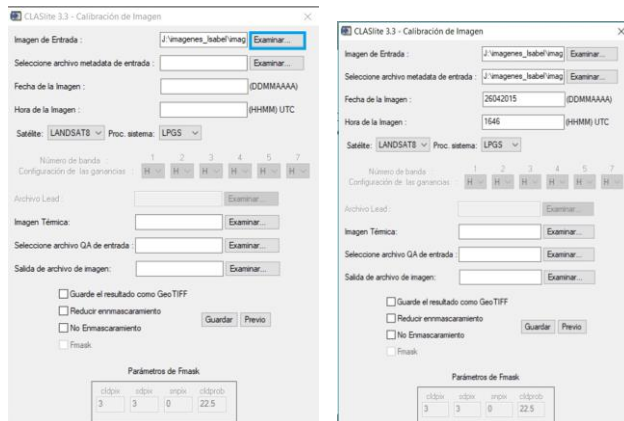
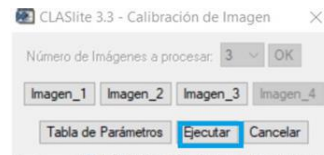


Imagen 3.8 Inclusión de archivos raw y metadato.

La imagen térmica therm es otro de los archivos que resultó del paso anterior así como el archivo QA, por último, se da una ruta de salida; se debe tener en cuenta que el programa da la opción de guardarlo en formato GeoTIFF y reducir el enmascaramiento (Imagen 3.9), sin embargo, en el caso de estas imágenes que se adecuan por ser de una zona tropical al programa, se mantuvieron los mismos parámetros ya que, si se reduce el enmascaramiento, elementos importantes de la imagen, como lagunas o cuerpos de agua rodeados de vegetación, se anularían en el análisis de detección de cambios; este mismo proceso se realizó con el resto de las imágenes para posteriormente dar clic en ejecutar.



Imagen 3.9 Inclusión de archivo therm y QA para posteriormente ejecutar el proceso.



Para revisar el resultado, se utilizó el programa ENVI versión 5.3, visualmente no existe una diferencia, sin embargo, en los datos estadísticos de cada imagen se aprecian las correcciones (Imagen 3.10). Como resultado se obtuvo una imagen de reflectancia.

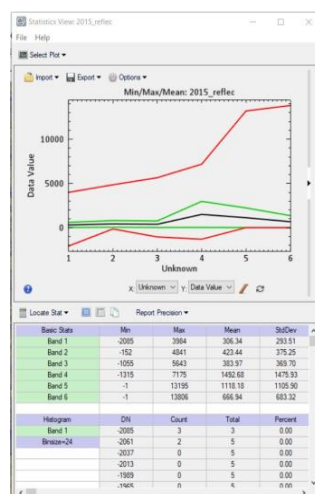


Imagen 3.10 Revisión de resultados de correcciones en el programa ENVI versión 5.3.

En la imagen se observa el histograma y los valores máximo y mínimo de la imagen los cuales, se encuentran en valores negativos, y han cambiado respecto a los valores de la imagen cruda. En la siguiente imagen del año 2017 (Imagen 3.11) se posiciona en la composición RGB las bandas 5,4 y 3 para visualizar la vegetación y los diferentes tonos de ésta, donde el tono verde es bosque y los colores rosa son áreas aclaradas por pastos para ganado o áreas secas por la estación del año, las tonalidades guindas son áreas urbanas o suelo desnudo.

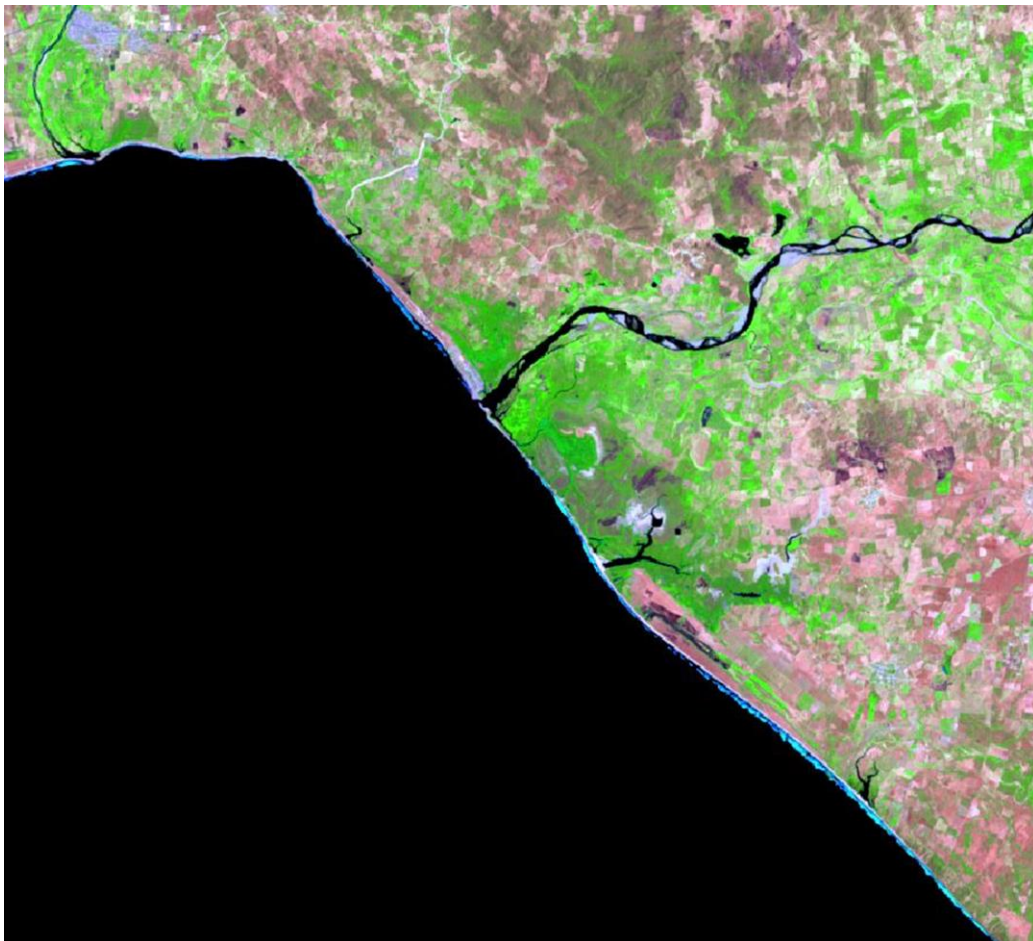


Imagen 3.11 Composición de RGB de las bandas 5/4/3 de la imagen del año 2017 que visualiza los tonos de vegetación en verde, los tonos rosa suelo desnudo y los tonos guindas

Después de que las correcciones se realizaron, el siguiente paso es hacer un mapa de cobertura fraccional, para esto, se elige la pestaña del programa CLASlite Mapa de Cobertura fraccional y en la ventana emergente se carga la

carpeta donde se encuentran las imágenes y los archivos obtenidos en los pasos anteriores (Imagen 3.12).

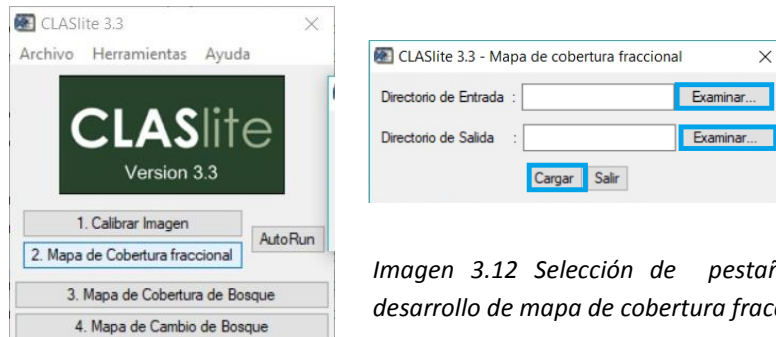


Imagen 3.12 Selección de pestaña para el desarrollo de mapa de cobertura fraccional.

En la ventana emergente, se seleccionó el número de imágenes que se están usando y se da click en OK para comenzar con la imagen 1, en este caso 2001 donde se cargó la imagen de reflectancia y se dio nombre al archivo de salida, se seleccionó el satélite al que corresponde la imagen (Imagen 3.13). Este mismo proceso se realizó con las dos imágenes restantes para posteriormente dar clic en ejecutar (Imagen 3.14), la ventana emergente es para modificar los parámetros de enmascaramiento, sin embargo, no se hizo ninguna modificación.

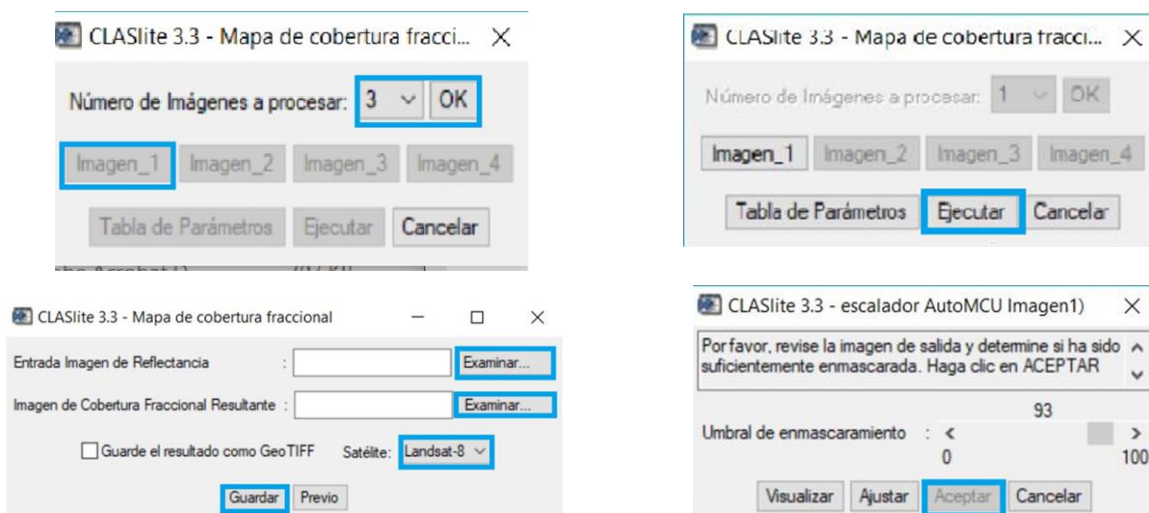


Imagen 3.13 Inclusión de imágenes de reflectancia por año.

Imagen 3.14 Ejecución del proceso una vez cargadas las tres imágenes.

La siguiente imagen es el resultado del proceso de mapa de cobertura fraccional, las tonalidades verdes son la vegetación fotosintética, los tonos azules es vegetación no fotosintética, es decir, se encuentra en un estado fenológico de senectud o que corresponden a áreas con poca actividad fotosintética y los tonos rosados a rojos es suelo descubierto en la imagen del año 2001 (Imagen 3.15), en el año 2011, se presenta un crecimiento de manglar con zonas en tonos amarillos por la baja actividad fotosintética (Imagen 3.16), en el año 2017 se presenta un cambio en un manchón de manglar, en este año también se presentan áreas amarillas (Imagen 3.17).

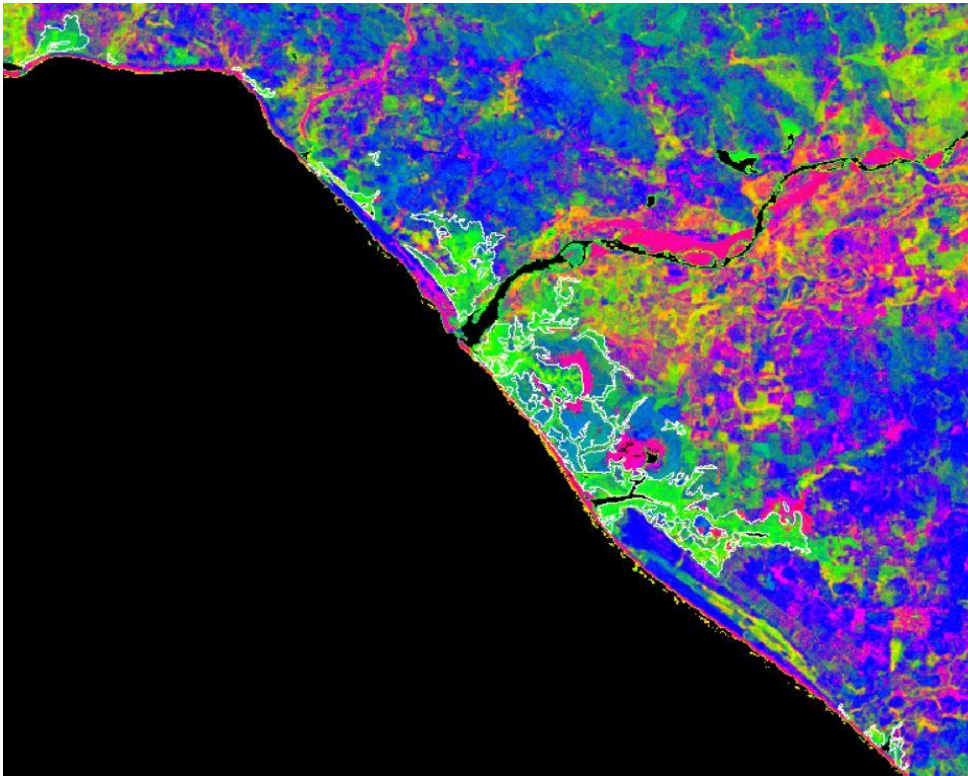


Imagen 3.15 Resultado de cobertura fraccional del manglar del año 2001.

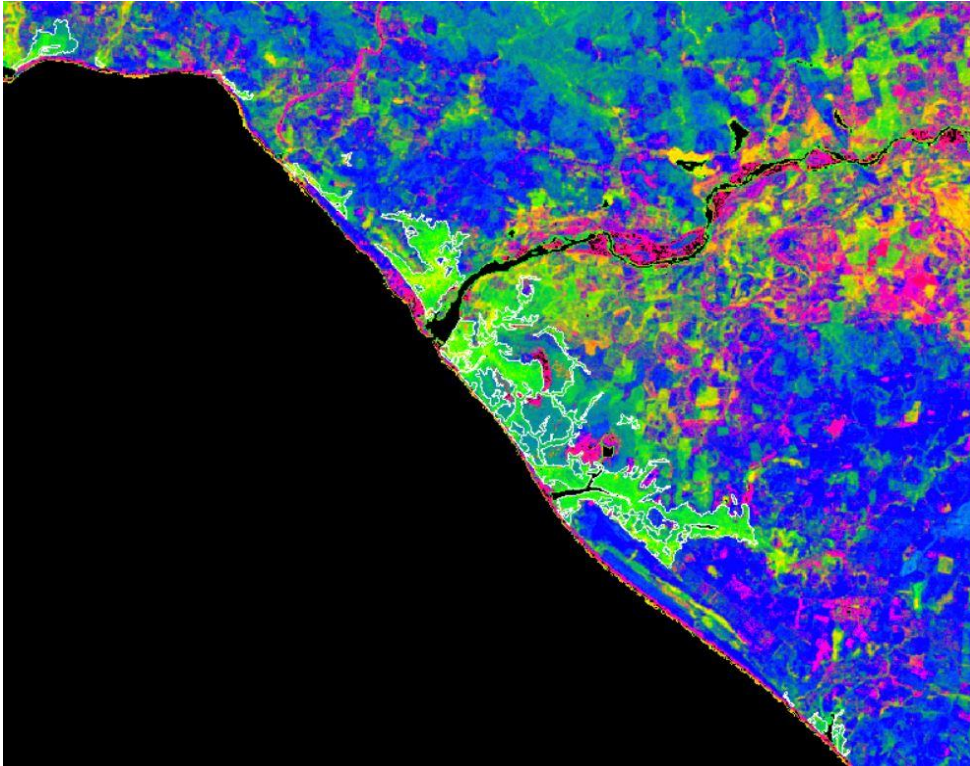


Imagen 3.16 Resultado de cobertura fraccional del manglar del año 2011.

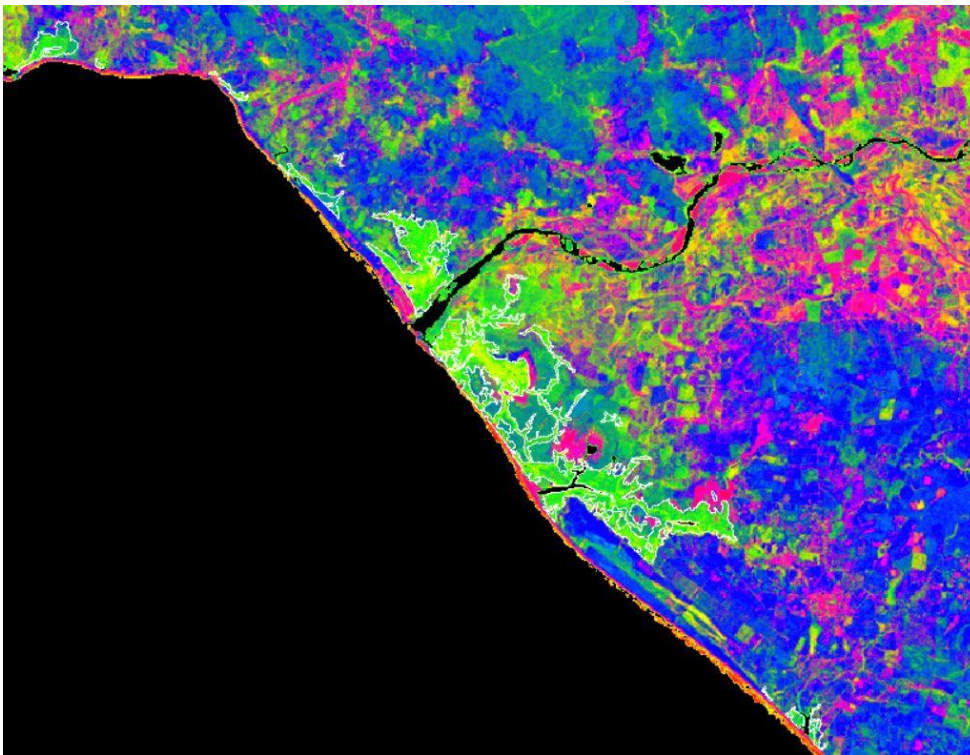


Imagen 3.17 Resultado de cobertura fraccional del manglar del año 2017.

Se realiza una clasificación de la actividad fotosintética por año usando la imagen de la cobertura fraccional, en esta clasificación los resultados de actividad fotosintética o inactividad fotosintética pueden estar orientados a zonas de tala o perturbación antigua que se ha mantenido, formando franjas sobre manchones de áreas boscosas, sin embargo, no siempre serán de origen antrópico, también pueden ser expansiones de pastizales de forma natural, como está basada la clasificación a la actividad fotosintética del manglar y no existen datos relacionados con la altura de la planta que pueda discriminar área boscosa de área no boscosa, se mantienen los resultados como actividad fotosintética del manglar y no cobertura boscosa y no boscosa (Institution for Science Carnegie, 2013).

Esta clasificación se desarrolla con base en imágenes de diferentes bosques que son comparadas con las imágenes del trabajo; se da clic en la pestaña de Mapa de cobertura de bosque, después en la pestaña examinar y se carga el archivo de cobertura fraccional de la primera imagen (Imagen 3.18).

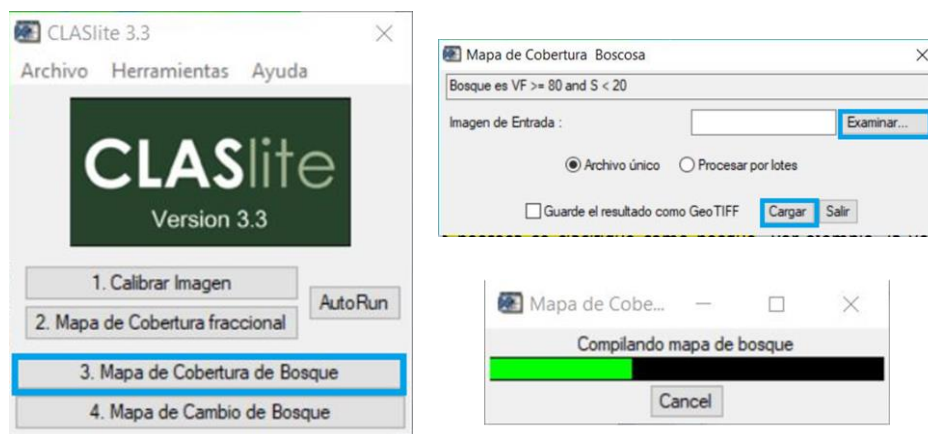


Imagen 3.18 Procesamiento de mapa de cobertura boscosa con base en las imágenes de cobertura fraccional.

Posteriormente, se abre una ventana donde se da la opción de cambiar los parámetros de umbral de suelo descubierto y vegetación fotosintética, como los umbrales están estandarizados a bosques tropicales, se dejaron los parámetros

que están predeterminados (Imagen 3.19), este procedimiento se hizo para el resto de las imágenes.

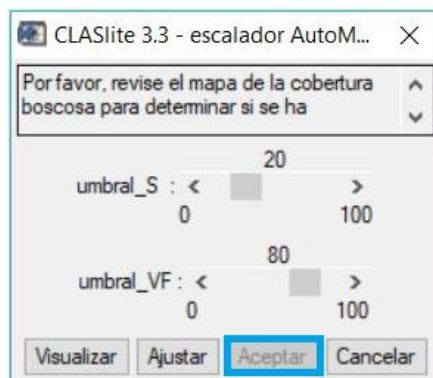


Imagen 3.19 Pestaña para la selección del umbral de suelo desnudo y vegetación fotosintética (los parámetros se mantienen por defecto).

El resultado es una imagen clasificada, donde las zonas verdes están clasificadas como actividad fotosintética y las amarillas con baja o nula actividad fotosintética, las zonas en grises corresponden a enmascaramiento (Imagen 3.20).

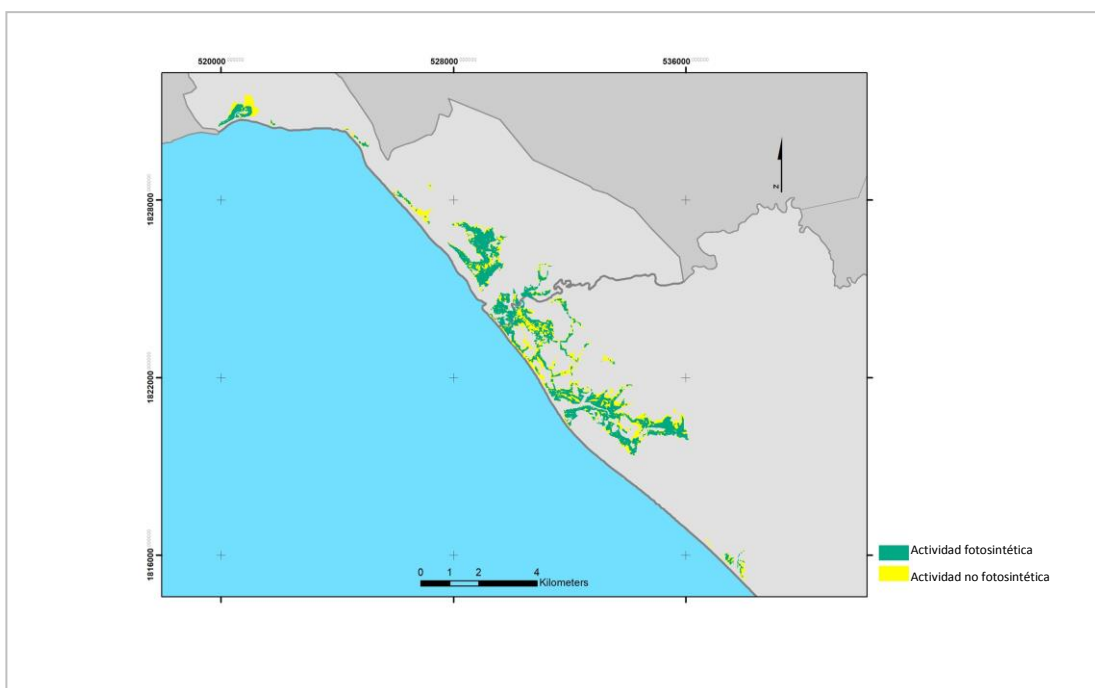


Imagen 3.20 Resultado del proceso del mapa de actividad fotosintética del año 2017, en la imagen se muestra la cobertura boscosa de manglar en tono verde y el tono amarillo representa el área no boscosa.

El siguiente paso es un mapa de cambio del bosque, se cargó la carpeta que incluye las imágenes en la opción de mapa de cambio del bosque en el programa, se dio ruta de salida al resultado (Imagen 3.21).

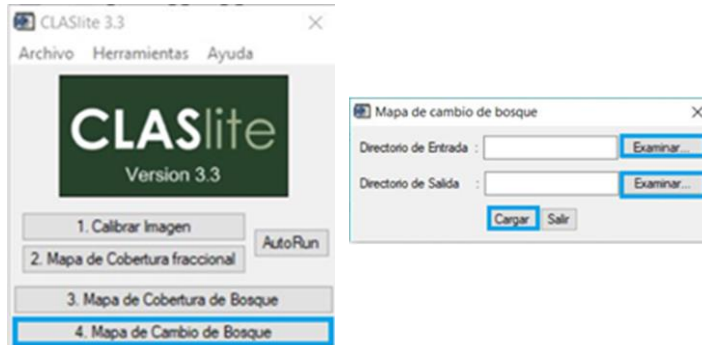


Imagen 3.21 Procesamiento de detección de cambios.

En la ventana emergente, se señala el número de imágenes que se están ocupando, así como el sensor de éstas, se cargaron los archivos de cobertura fraccional y de reflectancia en las pestañas emergentes de forma ordenada con respecto a las fechas de las imágenes comenzando por la imagen del año 2001, en la pestaña de cambio detectado se dejó la opción de primer cambio, esto es porque al momento de clasificar, el programa hará una diferencia entre el primer cambio (2001 a 2011) y el segundo cambio (2011 a 2017), se obtuvieron dos archivos diferentes los cuales serán uno de perturbación y otro de deforestación

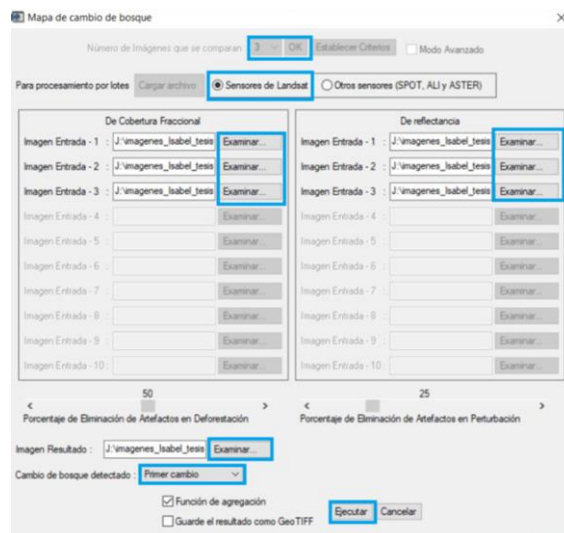


Imagen 3.22 Inclusión de las imágenes fraccional y de reflectancia de cada año.

El resultado son dos archivos, en la imagen 3.23 se muestra la deforestación dividida en dos tiempos que corresponden al cambio que se presentó del año 2001 al 2011 donde muestra que la zona de color gris no presenta cambios, las zonas rojas son el cambio del primer año y las zonas en azul son el cambio que se presentó durante el segundo año, esto corresponde, del mismo modo, para el resultado de perturbación.

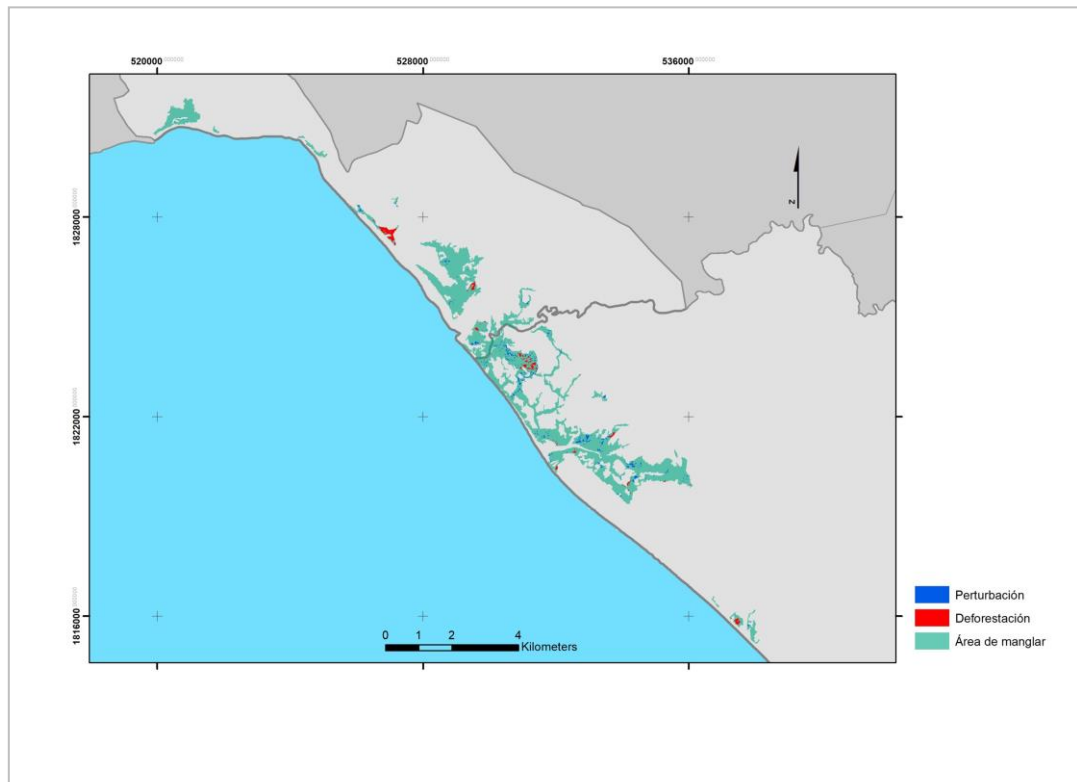


Imagen 3.23 Resultado de la detección de cambios donde muestra las áreas azules como perturbación y las áreas rojas como deforestación.

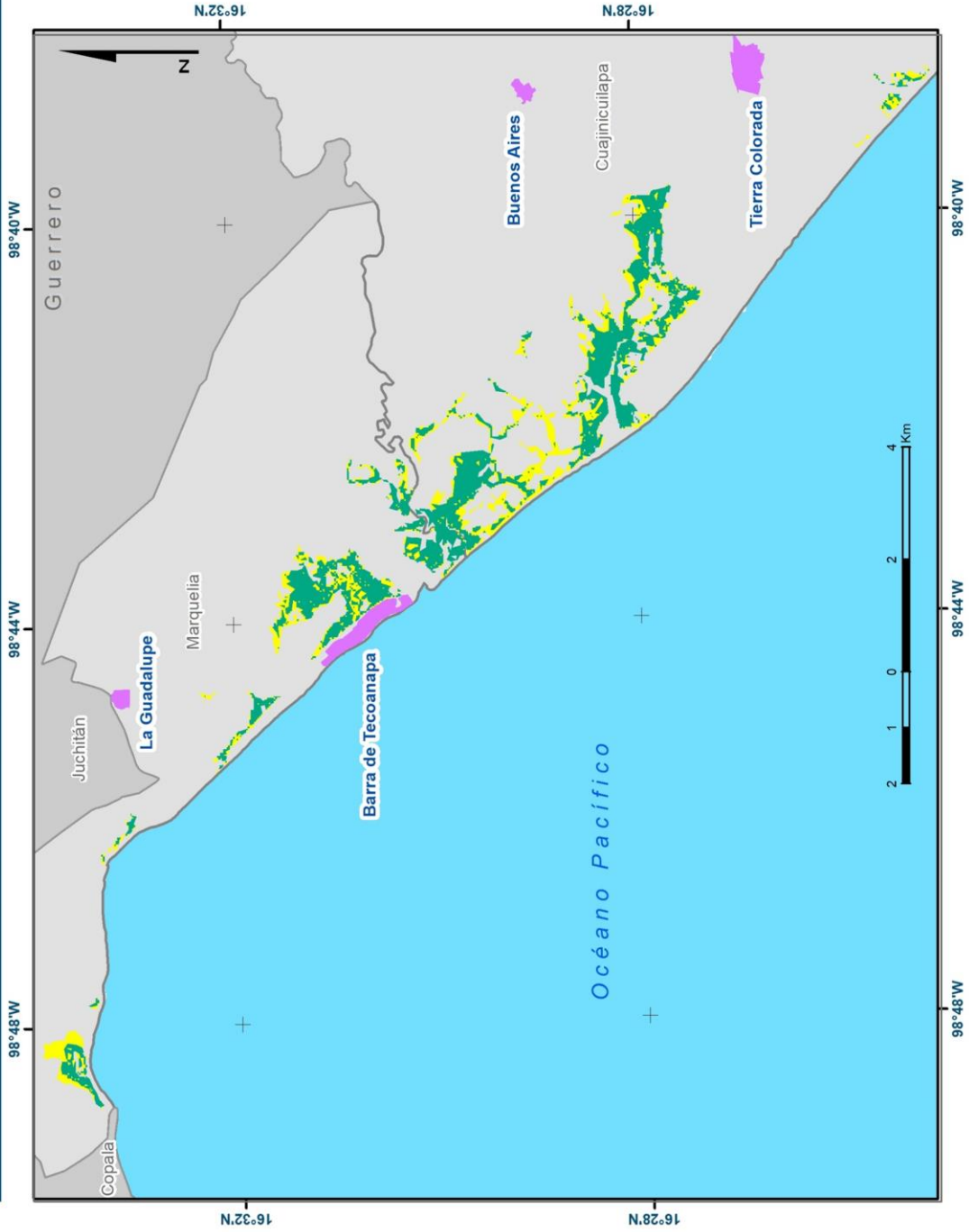
Posteriormente, se realizaron las tablas de los resultados así como los mapas transformando los resultados a formato shape de deforestación y perturbación visualizando el área total de manglar que CONABIO declara para el año 2015.

Resultados

I. Actividad fotosintética del manglar

Bajo la regla de que si en un área (30 metros cuadrados) existe $\leq 80\%$ de vegetación fotosintética y $\geq 20\%$ de suelo desnudo se clasificara como vegetación con inactividad fotosintética, de manera inversa si un pixel (30m²) tiene $\geq 80\%$ de vegetación fotosintética y $\leq 20\%$ de suelo desnudo, se clasificará como vegetación con actividad fotosintética. Esta clasificación está basada en la imagen fraccional como resultado del proceso de cobertura fraccional fundamentando los resultados en una comparación de múltiples imágenes satelitales de diferentes bosques tropicales y la densidad foliar así como la respuesta espectral del manglar de la zona de estudio. Los resultados de la actividad fotosintética se relacionan con el dosel, y con el estado físico del manglar, sin embargo, podrían estar influenciados por alguna enfermedad de la planta, así como la etapa de crecimiento de ésta, por lo que se clasificará como inactividad fotosintética; otra posibilidad es que exista presencia de otra vegetación como pastos u otra especie de humedal con diferente respuesta espectral (Carnegie Institution for Science, 2013), sin embargo, conforme las mismas áreas con inactividad fotosintética se repitan en la serie temporal, esto podría significar que ya no es solo cuestión del estado de la planta, si no que no existe un proceso de recuperación de la misma y pasa a ser suelo desnudo (*Ibidem.*; CONABIO, 2015). En la tabla 3.1, se tienen los registros de la actividad fotosintética del manglar de la serie temporal de 2001-2017; en el año 2001 el manglar presenta inactividad fotosintética posiblemente a consecuencia de algún fenómeno que se presentó en años anteriores (Mapa 7), en el año 2011 se manifiesta un aumento de la actividad fotosintética (Mapa 8), para el año 2017 se presenta un aumento de la vegetación con inactividad fotosintética (Mapa 9.). Se podría considerar un estudio a profundidad para descartar que sea cuestión de la edad de la planta y la densidad foliar, no obstante, si persiste la falta de actividad fotosintética en zonas repetitivas, podemos catalogarlo como un cambio negativo para el manglar (CONABIO, 2015).

Actividad Fotosintética del manglar - año 2001



Macrolocalización



Simbología

- Municipios colindantes
- Localidad Rural
- Límite Municipal
- Límite Estatal

Actividad Fotosintética

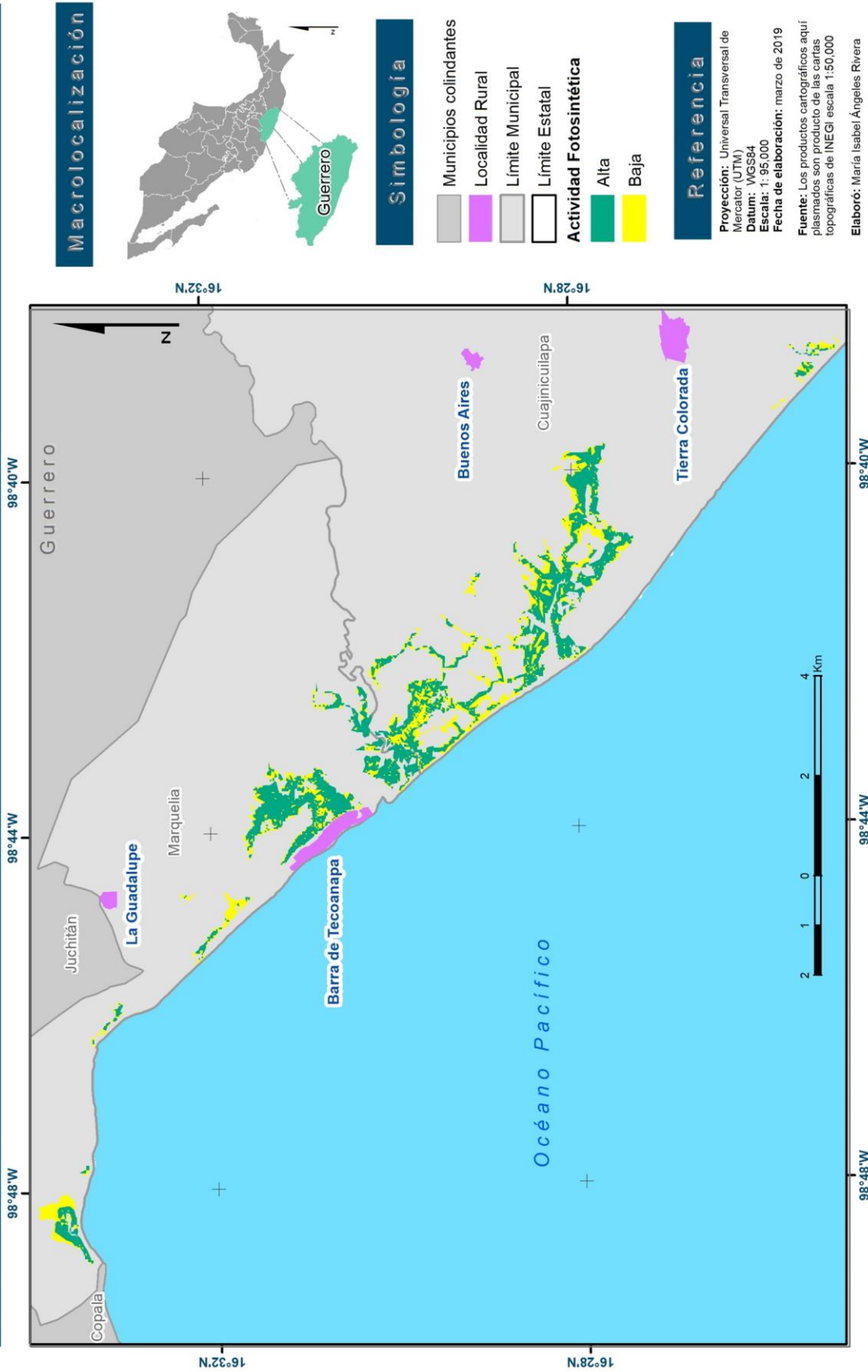
- Alta
- Baja

Referencia

Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM)
 Datum: WGS84
 Escala: 1:57,347,726
 Fecha de elaboración: marzo de 2019
 Fuente: Los productos cartográficos aquí plasmados son producto de las cartas topográficas de INEGI escala 1:50,000
 Elaboró: María Isabel Angeles Rivera

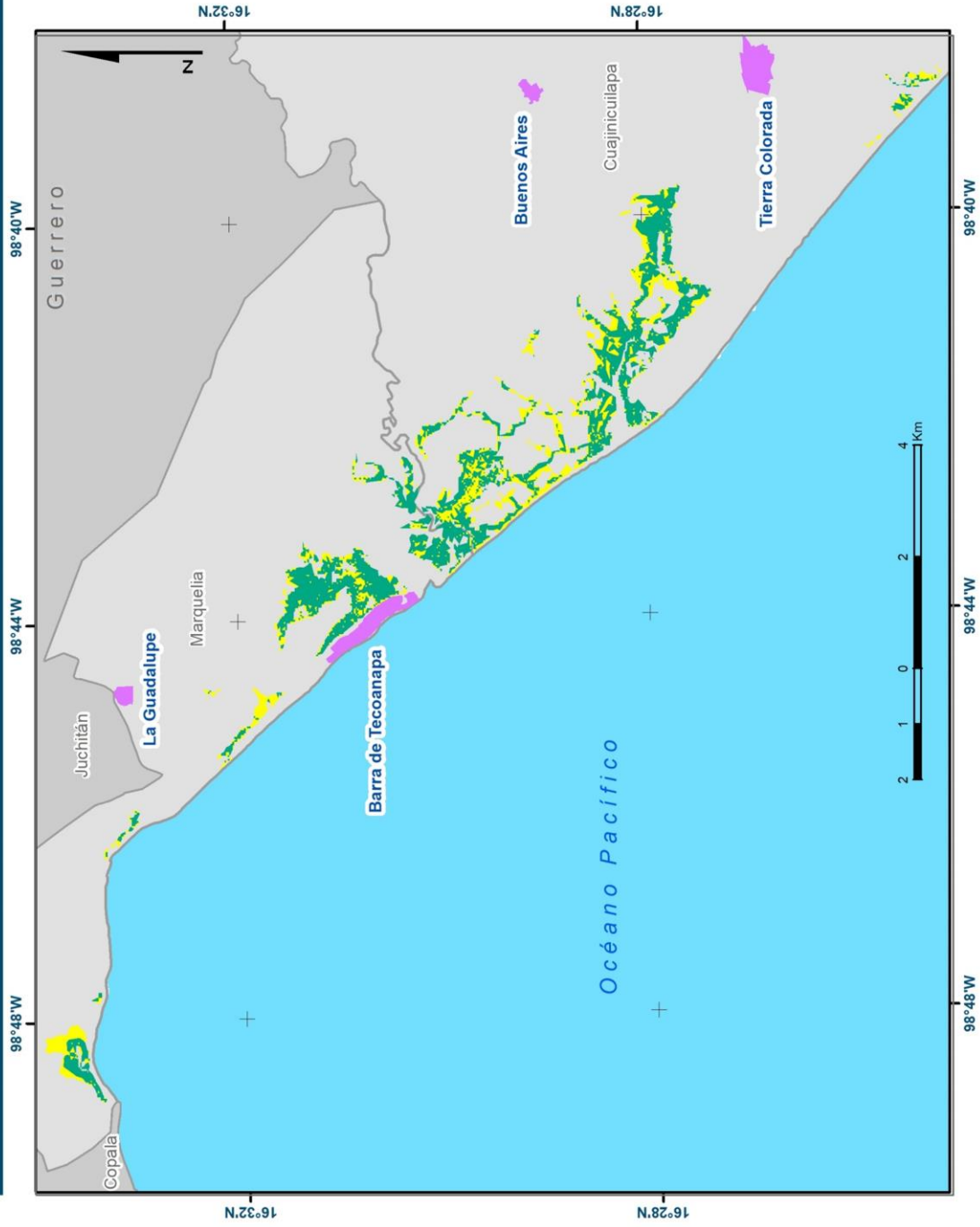
Mapa 7. Actividad fotosintética del manglar del año 2001

Actividad Fotosintética del manglar - año 2011



Mapa 8. Actividad fotosintética del manglar del año 2011

Actividad Fotosintética del manglar - año 2017



Macrolocalización



Simbología

- Municipios colindantes
 - Localidad Rural
 - Límite Municipal
 - Límite Estatal
- Actividad Fotosintética**
- Alta
 - Baja

Referencia

Proyección: Universal Transversal de Mercator (UTM)
 Datum: WGS84
 Escala: 1:95,000
 Fecha de elaboración: marzo de 2019

Fuente: Los productos cartográficos aquí plasmados son producto de las cartas topográficas de INEGI escala 1:50,000

Elaboró: María Isabel Ángeles Rivera

Mapa 9. Actividad fotosintética del manglar del año 2017

Tabla 3.1

| Actividad fotosintética del manglar por año | | | |
|--|--|--|---|
| Años | Vegetación fotosintéticamente activa (ha) | Vegetación fotosintéticamente inactiva (ha) | Vegetación fotosintéticamente inactiva (%) |
| 2001 | 438 | 471 | 50% |
| 2011 | 579 | 328 | 35% |
| 2017 | 576 | 329 | 35% |

Nota: Cálculo de los cambios de la actividad fotosintética del Manglar en hectáreas, los resultados porcentuales están basados en el shape de CONABIO del 2015: Elaboró: María Isabel Ángeles Rivera.

II. Deforestación del manglar

La deforestación se define como la tala o desmonte de los bosques lo que conlleva a la degradación o transformación del medio ambiente, reduciendo la capacidad de producción de éste, que puede estar relacionado con la intensidad de las actividades humanas (Fernández, 1996; Sánchez y Guiza, 1989; Amestoy, 2001); la deforestación también es conocida como degradación forestal la cual, se define como el cambio de uso de suelo forestal a otro uso como el agrícola o ganadero, entre otros que no sean de uso forestal, por lo que es un proceso que reduce la calidad de los bosques (Bocco *et al.*, 2001 citado en Pineda *et al.*, 2008); la FAO define a un bosque como un área con árboles de más de cinco metros de altura que tiene una cobertura del dosel superior al 10% y con más de 0.5 hectáreas (Armenteras *et al.*, 2016). La degradación forestal es también considerado un cambio negativo en las características de los bosques que provoca un bajo rendimiento en la capacidad de almacenamiento del carbono, por lo que resultan pérdidas de reservas de carbono dentro de áreas boscosas (Pineda *et al.*, 2008); la degradación de un bosque se relaciona con un impacto negativo que es causado por el hombre y afecta procesos ecológicos que son importantes para la funcionalidad productiva, de protección y aprovisionamiento de los ecosistemas (Leyva-Ovalle *et al.*, 2017; Armenteras *et al.*, 2016). Tiene impactos ecológicos a diferentes escalas en la biodiversidad así como en bosques tropicales y templados, por lo que ha afectado al clima global poniendo en riesgo

la captura de carbono; también trae consigo la fragmentación de bosques debilitando la capacidad de estos de proporcionar servicios ecosistémicos (Garvier y Bucher, 2004; Pineda *et al.*, 2008). Una de las problemáticas de la fragmentación boscosa es que existen microespecies y macroespecies vegetales y animales que requieren de cierto clima característico del bosque, al fragmentarse pierde este clima así como sus propiedades, provocando extinciones de especies que necesitan de bosques extensos para sobrevivir (Garvier y Bucher, 2004), en el caso de los manglares, este proceso de fragmentación de bosques afecta a la producción pesquera de la zona de estudio, la cual es la principal actividad económica del lugar, además que al fragmentarse el bosque de manglar pierde la función de protección para eventos climatológicos. La deforestación en la zona de estudio se calculó en dos periodos (Tabla 3.2), a continuación se presenta la tabla de resultados:

Tabla 3.2

| Resultados de Deforestación | | |
|------------------------------------|----------------|------------------|
| <i>Tiempos</i> | <i>Periodo</i> | <i>Área (ha)</i> |
| 1er tiempo | 2001-2011 | 6.27 |
| 2do tiempo | 2011-2017 | 17.73 |
| Total | 2001-2017 | 24.01 |

Nota: Cálculo de la Deforestación del manglar de la serie temporal 2001-2017 en hectáreas. Elaboró: María Isabel Ángeles Rivera.

Este resultado está basado en las imágenes de cobertura fraccional y actividad fotosintética las cuales arrojan 26.54 hectáreas de deforestación donde el primer periodo de 2001 a 2011 se deforestaron 6.27 hectáreas y en el segundo periodo del 2011 al 2017, 17.73 hectáreas, sin embargo, el manglar es una planta de follaje perennifolio/caducifolio donde la mayoría de las hojas caen en verano, cuando existe mayor radiación y menor humedad, florece de diciembre a febrero y de julio a agosto, fructifica de marzo a septiembre y de octubre a diciembre; cabe destacar que CONABIO declara para el año 2015 una cobertura forestal de 925.29 hectáreas (López Portillo y Ezcurra, 2002). El incremento en la pérdida del

manglar no tiene relación alguna con algún evento climatológico ya que, los únicos registros son de un huracán en el año 1997 y una depresión tropical en el año 2003; tampoco existe relación con la densidad de la población (Tabla 3.3) ya que ésta es baja, las localidades aledañas al manglar son: La Guadalupe con 398 habitantes, Buenos Aires con 284 habitantes, Tierra Colorada con 812 habitantes y Barra de Tecoaapa con 1162 habitantes, esta última es la única cuya cercanía con el manglar es contigua; existen 3 localidades un poco más alejadas de la zona de manglar las cuales son: Marquelia con 6553 habitantes la cual, es la única localidad urbana; El Polvorín con 1415 habitantes y Maldonado con 939 habitantes (Datos estadísticos de Conjuntos de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50000 serie III de las cartas clave E14D72 [Cuajinicuilapa], E14D62 [Ometepec] y E14D61 [Copala]). Las prácticas de manejo del manglar son inadecuadas, no se tiene la conciencia de la importancia de la zona como un corredor biológico y de los servicios ecosistémicos; se tenían propuestas para realizar un inventario general de la zona así como recategorizar la zona como conservación y rehabilitación (Tovilla-Hernández, 2009).

Tabla 3.3

| Distribución de la Población de la localidades | | | | |
|---|------------------|--------------------------|----------------------|---|
| Localidades | Municipio | Tipo de localidad | N. Habitantes | Distancia a manchón más cercano (km) |
| La Guadalupe | Marquelia | Rural | 398 | 2.44 |
| Buenos Aires | Cuajinicuilapa | Rural | 284 | 4.91 |
| Tierra Colorada | Cuajinicuilapa | Rural | 812 | 3.2 |
| Barra de Tecoaapa | Marquelia | Rural | 1162 | ***** |
| Marquelia | Marquelia | Urbano | 6553 | 2.1 |
| EL Polvorín | Marquelia | Rural | 1415 | 1.8 |
| Maldonado | Cuajinicuilapa | Rural | 939 | 6.18 |

Nota: Población total de las localidades cercanas a la zona de manglar de los municipios de Marquelia y Cuajinicuilapa. Elaboro: María Isabel Ángeles Rivera. Fuente: Datos estadísticos de Conjunto de datos vectoriales de información Topográfica escala 1:50000 serie III.

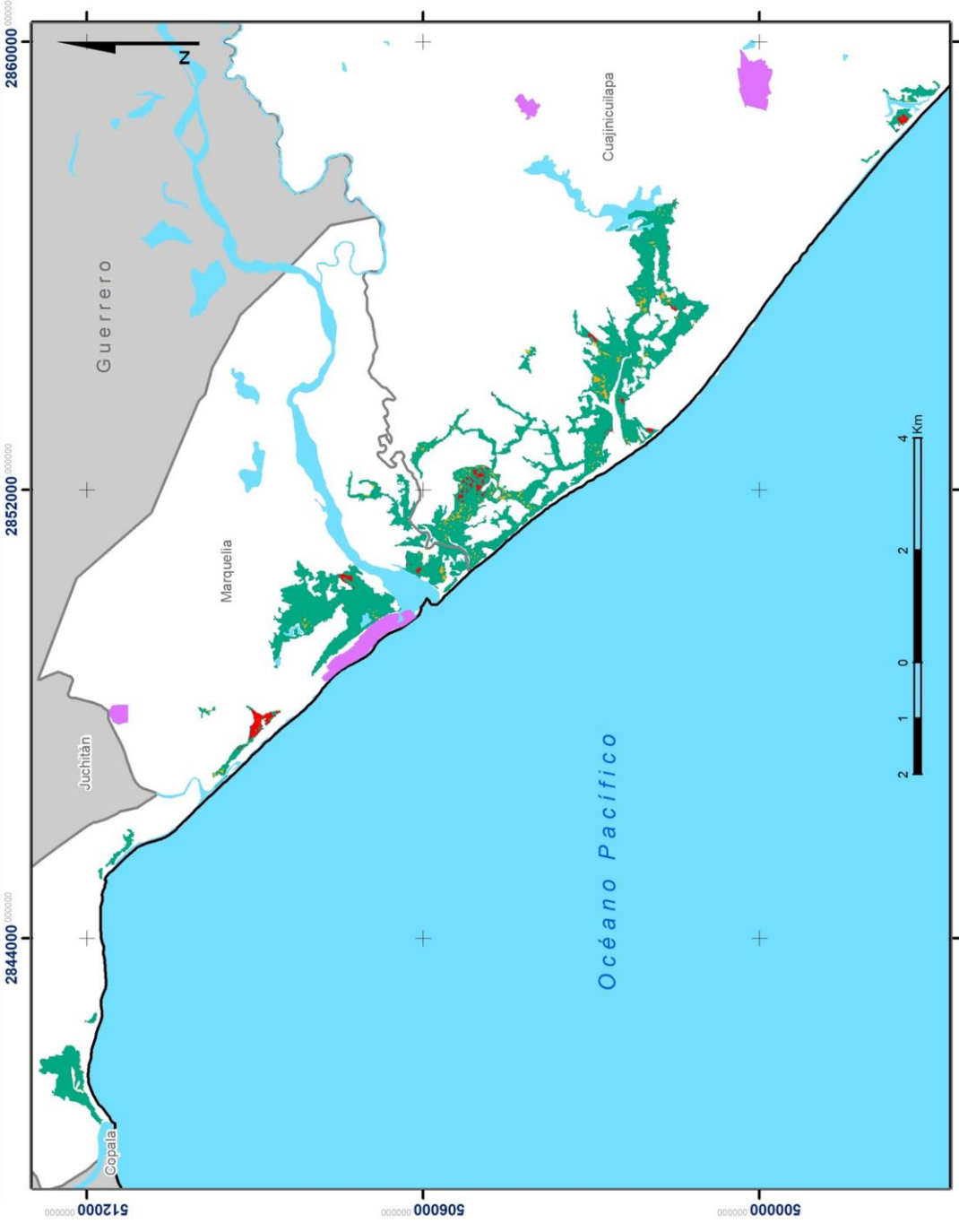
Puede notarse que la distancia de la mayoría de las localidades al manchón más próximo es de apenas unos kilómetros, sin embargo, la cercanía al manglar no es un factor importante para establecer que entre mayor cercanía al manglar, mayor será el daño sobre éste; un claro ejemplo es la localidad de Marquelia y El Polvorín que tienen una distancia relativamente cercana al manglar, no obstante, el manchón cercano a estas localidades es el menos afectado como puede observarse en el mapa 10.

III. Perturbación del manglar

La perturbación en la zona de estudio presenta un valor en hectáreas similar a la deforestación, y sus causas pueden ser de origen natural como algún evento meteorológico o de origen antrópico como cambios hidrológicos por el aporte de sedimentos por la construcción de infraestructura cercanas; retomando que la perturbación no es un fenómeno aislado, es determinante para la conservación del ecosistema ya que es una etapa de transición, la cual, puede presentar recuperación en un periodo de 5 años, siempre y cuando no se presente un evento que pudiera provocar su desaparición (CONABIO, 2015). En la tabla 3.4 contiene los datos cuantitativos de la perturbación del manglar donde podemos apreciar un cambio abrupto del área perturbada del año 2011 al año 2017; en el mapa 10 se puede visualizar la perturbación total en color anaranjado que se encuentra dispersa con excepción de algunos manchones en el municipio de Marquelia; algunas definiciones consideran a la perturbación como degradación por el hecho de ser un proceso que deteriora a los ecosistemas disminuyendo las capacidades algunas veces únicas a nivel local si se trata de un bosque o un lago que provisiona de determinado servicio ecosistémico.

La dinámica del manglar de 2001 al 2017 contiene datos del año 2003 con una superficie de 1303.83 ha, en el 2015 con 925.29 ha y los datos obtenidos en el trabajo del año 2017.

Dinámica del manglar



Macrolocalización



Simbología

- Deforestación
- Perturbación
- Localidad Rural
- Limite Estatal
- Limite Municipal
- Municipios colindantes
- Área de manglar

Referencia

Proyección: Cónica Conforme de Lambert (CCL)
 Datum: ITRF92
 Escala: 1:95,000
 Fecha de elaboración: febrero de 2019

Fuente: Los productos cartográficos aquí plasmados son producto de las cartas topográficas de INEGI escala 1:50,000

Elaboró: María Isabel Angeles Rivera

Mapa 10. Resultados de Deforestación y Perturbación en el Manglar

Tabla 3.4

| Resultados de Perturbación | | |
|-----------------------------------|----------------|------------------|
| <i>Tiempos</i> | <i>Periodo</i> | <i>Área (ha)</i> |
| 1er tiempo | 2001-2011 | 5.63 |
| 2do tiempo | 2011-2017 | 20.91 |
| Total | 2001-2017 | 26.54 |

Nota: Cálculo de la Perturbación del manglar de la serie temporal 2001-2017 en hectáreas. Elaboró: María Isabel Ángeles Rivera

Un señalamiento importante al analizar los resultados es reconocer porque se encuentra en mayor media la deforestación en unas zonas mientras que en otras es menor; si tomamos en cuenta el número de habitantes, las localidades que cuentan con mayor cantidad de población son: Marquelia, El Polvorín y Barra de Tecoanapa; cerca de esta última se localiza el manchón más deforestado mientras que los manchones de manglar restantes más cercanos a las otras localidades se mantienen con menos cambios a pesar del número de habitantes que en ellas se encuentran; no se observa relación alguna entre la distancia del manglar que presenta cambios y las localidades más cercanas.

Esta es una zona dedicada a la pesca, sin embargo, por lo menos en el 90% de los ríos en el estado de Guerrero están contaminados, además, existe una crisis en cuanto a la captación del vital líquido así como la actividad productiva de campo (Díaz I. marzo 2018, Ríos de Guerrero, de los más contaminados, Novedades Acapulco, recuperado de <https://novedadesaca.mx/rios-de-guerrero-los-contaminados/>), esto trae como consecuencia la degradación ambiental y la baja producción pesquera; por lo que los pobladores al no cubrir sus necesidades básicas recurren al consumo de los bosques para obtener un beneficio a corto plazo; la poca información, limitada capacitación y nulos conocimientos del valor de los servicios ecosistémicos que el manglar aporta a la recuperación de los

recursos hídricos es desconocida, por tanto, no existe un plan de manejo para los recursos forestales (Guevara *et al.*, 2001).

IV. Trabajos de Investigación vinculados

Tovilla Hernández (1998), realizó un estudio integral de 1990 a 1997 de los factores fisicoquímicos de la zona y cómo influyen estas con relación a las etapas fenológicas del manglar y la reproducción de este; de esta manera estima el crecimiento de las hojas de las cuatro especies que existen en el lugar, realizando una zonificación del manglar y determinando el grado de alteración en que se encuentran, producto de las actividades humanas, especialmente por la población de la zona costera de Barra de Tecoaapa, Guerrero; por lo que, establece que las especies *C. erectus* y *L. racemosa* son explotadas para la obtención de madera y leña por las comunidades aledañas al manglar; señala además, que la agricultura y la cacería provocan anualmente incendios forestales que han afectado a 34 hectáreas.

La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) viene realizando desde el 2005 un sistema de monitoreo de los manglares (SMMM) el cual genera información de la distribución espacial de los manglares en México en periodos de 5 años; hasta hoy, se han realizado observaciones de los años 1970 a 1980, 2005, 2010 y 2015. Tiene como principal objetivo la conservación del ecosistema a nivel nacional, mediante la generación de información sobre la localización y distribución del manglar, así como la detección de áreas con procesos de deterioro o perturbación.

Para cumplir con dichos objetivos, se realiza la recolección de información mediante trabajo de campo, fotografías de vuelos tripulados realizados por la Secretaría de Marina (SEMAR) y la retroalimentación con especialistas de estos ecosistemas; de tal manera que se evalúan índices de patrones espaciales como la fragmentación, la conectividad entre áreas de manglar y la relación de estos con otras vegetaciones aledañas, además, de la influencias de actividades antrópicas (CONABIO, 2015).

A nivel nacional, de 764 774 ha estimadas en el 2010, se obtuvo 775 555 ha en el 2015, es decir 10 781 ha que representa un 1.4%, este incremento lo relacionaron con la dinámica entre el manglar sano, manglar perturbado y otros humedales. A nivel de estados, dos obtuvieron pérdidas netas en el periodo 2010-2015 que fueron Guerrero con 1 448 ha (17.8%) y Baja California Sur con 117 ha (0.4%). Los estados con mayor ganancia neta fueron en primer lugar Sinaloa con 4 296 ha (5.6%) seguido por Quintana Roo 1 854 ha (1.4%) y Yucatán con 1 823 ha (2.0 %) (CONABIO, 2015). Respecto a la cobertura de manglar perturbado, el estado de Nayarit obtuvo 6 016 ha, Campeche con 2 067 ha, Sinaloa con 1 851 ha y Veracruz con 1 740 ha (*Ibidem*).

La Subcoordinación de percepción remota de CONABIO desarrolla cinco líneas de investigación relacionadas con el SMMM: El deterioro o perturbación por distintos factores asociados a fenómenos meteorológicos o actividades antrópicas; la detección de sitios de con procesos notables de dinámica de cambios en la línea de costa en áreas con presencia de manglar; evaluación del uso de imágenes de satélite de alta resolución espacial para diferenciar la especie *Rhizophora mangle* de otras especies de manglar y elaborar cartografía de la región Pacífico norte; Análisis sobre la identificación de los principales agentes que provocan el cambio en los manglares de México; Análisis de políticas públicas que se ejecutan en diversas instituciones de los tres órdenes de gobierno.

CONCLUSIONES

- De acuerdo con los resultados obtenidos a través del presente trabajo, se puede concluir de forma general que los cambios detectados en el manglar de Barra de Tecoaapa, Guerrero, en la serie temporal 2001-2017 presentaron una superficie deforestada de 24.01 hectáreas y 26.54 de superficie perturbada, donde la intensidad del cambio se presentó en el segundo periodo (2011-2017). Se observó que la perturbación se encontró de forma aislada y dispersa, así como en pequeñas proporciones y en la mayoría de los polígonos de manglar; una posible explicación es que la perturbación que se encuentra cercana a las áreas deforestadas se relacionan entre sí, mientras que las áreas perturbadas alejadas de la deforestación podrían deberse a causas naturales como algún tipo de enfermedad, condiciones climáticas, edad de la planta o presencia de algún tipo de vegetación con diferente respuesta espectral, las causas de la deforestación bien podría estar relacionada con el hombre ya que las zonas fuertemente deforestadas son aledañas a localidades rurales.
- Los resultados a largo plazo se presentan con valores bajos, sin embargo, si se realiza un análisis en periodos más cortos, puede existir mayor variabilidad en los cambios del manglar, tal es el caso de la serie temporal analizada dónde en el primer periodo que cubre diez años (2001-2011), los cambios detectados son menores en comparación con el segundo periodo de seis años (2011-2017) dónde el cambio se triplicó.
- La metodología usada en el trabajo cumplió con la función de detectar los cambios presentes en la cobertura del manglar, sin embargo, el trabajo careció de insumos que pudieran determinar de forma específica las causas de la perturbación y deforestación del manglar; al conocer la superficie deforestada y perturbada en la

serie temporal se observa un aumento significativo a partir del segundo periodo. Basados en los resultados de actividad fotosintética, se obtiene una pérdida del 35% del bosque de manglar, por lo que daría pauta a una investigación más a fondo para determinar que causas provocan dicho cambio que pudiera afectar de forma significativa la biodiversidad del entorno; no obstante, si no existe un lapso de recuperación de la vegetación, podrían afectar la capacidad de renovación del ecosistema.

- El conocimiento adquirido en el transcurso del desarrollo del trabajo fue alimentado por el gusto de conocer más sobre la vegetación tropical, específicamente sobre los árboles de manglar y es importante no menospreciar el menor cambio de los bosques tropicales. La perturbación en el estudio fue el sujeto principal, sin embargo, es poco lo que se sabe de la perturbación como un proceso de transición ya que, no existe una causa principal o los factores que la provocan, tampoco se sabe la dinámica de este fenómeno ni los factores que llevan a que un área de manglar se recupere o se pierda y es importante ahondar más en el estudio de la perturbación en los bosques del mundo (CONABIO, 2015).
- Desde una perspectiva personal, la presente metodología podría ser enriquecida con una serie de mejoras que se mencionan a continuación: análisis de distintas series de imágenes satelitales de diferentes estaciones del año y observación del comportamiento de la deforestación y perturbación del manglar, bajo condiciones invernales, de lluvias, sequías, entre otras; tener mayor disponibilidad de imágenes y poder ampliar la serie de tiempo para obtener un registro histórico más amplio del lugar; de ser posible contar con información de la química del agua para conocer su calidad y saber si está relacionada con la salud del manglar; analizar de manera individual la deforestación y perturbación por especie de mangle; de contar con los recursos necesarios, recabar información

de campo que indique la relación entre los pobladores y el manglar de forma directa; además de información antrópica, poder contar con sistemas de geoposicionamiento global para obtener un levantamiento de puntos y hacer una clasificación supervisada; obtener datos de campo que se relacionen con la vegetación secundaria en la zona de estudio.

- El papel que juega la percepción remota como herramienta en el quehacer geográfico es elemental para el análisis espacial de la superficie terrestre, con esta herramienta es posible obtener un amplio conocimiento de la zona que se analiza, de manera rápida y remota, esto para el geógrafo es importante ya que puede obtener diferentes interpretaciones de los elementos y fenómenos que actúan e interactúan en zonas que, algunas de las veces, físicamente sería imposible de acceder, por lo que permite hacer estudios en tiempo real y eficientes de la mano de los conocimientos adquiridos por los geógrafos que enriquecen el análisis y ofrecen mayores posibilidades de interpretación.
- El conocimiento adquirido durante la formación profesional, me permite a mi como geógrafa, localizar y analizar un fenómeno o elementos en la superficie terrestre; proporcionar una visión crítica, de enfoque científico y social que transmita e inspire interés por preservar, en este caso, los elementos naturales que, a su vez, tienen un valor intrínseco dentro de la naturaleza, además de ser valorados culturalmente por sociedades que conviven con ellas.

Glosario

Bioma: Agrupación de ecosistemas parecidos en su composición vegetal.

Cimbra: estructura que sirve de base para la construcción de arcos, bóvedas u otras construcciones.

Deforestación: acción o efecto de deforestar o talar árboles en determinada Extensión boscosa.

Degradación: Transformación del medio ambiente, especialmente de los sistemas naturales, debido fundamentalmente a las actividades humanas.

Desviación estándar: Unidad de medida de la varianza.

Erosión: Conjunto de fenómenos exteriores a la corteza terrestre que contribuyen a modificar lo que se fenómenos endógenos como el vulcanismo o tectónica ha formado.

Escorrentía: Corriente de agua que forma la lluvia sobre un terreno.

Espectroradiómetro: es un instrumento de campo que detecta con sensores fotosensibles la reflectividad del objeto directamente.

Estereoscopio: Aparato óptico en el que, al mirar con ambos ojos, se ven dos imágenes de un objeto que, al fundirse en una, producen una sensación de relieve.

Fenología: Rama de la ecología que se encarga de observar detalladamente la evolución de los organismos en su ciclo vital

Firma espectral: Forma peculiar de reflejar o emitir energía de un determinado objeto cubierta, está afectada por las características físicas o químicas del objeto que interacciona con la energía electro-magnética y varía según las longitudes de onda.

Follaje: Conjunto de ramas y hojas de los árboles y plantas.

Fúlcreas: raíces originadas en los tallos del manglar en forma de zancos.

Hidrofitas: plantas que habitan en el agua.

Hojarasca: Conjunto de hojas secas que han caído de los árboles.

Lenticelas: pequeños poros o branquias que permiten respirar al manglar.

Longitud de onda: Es la medida de la distancia que separa dos valores culminantes entre sucesivas ondas.

Neumatóforos: pequeñas raíces en forma de tubos erectos que cubren el suelo alrededor del árbol para proporcionarle oxígeno cuando el nivel de agua aumenta.

Perturbación: Alteración causada por cualquier factor (biótico o abiótico) que afecta negativamente al vigor y a la capacidad productiva del bosque y que no es el resultado directo de actividades por parte del hombre.

Plántula: embrión vegetal desarrollado por germinación de la semilla.

Radar: Sistema activo de micro-ondas que emite un haz energético sobre la superficie terrestre para luego recoger su reflexión sobre ella.

Radiancia: Total de energía radiada por unidad de área y por ángulo sólido de medida.

Radiómetro: Es un instrumento para medir la energía radiada por las superficies con una longitud de onda de milímetros y centímetros.

Ramsar: Convención sobre los humedales en Irán 1971 que consiste en un tratado intergubernamental cuya misión es la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales, regionales y nacionales.

Reflectividad: Porcentaje de radiación incidente que es reflejada por una superficie bidimensional.

Salitre: Nombre para referirse a ciertas sales, estas sales aparecen en suelos y paredes.

Sistema Binario: Sistema de numeración que contiene solo dos dígitos, los dígitos binarios (bits) son 0 y 1.

Bibliografía

- National Research Council of the National Academies (2013) *“Advancing Land Change Modeling: Opportunities and Research Requirements”*, National Academy of Sciences , Washington, D.C.
- Alanís G., et al. (2009) *“Libro Verde: el patrimonio natural de México, amenazas y herramientas para resolverlo”* Fondo Mexicano para la conservación de la Naturaleza AC. México.
- Amestoy Alonso, José *“Aspectos de la degradación del medio ambiente: su influencia en el clima. Papeles de Geografía”* [en línea] (2001), (julio-diciembre) : [Fecha de consulta: 30 de mayo de 2018] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40703402> ISSN 0213-1781.
- Anji Reddy M. (2008) *“Remote Sensing and Geographical Information Systems”* 3ra Edición, BS Publications , India.
- Armenteras D. et al., (2016) *“Degradación de bosques en Latinoamérica: Síntesis conceptual, metodologías de evaluación y casos de estudio nacionales”* IBERO REDD+.
- Ariza A. (2013) *“Descripción y corrección de productos Landsat 8 (Landsat Data Continuity Mission) versión 1.0”* Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá Colombia.
- Avalos Piña K. (2012) *“Percepción remota y sus aplicaciones a la evaluación de la calidad del agua”* Ingeniera Civil, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bautista Zúñiga, F., Palacio Prieto, J.L. y Delfín González, H. (2011) *“Técnicas de Muestro para manejadores de recursos naturales”* Segunda Edición, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Becerril Millán, R., (2011) *“Análisis de la situación ambiental de los manglares de la laguna de Alvarado, Veracruz”* Biólogo, Universidad Nacional Autónoma de México.

- Berlanga Robles C. A. y Ruiz Luna A. (2004) *“Análisis comparativo de los sistemas clasificatorios de humedales”* Instituto Nacional de Ecología, Centro de investigación en alimentación y desarrollo A.C.
- Berlanga Robles, C.A. Ruiz Luna, A. (2007) *“Análisis de las tendencias de cambio del bosque de Mangle del sistema lagunar Teacapán-agua brava, México. Una aproximación con el uso de imágenes de satélite Landsa”*, Universidad y Ciencia [En línea], Consultado 24 de mayo de 2017, Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15423104>.
- Berlanga Robles C.A. et al. (2008) *“Esquema de clasificación de los humedales de México”* Investigaciones Geográficas , Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, núm. 66, pp.25-46.
- Calderón, C., Aburto O., Ezcurra, E. (2009) *“El valor de los manglares”* Biodiversitas, Boletín bimestral de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) Núm. 82, pp. 1-6.
- Campbell, J. & Wynne, R. (2011) *“Introduction to Remote Sensing”*, The Guilford Press, New York, London.
- Carrera González E., de la Fuentes de León G., Moreno Talamantes A. Leal-Nares O.A (2010) *“Inventario y clasificación de humedales en México”* Ducks Unlimited de México [en línea] Consultado 24 de mayo 2017, Disponible en https://www.researchgate.net/publication/279194967_INVENTARIO_Y_CLASIFICACION_DE_HUMEDALES_EN_MEXICO.
- Chuvieco, E. (1990) *“Fundamentos de Teledetección Espacial”* Ediciones RIALP, Madrid, España.
- Chuvieco, E. (2008) *“Teledetección Ambiental: La observación de la tierra desde el espacio”*, Editorial Ariel, Barcelona, España.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (2008) *“Manglares de México”* CONABIO, México.
- CONABIO (2013) *“Manglares de México: Extensión, distribución y monitoreo”* CONABIO, México.

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2015) *“Manglares de México: Actualización y exploración de los datos del sistema de monitoreo 1970/1980-2015”* CONABIO, México.
- Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (2008) *“Estudio Interdisciplinario de los humedales de la República Mexicana: Desarrollo metodológico para el Inventario Nacional de Humedales y su Validación a nivel piloto”* CONACYT, UNAM, México.
- Comisión Nacional del Agua (2005) *“Percepción remota, fundamentos de teledetección espacial”*, Subdirección general de programación, CONAGUA, México.
- Comisión Nacional Forestal (2013) *“Pierde México 155mil ha por deforestación cada año”* Comisión Nacional Forestal, Boletín No.39 [en línea] Consultado 24 de mayo 2017, Disponible en <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/4517Pierde%20M%C3%A9xico%20155%20mil%20ha%20por%20deforestaci%C3%B3n%20cada%20a%C3%B1o.pdf>.
- Cruz López M.I (2008) *“Implementación de las técnicas de percepción remota para el conocimiento de la biodiversidad en México”* Licenciada en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cruz Jiménez C. M. et al, (2014) *“Guerrero, la entidad donde vivo. Tercer Grado”* Secretaria de Educación Pública, Ciudad de México.
- Darío Maldonado, F. y Dos Santos J.R. (2005) *“Metodología de detección de cambios utilizando técnicas de rotación radiométrica”* [En línea] Anais XII Simposio Brasileiro de Sensoramento Remoto, Consultado 20 de mayo de 2017, Disponible en <http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.18.10.16/doc/601.pdf>.
- Erickson J. (1992) *“La exploración de la Tierra desde el espacio”* McGraw Hill, Madrid.

- Fernández María A. (1996) *“Ciudades en riesgo: Degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres en América Latina”* LA RED, Perú.
- Florescano E. y Ortiz J. (2010) *“Atlas del Patrimonio natural , histórico y cultural de Veracruz”* Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana, México.
- Franklin, S.E. (2001) *“Remote Sensing for Sustainable Forest Management”* Ed. Lewis Publishers, United States of America.
- García Calva, L. (2014) *“Generación de propuestas para la recuperación de sitios degradados de manglar en Tecolutla, Veracruz, a partir de técnicas de percepción remota y diagnóstico estructural de la vegetación”* Maestra en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Garibay Pardo L. (2006) *“Desarrollo comunitario: Base para las propuestas de conservación y manejo del manglar Arroyo Moreno”* Maestra en Ciencias Ambientales, Universidad Veracruzana, México.
- Garvier G.I y Bucher E.H (2004) *“Deforestación de las Sierras Chicas de Córdoba (Argentina) en el periodo 1970-1997”* Academia Nacional de Ciencias. Córdoba Argentina.
- Gómez Palacios D. (2012) *“Función ecosistémica del manglar como estabilizador de la línea de costa en Quintana Roo”* Licenciado en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- González Carmona, E. y Torres Valladares, C.I (2014) *“La sustentabilidad agrícola de las chinampas en el Valle de México. Caso Xochimilco”* Revista mexicana de Agronegocios, Sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria A.C., Núm. 34, pp. 699-709.
- González Rodríguez J.J (2017) *“ Deforestación en México”* Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública CESOP, México.

- Greenpeace (2009) *“La destrucción de México: La realidad ambiental del país y el cambio climático”* Greenpeace, México.
- Guevara S.A, de la Torre A.J., Rivera P.R (2001) *“Pobreza y degradación ambiental: Un enfoque de acervos”* INE, Universidad Iberoamericana, México.
- Guevara Sergio S, Laborde J. D, Sánchez Ríos G (2004) *“Los Tuxtlas: el paisaje de la sierra”* Instituto de Ecología y Cambio Climático, México.
- Hernández Covarrubias A.M., y García Solís D.E. (2014) *“Análisis de cambio en la cobertura espacial del manglar en el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos”* Ingeniero Geomático, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hernández Hernández, E. (2015) *“Uso del NDVI para determinar impactos ambientales en la vegetación ocasionados por la intervención del hombre mediante técnicas de percepción remota”* Ingeniero Civil, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Instituto Nacional de Ecología (2005) *“Evaluación preliminar de las tasas de pérdida de superficie de manglar en México”* Instituto Nacional de Ecología.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2004) *“Guías para la interpretación de cartografía edafología”* Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI (2015) *“Estadísticas a propósito de... Día mundial del medio ambiente (05 de junio)”* [en línea] Instituto Nacional de Estadística y Geografía Consultado 15 de noviembre de 2017 en <http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2015/ambiente0.pdf>.
- INEGI (2017) *“Estadísticas a propósito de... Día mundial del medio ambiente (05 de junio)”* [en línea] Instituto Nacional de Estadística y Geografía Consultado 15 de noviembre de 2017 en http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2017/ambiente2017_Nal.pdf.

- Jensen, J. (1996) *“Introductory Digital Image Processing A Remote Sensing Perspective”*, Pearson Prentice Hall, New Jersey, United State of America.
- Jensen John R. (2007) *“Remote sensing of the Environment: An Earth resource perspective”* Pearson Prentice Hall, USA.
- Jiménez Moreno M. J et al. (2011) *“Comparación de Métodos Espaciales para detectar cambios en el uso del suelo urbano”* Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente , Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería.
- Labrador G.M, Évora Brondo J.A, Arbelo Pérez M. (2012) *“Satélites de Teledetección para la gestión del Territorio”*, Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias, Canarias.
- Lara-Lara, J.R., et al. (2008) *“Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales, en Capital natural de México, vol. I : Conocimiento actual de la biodiversidad”* Conabio, México, pp. 109-134.
- Lira Chávez J. (2010) *“Tratamiento digital de imágenes multiespectrales”* Instituto de Geofísica, UNAM, México.
- Leyva-Ovalle A., et al (2017) *“Monitoreo de la degradación forestal en México con base en el inventario nacional forestal y de suelos, Madera y Bosques”* vol. 23 núm. 2 Instituto de Ecología A.C Xalapa México.
- López Portillo, J.A., y Ezcurra, E. (2002) *“Los Manglares de México: una revisión”* [En línea] INECOL, Consultado 20 de mayo de 2017, Disponible en <http://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/1290/1461>.
- López A. (2012) *“Deforestación en México: Un análisis preliminar”* Centro de Investigación y Docencia Económicas A.C, México.
- Martin R.M (2008) *“Deforestación, cambio de uso de la tierra y REDD”* FAO, Roma.

- Mas J.F. et al. (2009) *“La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana”* Investigación ambiental ciencia y política pública, vol. 1, núm. 1 SEMARNAT-INNECC.
- Mather P. (2004) *“Computer processing of remotely-sensed images: an introduction”* Chichester: J.Wiley.
- Medrano R. et al. (2013) *“Evaluación de un modelo de la BRDF a partir de simulaciones con modelos Semi-Empíricos Lineales (SEL)”* Terra Latinoamérica, vol.31, núm. 3 Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo A.C Chapingo, México.
- Mejía Quiñones, L.M., Molina Jiménez, M.P., Sanjuan Muñoz, A., Grijalba Bendeck, M., Niño Martínez, L.M (2014) *“Bosque de manglar, un ecosistema que debemos cuidar”* Universidad Jorge Tadeo Lozano, Instituto Colombiano de Desarrollo Rural. Cartagena.
- Moreno- Casasola P. e Infante Mata D.M (2009) *“Manglares y selvas inundables”* INECOL, Xalapa, Ver. México.
- Moreno Casasola, P. e Infante Mata, D.(2010) *“Veracruz: tierra de Ciénegas y pantanos”* Primera Edición, Secretaria de Educación-Gobierno del Estado de Veracruz, México.
- Moreno Ruíz J.A, Arbelo M., García Lázaro J.R., Riaño Arribas D. (2014) *“Desarrollo de una metodología para la detección de cambios de la cubierta vegetal en series temporales de imágenes de satélite diarias. Aplicación a la detección de áreas quemadas”* Revista Teledetección [en línea] consultado 15 de noviembre de 2017 en <https://riunet.upv.es/handle/10251/80174>.
- Nájera González, O., Bojórquez Serrano J.P., Cifuentes Lemus J.L y Marceleño Flores, S. (2010) *“Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit”* revista Biociencias, Vol., Núm. 1, pp. 15-29.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2010) *“Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010: Términos y Definiciones”* FAO, Roma.

- Ormeño, S. (2006) *“Teledetección Fundamental”*, Departamento de Ingeniería, Topografía y Cartografía, Universidad Politécnica, Madrid, España.
- Osuna Osuna A.K et al. (2015) *“Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010”* Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C., México.
- Pérez Montiel H. (2004) *“Física General”* Publicaciones Cultural, México.
- Pérez Gutierrez, C. y Muñoz Nieto, A.L. (2006) *“Teledetección: Nociones y Aplicaciones”* Universidad de Salamanca, España.
- Pineda Jaimes N.B. et al. (2008) *“Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación”*, Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, núm. 69, pp. 33-52.
- Ponce Opazo, B.P. (2010) *“Detección y análisis del cambio de uso del suelo en la zona centro-norte de la provincia de Capitán Prat, XI región periodo 1984-200”* Ingeniero Forestal, Universidad Austral de Chile.
- Portilla Ochoa, E. (1998) *“Los humedales y costas de Veracruz”* [En línea] LAVIDA, Consultado 15 de mayo de 2017, Disponible en <http://www.lavida.org.mx/sites/default/files/201308/9.06%20LOS%20HUMEDALES%20Y%20COSTAS%20DE%20VERACRUZ.pdf>.
- Portilla Ochoa E. (2003) *“Ficha informativa de los humedales de Ramsar”* Instituto de Investigaciones Biológicas, Universidad Veracruzana, México.
- Ramsar (2006) *“Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los humedales”* 4ta edición, Ramsar, Irán.
- Secretaria de la Convención de Ramsar (2010) *“Inventario, evaluación y monitoreo: Marco Integrado para el inventario, la evaluación y el monitoreo de*

humedales, Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales” Cuarta Edición, Vol. 13, Suiza.

- *Rego M.L et al. (s.f) Construcción de la biblioteca espectral de los principales elementos del mapa topográfico UCT/GEOCUBA, La Habana, Cuba.*
- *Reuter F. (2009) “Cátedra de Teledetección Y Cartografía: Principios de teledetección”, Facultad de ciencias forestales, UNSE, Argentina.*
- *Rodríguez Zúñiga M.T., et al. (2013) “Manglares de México: Extensión, distribución y monitoreo” CONABIO, México.*
- *Rosete Vergés F.A (2008) “Modelos predictivos de cambio de uso del suelo en la península de Baja California, México” Doctor en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.*
- *Ross S. y Bhadauria H.S. (2015) “A Review of Change Detection Techniques of Land Cover using Remote Sensing Data” Journal of Computer Engineering Volume 17 Issue 3 Ver: IV India.*
- *Salas Castillo, E. (2010) “Análisis del Cambio en la cobertura arbórea de la subcuenca del río El Tunal (1990-2008)” Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental, Instituto Politécnico Nacional, México.*
- *Sánchez V. y Guiza B. (1989) “Glosario de términos sobre medio ambiente” Unesco/OREALC, Santiago, Chile.*
- *Sánchez, O., Herzing, M., Peters, E., Márquez, R. y Zambrano, L. (2007) “Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México” Primera Edición, INE-SEMARNAT, México.*
- *Seco Hernández R. (2002) “Teledetección Aeroespacial” La Habana. F. Varela.*

- Tovilla Hernández C. (1998) *“Ecología de los bosques de manglar y algunos aspectos socioeconómicos de la zona costera de Barra de Tecoanapa Guerrero, México”* Doctor en Ciencias (Biología), Universidad Nacional Autónoma de México.
- Tovilla Hernández C. y Orihuela Belmonte D.J. (2002) *“Supervivencia de Rhizophora mangle en el manglar de Barra de Tecoanapa, Guerrero”* México, Madera Y Bosques, vol. 8, núm. Es1, Instituto de Ecología, Xalapa , México.
- Tovilla Hernández C. (2009) *“Criterios del sitio de manglar Barra de Tecoanapa (Desembocadura del río Ometepepec)”* CONABIO, México.
- Tovilla Hernández C. et al. (2009) *“Caracterización del sitio de manglar Barra de Tecoanapa (Desembocadura del río Ometepepec)”* Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica, CONABIO.
- Vázquez Lule, A.D. (2008) *“Estructura vegetal e impacto antrópico en los manglares del Sistema Lagunar de Alvarado Veracruz, México”* Biólogo, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vázquez-Lule, A. D., M. T. Rodríguez-Zúñiga y P. Ramírez-García (2009) *“Caracterización del sitio de manglar Sistema Lagunar de Alvarado Veracruz”* CONABIO, México, D.F.
- Yáñez Arancibia A. (1987) *“Lagunas costeras y estuarios: Cronología, criterios y conceptos para una clasificación ecológica de sistemas costeros”* ACIESP, Saõ Paulo, Brasil.
- Zurrta A.A, Badii M.H., Guillen A., Lugo O., Aguilar Garnica J.J. (2015) *“Factores causantes de degradación ambiental”* Daena: International Journal of Good Conscience [en línea] consultado 17 de noviembre de 2017 en [http://www.spentamexico.org/v10-n3/A1.10\(3\)1-9.pdf](http://www.spentamexico.org/v10-n3/A1.10(3)1-9.pdf).

Páginas WEB consultadas

- <http://www.beta.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?aq=30#>
- http://www.biodiversidad.gob.mx/país/cobertura_suelo/.
- http://www.biodiversidad.gob.mx/país/cobertura_suelo/.
- <https://www.eleconomista.com.mx/arteseideas/Costo-de-la-degradacion-ambiental-4.6-del-PIB-nacional-20180604-0141.html>
- <https://novedadesaca.mx/rios-de-querrero-los-contaminados/>
- <https://landsat.usgs.gov/landsat-missions-timeline>

Bibliografía de Glosario

- Garduño Lamadrid J., “Diccionario Básico Lengua Española” LAROUSSE, 5ta edición, México.
- FAO (2010) *“Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010: Términos y Definiciones”* FAO, Roma.
- Sánchez V. y Guiza B. (1989) *“Glosario de términos sobre medio ambiente”* Unesco/OREALC, Santiago, Chi.