

**Universidad San Carlos de Guatemala
Centro Universitario de Totonicapán
Ingeniería Forestal
Departamento de Ejercicio Profesional Supervisado**



Tesis

Índice de crecimiento y distribución horizontal del bosque manglar en parcelas permanentes de muestreo del período 2011-2020, mediante análisis espectral de imágenes del sensor LANDSAT utilizando sistemas de información geográfica:

Estudio realizado en el Área Protegida Manchón Guamuchal ubicado entre los departamentos de Retalhuleu y San Marcos.

Víctor Alejandro Lacán Lacán

Carné 201140033

Asesor: M Sc. Ing. Armando Enrique Batz Batz

Totonicapán, Guatemala, noviembre de 2021



AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR EN FUNCIONES:

M.A. Pablo Ernesto Oliva Soto

MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO

UNIVERSITARIO DE TOTONICAPÁN:

Nombre	Representante de Facultad o Colegio
M.A. Ing. Carlos Humberto Aroche Sandoval	Director
Ing. Mec. Ind. Hugo Humberto Rivera Pérez	Secretario del Consejo Directivo
Ing. Agr. Pedro Peláez Reyes	Representante Docente de la Facultad de Agronomía
Dr. Juan Carlos Godínez Rodríguez	Representante de Egresados del Colegio de Abogados y Notarios de Guatemala
Sr. Adrián Camilo García Flores	Representante Estudiantil de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
Sr. Marvin Rodolfo Argueta Anzueto	Representante estudiantil de la Facultad de Ciencias Médicas

AUTORIDADES DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE TOTONICAPÁN

DIRECTOR:

M.A. Ing. Carlos Humberto Aroche Sandoval

PLANIFICADOR ACADÉMICO:

Ing. Erick Rocael de León Guzmán

COORDINADOR ACADÉMICO:

Lic. Arnoldo René Castañón Ramírez

COORDINADOR DE LA CARRERA:

Ing. José Antonio Palacios Gil

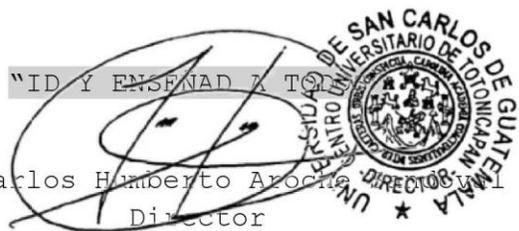


Ref. D-I.MA.-CHAS/CUNTOTO

Número 010-2021/LIC.

El Director del Centro Universitario de Totonicapán de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen de aprobación con referencia DICTAMEN TESIS/No.19-2021 **COORDINACIÓN ACADÉMICA**, emitido por el Coordinador Académico del Centro Universitario de Totonicapán, Licenciado Arnoldo René Castañón Ramírez, al informe final de tesis presentado por el estudiante universitario **VÍCTOR ALEJANDRO LACÁN LACÁN**, con registro académico No. 201140033, denominado **"Índice de crecimiento y distribución horizontal del bosque manglar en parcelas permanentes de muestreo del período 2011-2020, mediante análisis espectral de imágenes del sensor LANDSAT utilizando sistemas de información geográfica: Estudio realizado en el Área Protegida Manchón Guamuchal ubicado entre los departamentos de Retalhuleu y San Marcos"**, de la Carrera Licenciatura en Pedagogía y Administración Educativa con Orientación en Medio Ambiente, por lo que esta Dirección AUTORIZA la impresión de cinco (5) ejemplares del mismo y una (1) copia en digital (CD) del trabajo anteriormente descrito, mismos que deben entregarse a donde corresponda.

"DID Y ENSEÑAR A TODOS"
M.A. Carlos Humberto Arocas
Director
Centro Universitario de Totonicapán



cc. archivo

**DICTAMEN TESIS/No. 19-2021
COORDINACIÓN ACADÉMICA**

MSc. Ing. Carlos Aroche Sandoval
Director
Centro Universitario de Totonicapán

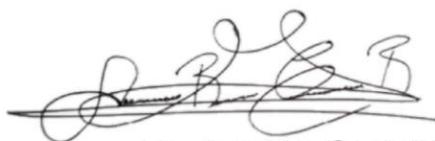
Respetable Msc. Aroche.

Por este medio me dirijo a usted con el propósito de informar que se tuvo a la vista el dictamen de aprobación del **INFORME FINAL DE TESIS** del estudiante **VÍCTOR ALEJANDRO LACÁN LACÁN**, registro académico No. **201140033**, titulado “Índice de crecimiento y distribución horizontal del bosque manglar en parcelas permanentes de muestreo del período 2011-2020, mediante análisis espectral de imágenes del sensor LANDSAT utilizando sistemas de información geográfica: Estudio realizado en el Área Protegida Manchón Guamuchal ubicado entre los departamentos de Retalhuleu y San Marcos,” de la Carrera de Ingeniería Forestal, Dictamen emitido por la Licda. Fabiana Camila Tzul, Coordinadora del Departamento del Ejercicio Profesional Supervisado CUNTOTO, con referencia a Dictamen No. 140-2021 de fecha 04 de noviembre de 2021, así mismo se presentó el dictamen de revisión de la jefatura de la Biblioteca, con referencia Oficio Ref. No. Tesis/19-2021 de fecha 12 de noviembre de 2021, donde se informa que se ha cumplido con “observaciones en redacción y estilo que deben estar acordes a un trabajo académico de grado exigidas por este Centro Universitario y la Universidad de San Carlos de Guatemala,” por lo cual se emite **DICTAMEN FAVORABLE** al trabajo mencionado.

Por lo expuesto se solicita emisión de Dictamen para impresión del Informe final de Tesis del estudiante **VÍCTOR ALEJANDRO LACÁN LACÁN**.

Y para los usos que al interesado convenga, se extiende, firma y sella el presente dictamen a los dieciocho días del mes de noviembre de 2021.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”.



Lic. Arnoldo Castañón
Coordinador Académico
Centro Universitario de Totonicapán



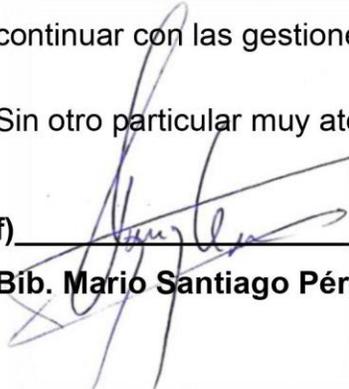
Lic. Arnoldo René Castañón Ramírez
Coordinador Académico
Centro Universitario de Totonicapán

Respetable Licenciado:

Por este medio me dirijo a usted con el propósito de informar que se presentó a la jefatura de esta Biblioteca la revisión del informe final de **TESIS** del (la) estudiante: **VÍCTOR ALEJANDRO LACÁN LACÁN** con registro académico # **201140033**, el que se titula: "Índice de crecimiento y distribución horizontal del bosque manglar en parcelas permanentes de muestreo del período 2011-2020, mediante análisis espectral de imágenes del sensor LANDSAT utilizando sistemas de información geográfica: Estudio realizado en el Área Protegida Manchón Guamuchal ubicado entre los departamentos de Retalhuleu y San Marcos" y el que contó con la asesoría, revisión y aprobación del (la) M Sc. Ing. Armando Enrique Batz Batz.

Al mencionado informe se le efectuó observaciones en redacción y estilo que deben de estar acordes a un trabajo académico de grado exigidas por este Centro Universitario y la Universidad de San Carlos de Guatemala, las mismas fueron atendidas por el (la) estudiante, por lo que solicito a usted la emisión del **DICTAMEN FAVORABLE** de parte de su coordinación para que éste (a) estudiante pueda continuar con las gestiones previas a su graduación.

Sin otro particular muy atentamente.

f) 
Bib. Mario Santiago Pérez



"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Dedicatoria a

Dios

Que me ha dado la vida y fortaleza para terminar este trabajo de investigación. Por ser fuente de sabiduría y luz de mi vida y poner en mi camino lo necesario para alcanzar mis objetivos.

Mis padres

Por darme la oportunidad de estudiar para superarme y ser mejor persona, por cada uno de sus consejos a lo largo de mi vida, por su apoyo incondicional en todo momento. Porque me inspiraron, me ayudaron a llegar donde he llegado, a mis padres mis héroes.

Esposa e hija

Por estar conmigo en aquellos momentos en que el estudio, trabajo ocuparon mi tiempo y esfuerzo, gracias por toda su ayuda, apoyo y comprensión.

Hermanos

Por sus consejos, ayuda y apoyo que han sido fundamental en mi proceso de formación académica.

Agradecimientos

- A** Dios por dame la vida y la oportunidad de llegar a cumplir esta meta en mi vida, por su guía y sabiduría en todo momento.
- A** Toda mi familia porque cada uno de ellos forman parte de mi formación académica y estar incondicionalmente en todo momento de mi vida por su apoyo moral y espiritual.
- A** Mi esposa e hija a ellas pues, siendo la mayor motivación en mi vida encaminada al éxito, fueron el ingrediente perfecto para lograr alcanzar esta dichosa y muy merecida victoria en la vida.
- A** Centro Universitario de Totonicapán de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por ser mi casa de estudio en donde me forme como profesional adquiriendo desde el inicio un gran conocimiento.
- A** M.Sc Ingeniero Armando Enrique Batz Batz, quien me compartió de sus conocimientos y me brindó el tiempo necesario para asesorarme y guiarme en todo el proceso.
- A** Cada uno de los docentes de la carrera de Ingeniería Forestal del Centro Universitario de Totonicapán, por compartir su conocimiento y experiencias en mi proceso de formación.

Índice General

Contenido

Hoja de respeto

Carátula interna

Hoja de autoridades

Hoja de Dictamen de Dirección

Hoja de Dictamen de Coordinación Académica

Hoja de Dictamen de biblioteca

Dedicatoria

Agradecimientos

Contenido	Pág.
Resumen	i
Abstract	iii
K'utb'al pa ri ch'ab'al k'iche'	v
Introducción	1

Capítulo I

1.1. Marco contextual.....	3
1.1.1 Ubicación del área de estudio.....	3
1.1.2 Zonas de vida	3
1.1.3. Temperatura	3
1.1.4. Clima	4
1.2 Antecedentes.....	5
1.3. Marco teórico	15
1.3.1 índice de crecimiento	15
1.3.2 Crecimiento	15

1.3.3 Inventario forestal	15
1.3.4. Incremento Medio Anual (IMA)	15
1.3.4.1 Incremento.	15
1.3.4. El Bosque Manglar	16
1.3. 5. Ecosistemas de especies de mangle	16
1.3.6. Especies de mangle existentes en Guatemala	17
1.3.6.1. Mangle rojo.....	17
1.3.6.2. Madre sal.....	18
1.3.6.3. Botoncillo.....	18
1.3.6.4. Mangle blanco	19
1.3.7. Botánica.....	19
1.3.8. Ecología.....	20
1.3.9. Crecimiento horizontal o espacial	20
1.3.10. Percepción remota.....	21
1.3.11. Teledetección	21
1.3.12. Índice de Vegetación Diferenciada (NDVI).....	22
1.3.13. Clasificación supervisada	22
1.3.14. Energía electromagnética	23
1.3.15. Interacción de la radiación con la superficie terrestre.	24
1.3.16. Reflectancia del agua	26
1.3.17. Reflectancia de los suelos	26
1.3.18. Firmas espectrales	27
1.3.19. Imágenes de satélite.....	27
1.3.20. Resolución de imagen	28
1.3.21. La resolución espacial	28

1.3.22. La resolución espectral	28
1.3.23. La resolución radiométrica	28
1.3.24. Satélites LANDSAT 8.....	29
1.3.25 Procesamiento de imágenes satelitales	32
1.3.25.1 Preprocesamiento.	32
1.3.25.2. Realces.	34
1.3.25.3. Clasificación.	34
1.3.26. Estiramiento de contraste	34
1.3.27. Filtrado espacial.....	34
1.3.28. Combinaciones de bandas	35
1.3.29. Combinaciones Rojo, verde y azul de las bandas (RGB) 3,2,1	36
1.3.30. Combinación rojo, verde y azul (RGB) de las bandas 5, 4,3	36
1.3.31. Combinación rojo, verde, azul (RGB) de las bandas 4,3,2	36
1.3.32. Combinación rojo, verde y azul (RGB) de las bandas 4,5,3	36
1.3.33. Análisis de imágenes digitales	37
1.3.34. Análisis de componentes principales	37
1.4 Marco legal	38

Capítulo II

2.1. Planteamiento del problema	47
2.2. Objetivos.....	49
2.2.1. Objetivo general.....	49
2.2.2. Objetivos específicos	49
2.3. Hipótesis	49
2.3.1. Hipótesis nula	49
2.3.2. Hipótesis alternativa.	50

2.4. Variables.....	50
2.4.1. Identificación de variables.....	50
2.4.2. Identificación de variables.....	51
2.4.2.1 Índice de crecimiento forestal	51
2.4.2.1.2 Densidad por hectárea	52
2.4.2.2 Distribución horizontal de la especie.....	52
2.4.2.2.1 índices de vegetación y clasificación supervisada.	52
2.5. Operacionalización de las variables.....	53
2.5. Alcances	54
2.5.1 Geográfico	54
2.5.2. Social.....	54
2.5.3. Temporal	54
2.6. Limitantes	54
2.6.1 Financieras	54
2.6.2. Geográfico	55
2.6.3. Social.....	55
2.7 Aportes	55
2.7.1 Técnico.....	55
2.7.2. Social.....	55
2.7.3. Profesional.....	56

Capítulo III

3.1. Metodología.....	57
3.1.1. Enfoque de la investigación.....	57
3.1.2. Tipo de investigación	57
3.1.3 Método	57

3.1.4. Técnicas e instrumentos	57
3.1.4.1 Consultas bibliográficas.....	58
3.1.4.2. Boletas de campo.....	58
3.1.4.3. Mapas.....	58
3.1.4.4 Teledetección.....	58
3.1.4.5. Imágenes satelitales.....	58
3.1.5. Muestreo.....	58
3.1.5.1 Muestreo no probabilístico.....	59
3.1.5.2 Muestreo probabilístico.....	59
3.1.5.3. Criterio de aplicación	59
3.1.5.4. Unidades de muestreo.....	59
3.1.5.5 Incremento medio anual.....	60
3.1.5.1. Adquisición de la información.....	61
3.2. Recursos.....	65
3.2.1 Talento humano.....	65
3.2.2. Físicos	65
3.2.3. Financieros	66

Capítulo IV

4.1 Resultados.....	64
4.1.1 Datos de las parcelas permanentes de medición del Instituto Nacional de Bosque INAB.....	64
4.1.2 Datos del muestreo de las parcelas permanentes de medición Manchón Guamuchal, expresado en metros cúbicos por hectárea.....	69
4.1.3 Grados de degradación del bosque manglar	70
4.1.4 Incremento Corriente Anual (ICA) del bosque manglar del área protegida Manchón Guamuchal.....	73

4.2 Distribución horizontal del bosque manglar en área protegía Manchón	
Guamuchal	75
4.2.1. Rangos de NDVI del área protegida Manchón Guamuchal	76
4.2.2 Clasificación supervisada área protegida Manchón Guamuchal	80
4.2.3. Análisis de cobertura de manglar.	87
4.2.4. Mapa de cobertura manglar, área protegida Manchón Guamuchal año	
2012	90
4.2.5. Mapa de cobertura manglar, área protegida Manchón Guamuchal año	
2013	92
4.2.6. Mapa de cobertura manglar, área protegida Manchón Guamuchal año	
2014	94
4.2.6. Mapa de cobertura manglar, área protegida Manchón Guamuchal año	
2015	96
4.2.7. Mapa de cobertura manglar, área protegida Manchón Guamuchal año	
2016	98
4.2.7. Mapa de cobertura manglar, área protegida Manchón Guamuchal año	
2017	100
4.2.8. Mapa de cobertura manglar, área protegida Manchón Guamuchal año	
2018	102
4.2.8. Mapa de cobertura manglar, área protegida Manchón Guamuchal año	
2019	104
4.2.8. Mapa de cobertura manglar, área protegida Manchón Guamuchal año	
2020	106
4.2.9 Resultados de cobertura del bosque manglar, área protegida Manchón	
Guamuchal.	108
4.3 Análisis general de índice de crecimiento y la distribución horizontal del	
bosque manglar en área protegida Manchón Guamuchal.	110
4.4 Comprobación de Hipótesis	112

Hipótesis.....	112
4.4.1 Variables.....	113
4.2.1. Hipótesis alternativa aceptada	114
4.5 Discusión de los resultados	115
Conclusiones.....	117
Recomendaciones.....	119
Referencia bibliográficas	121
Glosario	122
Apéndice.....	130

Índice de tablas

Tabla 1. Rango de longitud de onda del espectro electromagnético de la luz.	23
Tabla 2. Descripción de las fechas de lanzamiento y fin de operación de los satélites LANDSAT 8.	30
Tabla 3. Bandas espectrales Landsat.	31
Tabla 4. Características espectral y espacial de las imágenes de los 6 satélites LANDSAT 8.	32
Tabla 5. Operacionalización de variables.....	53
Tabla 6. Talento humano.	65
Tabla 7. Análisis financiero.	66
Tabla 8. Cronograma de actividades.....	63
Tabla 9. Datos generales de parcelas de medición permanente INAB.....	64
Tabla 10. Volumen promedio anual por parcela.	69
Tabla 11. Datos de incremento corriente anual promedio de parcelas de medición permanentes.	73
Tabla 12. Tasa de crecimiento.	74
Tabla 13. Muestras para clasificación supervisada.	80

Tabla 14. Extensión del bosque manglar por año.	108
Tabla 15. Análisis de índice de crecimiento y distribución horizontal, área protegida Manchón Guamuchal.	111
Tabla 16. Análisis de varianza para la prueba de hipótesis.	115

Índice de figuras

Figura 1 Corte transversal de una hoja, mostrando la estructura interna, sus orgánulos y la trayectoria de la energía electromagnética incidente.....	25
Figura 2 Firmas espectrales del suelo, la vegetación y el agua en los canales 1-4 del sensor.	27
Figura 3. fórmula del ICA.	60
Figura 4. fórmula de volumen.....	60
Figura 5. Información Base.	61
Figura 6. Procesos Iniciales.	62
Figura 7. Tratamiento digital.....	63
Figura 8. Análisis forestal y correlación de la información.	64
Figura 9. Mapa de extensión y ubicación del bosque manglar, área protegida Manchón Guamuchal.	65
Figura 10. Ubicación de parcelas permanentes de medición, área protegida Manchón Guamuchal.	67
Figura 11. Gráfica del volumen promedio anual en parcelas permanentes de medición forestal.....	69
Figura 12. Degradación del ecosistema manglar, por efectos de la deforestación.	70
Figura 13. Imagen del sensor Landsat 8, combinaciones de bandas B5, B4, B2.	75
Figura 14. Contornos de NDVI, área protegida Manchón Guamuchal.....	78
Figura 15. Dinámica del NDVI del ecosistema manglar en el período 2000 al 2020.	79

Figura 16. Muestras de clasificación supervisada sobre imagen Landsat, combinaciones de bandas B5, B4, B2, del bosque manglar.	82
Figura 17. Clasificación supervisada sobre imagen Landsat en área protegida Manchón Guamuchal.	85
Figura 18. Mapa de extensión del bosque manglar del año 2011.	88
Figura 19. Dinámica del bosque manglar año 2012, área protegida Manchón Guamuchal	90
Figura 20. Dinámica del bosque manglar año 2013, área protegida manchón Guamuchal	92
Figura 21. Figura 16. Dinámica del bosque manglar año 2014, área protegida Manchón Guamuchal.	94
Figura 22. Dinámica del bosque manglar año 2015, área protegida manchón Guamuchal.	96
Figura 23. Dinámica del bosque manglar año 2016, área protegida manchón Guamuchal.	98
Figura 24. Dinámica del bosque manglar año 2017, área protegida Manchón Guamuchal.	100
Figura 25. Dinámica del bosque manglar año 2018, área protegida Manchón Guamuchal.	102
Figura 26. Dinámica del bosque manglar año 2019, área protegida Manchón Guamuchal.	104
Figura 27. Dinámica del bosque manglar año 2020, área protegida Manchón Guamuchal.	106
Figura 28. Dinámica de la distribución horizontal del bosque de manglar	109
Figura 29. Comportamiento del incremento del bosque manglar, área protegida Manchón Guamuchal.	112
Figura 30. Parcelas de medición, realizados en el bosque manglar en Retalhuleu.	132
Figura 31. Parcelas de medición, realizados en el bosque manglar en San Marcos.	132
Figura 32. Raíces aéreas del bosque manglar.	133

Figura 33. César Zacarías encargado de manglar INAB.	133
Figura 34. Medición de parcelas permanentes, Retalhuleu.	134
Figura 35. Manglar muerto, Retalhuleu.	134

Resumen

El manglar es un área biótica o bioma formada por árboles muy tolerantes a las sales existentes en la zona intermareal cercana a la desembocadura de cursos de agua dulce en latitudes tropicales y subtropicales; se encuentran las especies de ***Rhizophora mangle*** y ***Laguncularia racemosa*** ubicado en el área protegida Manchón Guamuchal ubicado en los departamentos de Retalhuleu y San Marcos evaluado en los años del 2011 al 2020 por medio de parcelas permanentes de medición del Instituto Nacional de Bosques (INAB), e imagen ráster obtenidas del satélite Landsat. Con esto se logró obtener la cobertura del manglar de cada periodo analizado y su volumen promedio por hectáreas.

Para el análisis del índice de crecimiento volumétrico se utilizó la información de las parcelas permanentes de medición del Instituto Nacional de Bosques (INAB), de las cuales se obtuvo el volumen promedio anual por hectárea y sus respectivos incrementos por cada año, fue analizado y al final fueron contemplados en el período 2011 al 2020 respectivamente.

En cuanto a la distribución horizontal del bosque manglar se necesitó de las imágenes con tres bandas rojo azul y verde, a través sensor Landsat 8, un archivo ráster para cada año analizado a las cuales se les efectuó el proceso de clasificación supervisada y contornos de NDVI (índice de vegetación diferenciada). Para obtener la cobertura del mangle de cada período fue necesario identificar cada una de las coberturas del área protegida Manchón Guamuchal, siendo las siguientes; (bosque, no bosque, cuerpos de agua, manglar, asentamientos, bosque seco, cultivos y humedales), luego de este proceso se extrajeron sólo los píxeles de la clasificación de la masa arbórea, y se delimitó su extensión anual. Los resultados de la investigación son los siguientes:

Volumen promedio m ³ / hectárea	Volumen medio anual y extensión del bosque de manglar por año									
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	--	125.80	146.64	176.99	199.93	226.54	233.57	240.42	216.21	95.47
Hectáreas/año	6,904.00	7,135.00	7,418.00	7,392.00	7,108.00	7,160.00	7,168.00	7,332.00	7,104.00	7,066.00

De los resultados se obtuvo la volumetría, y se logró una tasa de crecimiento medio anual en parcelas permanentes de -3%, mientras que en extensión de la cobertura manglar un crecimiento de 0.23%, esto refleja que el desarrollo e incremento del bosque se ha manifestado en altas y bajas respectivamente.

Palabras clave: Reserva Manchón Guamuchal. Bosque Manglar. Investigación cuantitativa. Satélite Landsat, ráster 8. Instituto Nacional de Bosques. Humedales marinos costeros.

Abstract

The growth and horizontal distribution of the mangrove forest is directly influenced by the surface and underground hydroperiod, which affects the dynamics of salinity; are the species of *Rhizophora mangle* and *Laguncularia racemosa* located in the protected area Manchón Guamuchal located in the departments of Retalhuleu and San Marcos evaluated in the years from 2011 to 2020 through permanent measurement plots of the National Forest Institute (INAB), the raster image obtained from the Landsat sensor. With this, it was possible to obtain the mangrove coverage of each period analyzed and its average volume per hectare.

For the analysis of the volumetric growth index, the information from the permanent measurement plots of the National Forest Institute (INAB) was used, from which the average annual volume per hectare was obtained and its respective increases for each year, it was analyzed and at final were contemplated in the period 2011 to 2020 respectively.

Regarding the horizontal distribution of the mangrove forest, images with three red blue and green bands were needed, through a Landsat 8 sensor, a raster file for each year analyzed in which the supervised classification process and NDVI contours were carried out. (differentiated vegetation index). In order to obtain the mangrove coverage of each period, it was necessary to identify each of the covers of the Manchón Guamuchal protected area, being the following; (forest, not forest, bodies of water, mangrove swamp, settlements, dry forest, crops and wetlands), after this process only the pixels of the tree mass classification were extracted, and their annual extension was delimited. The results of the investigation are as follows:

	Average annual volume and extent of mangrove forest per year									
Average volume	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
m ³ / hectare	--	125.80	146.64	176.99	199.93	226.54	233.57	240.42	216.21	95.47
Hectares / year	6,904.00	7,135.00	7,418.00	7,392.00	7,108.00	7,160.00	7,168.00	7,332.00	7,104.00	7,066.00

Volumetry was obtained from the results, and an average annual growth rate in permanent plots of -3% was obtained, while in extension of the mangrove coverage a growth rate of 0.23%, this reflects that the development and increase of the forest It has manifested itself at highs and lows respectively.

Keywords: Manchón Guamuchal, horizontal distribution, growth index, Landsat, raster, National Forest Institute, Mangroves.

K'utb'al pa ri ch'ab'al k'iche'

Le u k'iyem le u jachik le u kolib'al le kache'laj' manglar le ka ritqitajik pa' le kache'laj' chajitalik Manchón Guamuchal le k'o pa' le nim tinimit Retalhuleu rach'il San Marcos le xsolixik pa' le junab' 2011 xtoq'i' pa le junab' 2020 kumal' le e chajiltaq ulew rachil' le Instituto Nacional de Bosque (INAB), le wachib'al ráster le xu koj le censor landsat. Ruk wa xb'ankunem chu rilik le manglar rech rilik le u chomarem le u nimal le nimataq etab'al.

Chu nikoxik le u majirem le u kiy'em le u chomarsab'al are xoksaxik le nik'onik ki b'anom le e chajil'taq ulew rech le Instituto Nacional rech Bosque (INAB), chech la' xrikitajwi' le u chomarem chi etab'al rach'il le u kiy'sarem le u nimal' le etab'al chi q'ij chukuje' le u nimarem chi junab' le xnikoxik pa le junab' 2011 xtoq'i pa le junab' 2020.

Are kut le u jachik le kache'laj' manglar are' xoksaxik le kay'ib'al' rech le sensor landsat 8, jun k'olom ráster chi junab' are' xilixik are' xoksaxik le u katiklb'al chuqe le rij' rech NDVI (Índice rech vegetación diferenciada). Chu riqik le u rij' le mangle chi q'ij are xoksaxik le kach'elaj chajitalik Manchón Guamuchal, aretaq weri: (kachelaj, man kache'lajtaj', u kolibal le ja, manglar, le u k'olib'al le kowi, le kache'laj' le chak'ij', le tikon chuqe jauje' ka kiywi le ja'), aretaq xbantaj ronojel wa werí xaq xui xoksaxik ju chaq'ap le masa arbórea, xkop'irsax'ik le u nimal.

Volumen promedio m ³ / hectárea	Volumen medio anual y extensión del bosque de manglar por año									
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
--	125.80	146.64	176.99	199.93	226.54	233.57	240.42	216.21	95.47	
Hectáreas/año	6,904.00	7,135.00	7,418.00	7,392.00	7,108.00	7,160.00	7,168.00	7,332.00	7,104.00	7,066.00

Le utz'aqa le jun nikonik are weri''.

Chech le il'b'al xbanik are' xesaxik le o chomal, are xriqitajik le u k'iy'sarem chi' q'ij le nimaqtaq ulew' rech -3%, arekut le u k'iy'sarem le k'ach'elaj manglar le u ky'sarem

are' le' 0.23%, le kutunik ku b'ano are le u chomarsanem chuqe le u nimarem le kache'laj' puwi chuqe chuxe le juyup'.

Tzib'an taq tzij kamalb'e rech nojib'al: Manchón Guamuchal, jachom pa jun ixkut qoyoli, kutb'al rech ajilib'al nimarik, k'akalen ch'ich ri kukulumaj, ri wachulew, ja rech etamanik, Ixim ulew re kache'laj juyub'.

Introducción

En este trabajo de investigación se determinó la dinámica del bosque manglar ubicados en los departamentos de Retalhuleu y San Marcos. Para ello, se utilizaron técnicas de percepción remota y sistemas de información geográfica con imágenes del satélite LANDSAT 8, así como también el análisis de los datos de las parcelas permanentes de muestreo del Instituto Nacional de Bosques (INAB).

Los departamentos de Retalhuleu y San Marcos ubicados en la costa sur del país, cuentan con una buena extensión de mangle, una gran parte de este se ubica en la reserva Manchón Guamuchal, el bosque, además de ser significativo presta innumerables servicios para los pobladores y fauna que en su alrededor habitan ha sido declarado sitio RAMSAR que es la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, especialmente es hábitat de aves acuáticas, al contar esta categoría no solo es un lugar con un valor nacional sino también mundial.

Los manglares controlan las condiciones de salinidad y temperatura, lo que establece los rangos de tolerancia de numerosas especies de interés comercial; es decir, si la aportación de agua dulce, los nutrientes y el material en suspensión no fueran retenidos en los bosques de manglar los ecosistemas costeros tales como los arrecifes de coral no podrían permanecer con su ciclo de vida.

El objetivo general para este trabajo es, “Analizar la relación entre el índice de crecimiento medio anual y la distribución horizontal del bosque de Manglar, en los años del 2011 al 2020 en el Manchón Guamuchal” Por lo que esta investigación da respuesta a los objetivos planteados.

Por otro lado, se empleó la información de las parcelas permanentes del Instituto Nacional de Bosques (INAB) e iconografías satelitales LANDSAT 8 OLI, los datos de la institución se procesaron en el software Excel y las imágenes de tipo ráster se elaboraron y analizaron en el programa Quantum Gis (QGis 3), que contempla este documento de investigación.

Este informe contiene cuatro capítulos los cuales se describen a continuación:

En el Capítulo I se exponen: el marco contextual, los fundamentos teóricos, legales, la referencia documental relacionada con la comunidad de estudio y la teoría que fundamenta la investigación. En el Capítulo II, el diseño: entre ellos el planteamiento del problema, los objetivos, la hipótesis, variables, alcances y límites, que son los parámetros que se abordaron.

En el Capítulo III, se encuentra la metodología: que fue de tipo diacrónica o longitudinal, con enfoque mixto; mientras que las técnicas fueron de consultas bibliográficas, boletas de campo, mapas, teledetección, e imágenes satelitales de las áreas de crecimiento y la distribución horizontal del bosque manglar.

En el Capítulo IV se da a conocer los resultados obtenidos en la investigación, comprobación de hipótesis, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas, glosario y anexos. El propósito fundamental de este estudio, fue analizar la relación entre el índice de crecimiento y la distribución horizontal del bosque de manglar, en los años del 2011 al 2020 en el Manchón Guamuchal, mediante análisis espectral de imágenes del sensor LANDSAT utilizando sistemas de información geográfica.

Capítulo I

1.1. Marco contextual

1.1.1 Ubicación del área de estudio

Corresponde a una angosta franja costera que se ubica en el Pacífico de Guatemala, cercana a la frontera Sur con México (Sánchez 1998) citado por (Quintana. E, 2007, pág. 20) Es el humedal marino costero con mayor extensión en el territorio nacional, se encuentra al Suroeste del municipio de Ocós en el departamento San Marcos y al Sureste en los municipios Retalhuleu y Champerico, en Retalhuleu, Latitud 14° 22' 48"; Longitud: 92° 01' 27". Coordenadas geográficas. Cuenta con una superficie superior a 25,000 hectáreas (ha), de las cuales hay 7,650 ha. de mangle rodeadas por fincas privadas, constituyendo a la región con más cobertura de manglar del país.

1.1.2 Zonas de vida

La ficha técnica informativa de los humedales (FIR) del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). Pág. 3. El sistema biogeográfico de ecorregiones indica que el humedal Manchón Guamuchal corresponde a terrestres Manglares del pacífico sur de Mesoamérica y Bosque Seco de Centro América. En las clasificaciones marinas el sitio se encuentra enlistado como Chiapas-Nicaragua. Bajo el ranking de ecorregiones de agua dulce.

En los departamentos de Retalhuleu y San Marcos se registran en las zonas que corresponden a Manchón Guamuchal una precipitación media anual de 1500 milímetros (mm) distribuidos en los meses de mayo a octubre.

1.1.3. Temperatura

Las condiciones climáticas de la zona donde se desarrollará es el bosque de manglar ubicado en el pacífico guatemalteco, las temperaturas oscilan entre los 28 hasta los 35 grados Celsius. En Retalhuleu se tiene una temperatura media mensual de 27.01 grados Celsius.

1.1.4. Clima

Es el humedal marino costero más grande de la Costa del Pacífico de Guatemala. Se caracteriza por una combinación de diferentes comunidades vegetales, incluyendo flora de duna costera, bosques secos, manglares, palma, micrófitos acuáticos, árboles de sauce, lagunas y humedales de agua dulce, salobre, zonas de pantano y áreas con vegetación secundaria. Reciben la influencia de las mareas, así como de las crecidas de los ríos, con una variación del nivel de agua no superior a los 2 metros. El sistema está separado del mar por tres barras de arena de unos 100 metros de anchura. Manchón-Guamuchal, presenta bosque seco subtropical al Sur y húmedo subtropical cálido al norte. La región tiene una precipitación promedio de 2,946 milímetros (mm) al año distribuidos de mayo a octubre, aunque la zona donde se encuentran los manglares la precipitación pluvial es inferior a 1,500 milímetros. La humedad relativa media anual es de 67%.

En los trópicos húmedos del planeta se ubican comunidades vegetales complejas; a pesar de que los bosques de manglar se encuentran dentro de las zonas de vida, no poseen tal complejidad. La baja diversidad se atribuye a las características del terreno, son orgánicos que permanecen parcial o totalmente inundados, provocando una acumulación y descomposición de detritus por vía anaeróbica, permitiendo un acaparamiento de sulfatos lo que disminuye los valores de pH. La acidez del suelo provoca la precipitación de la mayoría de los nutrientes no asimilables, liberando el hierro y aluminio, formando compuestos tóxicos. La peculiaridad de anegamiento y toxicidad de los suelos presentan un ambiente hostil para el desarrollo de algunas plantas, siendo estos factores de selección. (Christensen, 1988, citado por Sánchez, C, 1992, mencionado por Espinoza, 2011, pág. 1).

1.2 Antecedentes

José Víctor Morales Calderón en el año 1979 presentó su tesis titulada “Importancia del uso y manejo racional para la conservación del mangle (*Rhizophora mangle* L.) en el litoral del pacífico” En el grado académico de Licenciado, ante la facultad de agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ciudad de Guatemala.

El presente estudio se refiere a la investigación de los manglares, comúnmente llamados bosques salados (perennifolias), los cuales se desarrollan en los márgenes de los océanos o costas tropicales y subtropicales, regiones donde la temperatura media es elevada y el hábitat de las especies presenta características muy especiales

Algunos de los objetivos que se utilizaron en este trabajo son.

- Descripción general de las principales características del mangle en la faja costera del Pacífico.
- Determinación y cuantificación de las áreas actualmente cubiertas por mangle en el litoral del Pacífico.
- Determinación del grado de explotación o aprovechamiento del mangle en los últimos años (1965-1974 y 1978) con base en elementos de fotogrametría y fointerpretación.
- Determinación del beneficio socio económico, mediante el uso, manejo racional y óptimo aprovechamiento del mangle en el litoral del Pacífico. Calderón J.1979 pág. 3)

Morales concluye que para 1965 el manglar del humedal Manchón Guamuchal contaba con una extensión de 78.5 km² y para 1978 contabilizó 42.12 km² mientras que Champerico tenía para ese mismo año 4.4 km² de mangle.

Según Morales, en 1965 existía en la costa del pacífico guatemalteco 23,407 hectáreas de mangle, reduciéndose hasta 16,086 hectáreas para 1978, indicando que se redujo en un 31% la cobertura de este bosque en solo 13

años. El mismo autor también determinó el uso del suelo siendo las áreas de pastoreo las que ocupan la mayor extensión con 178,500 hectáreas, seguido del cultivo del algodón con 117,000 hectáreas.

Morales empleó la fotointerpretación aérea de los años 1965, 1974 con escalas 1: 17,000, y 1: 20,000, mientras que en el año 1978 utilizó información del satélite ERTS 1. (LANDSAT 8). Morales fue el pionero en la utilización de esta tecnología para la cuantificación del bosque manglar, aunque por el acceso a equipo informático de aquella época, el análisis lo realizó con superposición de materiales transparentes y así delimitar los diferentes usos de la tierra.

Eysen Rodrigo Enrique Ochoa en el año 2010 presentó su tesis titulada “Inventario y estrategias de manejo del mangle blanco *Laguncularia racemosa* (I) ubicado en área de uso de siete comunidades del Manchón Guamuchal, Ocos, San Marcos”. En el grado académico de Licenciado, ante la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ciudad de Guatemala.

El objetivo principal fue realizar el inventario con el fin de presentar un plan de manejo sostenible del bosque de mangle blanco ubicado en el área de uso de las nueve comunidades: Almendrales, Los Cerritos, Salinas I y II, Las Morenas, Madronales y Tilapa localizadas en el Manchón Guamuchal, del municipio de Ocos, San Marcos. Mientras que uno de sus objetivos generales fue estimar los incrementos de madera del bosque. La metodología utilizada se enfocó principalmente en la cuantificación del área de estudio.

Ochoa en su investigación concluyó que la densidad media de mangle blanco *Rhizophora mangle* en la reserva territorial del estado es de 408 árboles vivos por hectárea y una altitud promedio de 8.74 metros con un diámetro a la altura del pecho (DAP) de 8.9 centímetros (cm), y un volumen de madera de 57.52 metros cúbicos (m³) por hectárea, esta información dasométricas representa para la unidad de área datos que permiten realizar manejos forestales con seguridad y tecnicismo. (Ochoa E. 2010 pág. 21)

Una de las estrategias que Eysen E. plantea en la investigación es generar información que permita la elaboración y ejecución de proyectos productivos que brinden beneficios a los habitantes de las siete comunidades. De tal manera, la importancia de este trabajo en la investigación es el enfoque que tiene en la estimación del incremento de madera en el bosque de manglar, específicamente estos cálculos sirven de base para poder estimar el índice de crecimiento.

Francisco Javier Espinoza Marroquín en el año 2011 presentó la investigación titulada “Determinación de la dinámica del bosque manglar del departamento de Retalhuleu y el municipio de Ocós en San Marcos, período 1974 – 2010”. En el grado académico de Licenciado, ante la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ciudad de Guatemala.

Francisco Espinoza propuso como objetivo general, determinar la dinámica del bosque manglar del departamento de Retalhuleu y el municipio de Ocós en San Marcos, durante el periodo 1974 - 2010, utilizando imágenes donde se combinaron las bandas del infrarrojo cercano, logrando con esto diferenciar la superficie cubierta por bosque manglar, el agua y el suelo desnudo.

En esta investigación se utilizó una metodología de carácter cuantitativo no experimental, el cual se desarrolló en varias fases; Este proyecto fue planteado porque el bosque manglar es uno de los ecosistemas fundamentales para la biodiversidad marina y terrestre, pues sirve como guardería para la ictiofauna, anidamiento de aves migratorias, así como nichos para diferentes mamíferos y reptiles. Debido a que es un ecosistema muy sensible a las alteraciones que se producen en su entorno, su estabilidad peligra y con ello la seguridad de otros sistemas que dependen de este. (Marroquín F., 2010 pág. 41)

Después de realizar sus análisis concluye, que, la superficie cubierta de bosque manglar hasta finales del año 2010 es de 77 kilómetros cuadrados, representando una disminución de 23 km cuadrados con respecto a la superficie cubierta en 1974. El

comportamiento de la masa arbórea es dinámico pues ha cambiado en la extensión cubierta desde 1974, siendo 100, 63, 67, 73, 76 y 77 km² durante los años 1974, 1988, 1995, 2000, 2008 y 2010 respectivamente.

Jame Lucía Hernández González en el año 2019 presentó la tesis titulada “Inventario forestal del bosque manglar del área de protección especial manchón Guamuchal, Retalhuleu y San Marcos, Guatemala, diagnóstico y servicios prestados al Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) costa sur”. En el grado académico de Licenciado, ante la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ciudad de Guatemala.

En el año 2018 González realizó el inventario forestal del bosque manglar del área de protección especial Manchón Guamuchal, para llegar a los resultados se utilizaron los siguientes objetivos.

- Objetivo general. Conocer la situación de la dirección Regional de CONAP Costa sur.
- Objetivos específicos. Identificar los vacíos del CONAP Costa Sur para poder priorizar los servicios durante el ejercicio Profesional Supervisado.

La metodología que se utilizó se basó siguiendo un proceso sistemático y disciplinado con un enfoque que permitiera identificar en qué situación se encontraba la dirección regional del CONAP Costa Sur.

González concluye que se encontraron cuatro especies de mangles en donde la mayor densidad y volumen la presentó el mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.); una densidad de 2,367.00 árboles con un volumen de 176.23 metros cúbicos (m³) por hectárea. Seguidamente el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) con 1,085 árboles con un volumen de 91.7 metros cúbicos (m³) por hectárea. Seguido el mangle negro con 228 árboles y un volumen de 69.4 metros cúbicos (m³) por hectárea. Terminando con el mangle botoncillo (*Conocarpus erecta* L.)

con 88 árboles con un volumen de 20.15 metros cúbicos (m³) por hectárea. (González J. 2019 pág. 38)

La utilización de un inventario forestal permite conocer el estado actual de un bosque en sus distintas fases, y esta herramienta facilita la toma de decisiones tanto en las modalidades de protección como en aprovechamiento de los recursos del manglar y siendo el protegido del Manchón Guamuchal un área protegida con la categoría RAMSAR es de vital importancia contar con datos siempre actualizados de la masa forestal.

Omar G. Lizano, Jorge Amador A. y Ricardo Soto en el año 2001 presentaron su investigación teórica titulada “Caracterización de manglares de Centroamérica con sensores remotos”. En el grado académico de Licenciado, ante el departamento de física atmosférica, oceánica y planetaria de la escuela de biología de la Universidad de San José Costa Rica.

El método utilizado para analizar las estaciones meteorológicas es una mezcla de análisis exploratorios de datos (Graedel y Kleiner 1985) con un estricto control de calidad de la información en donde los valores extremos o sospechosos, o los físicamente muy poco probables, los resultados se complementan con temperatura y brillo solar para alguna de estas temporadas en cada una de las zonas.

Mediante la clasificación espectral logran determinar la distribución y comprobar la abundancia vegetal, con el objetivo de conocer las condiciones del humedal; para este estudio se clasificaron las especies más abundantes, ya que los espectros son sencillos de determinar dentro de la imagen satelital.

La utilización de imágenes satelitales hace más eficaz el trabajo de clasificación de la flora costera en ambientes climáticos variables. La resolución o tamaño del píxel de la imagen utilizada puede ser muy relevante al caracterizar la vegetación. (Lizano; Amador A. & Soto. pág. 333)

La utilización de imágenes satelitales cada vez es más eficiente en el procesamiento de grandes extensiones de terreno, el análisis que se puede realizar en los sistemas de información geográfica sobre estos permite analizar una gran cantidad de elementos uno de ellos son los NDVIS (Índice de vegetación normalizado) y dado que este trabajo permitirá clasificar y calcular la extensión del bosque de manglar, los pasos empleado en el estudio de Omar G. Lizano, Jorge Amador A. y Ricardo Soto en el año 2001 serán de ayuda para la presente investigación.

Mauricio Carrasquilla Henao en el año 2011 presentó su tesis titulada “Análisis de la cobertura del bosque de manglar y su correlación con la pesca ribereña entre 1993 y 2009 en el sistema lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule, Sinaloa, México”. En el grado académico de Licenciado, ante el centro interdisciplinario de investigación para el desarrollo integral regional unidad Sinaloa. Del Instituto Politécnico Nacional de México, México.

Henao en su investigación tiene como objetivo principal, evaluar la relación del cambio en la cobertura del bosque de manglar con los volúmenes de la pesca ribereña y las variaciones en la composición de las capturas entre 1993 y 2009 en el complejo Lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule, Guasave, Sinaloa, México.

Como uno de sus objetivos específicos fue determinar el cambio en la cobertura del bosque de manglar entre 1990 y 2009, a través de análisis de imágenes satelitales del Sistema Lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule.

Obteniendo los siguientes resultados. La cobertura del manglar fue de 11,434 hectáreas en promedio durante los 19 años analizados, siendo su valor más alto de 10,451 hectáreas en 1990 y el máximo, en 2004, de 11,929 ha, manifestando un incremento entre 1990 y 1994 que se mantuvo constante con cambios muy leves en los próximos 10 años. (Henao M., 2011, pág. 29)

La percepción remota es una tecnología utilizada para tomar muestras de radiaciones electromagnéticas e interpretar datos geoespaciales de los cuales se puede extraer información de los objetos, tales como la tierra y los océanos, junto con los sistemas de información geográfica, son herramientas ampliamente utilizadas para determinar el estado de ecosistemas terrestres manglar, es destacable y aplicable la metodología que se usó en esta investigación.

Camilo Ernesto Mena Ortiz en el año 2012 presentó su tesis de grado titulado “Análisis espectral de imagen del sensor LANDSAT 8, como herramienta para la definición de tipos de bosque de mangle, en la ciénaga de la caimanera, departamento de sucre”. En el grado académico de Licenciado, ante la Facultad de Ingeniería de la Universidad Militar Nueva Granada de Bogotá, Colombia.

El objetivo de la investigación fue la utilización de los índices derivados del procesamiento digital para la diferenciación de los bosques de mangle en la ciénaga de la Caimanera. De esta manera plantear una herramienta que complemente los planes, programas y proyectos de carácter ambiental que se han estado desarrollando en la región.

Rivera al final de su investigación concluye en qué; ***Avicennia germinans***, es la especie que, de acuerdo con el NDVI, sigue en dominancia en la ciénaga después de ***Rhizophora mangle***, los valores del índice, concuerdan con la distribución espacial y comportamiento de esta, la cual toma una mayor importancia en los sustratos estables y pierde relevancia en los inestables, en los cuales ***Rhizophora mangle*** es dominante. A partir del análisis de la información obtenida a través del inventario forestal y de la tendencia encontrada en los índices de vegetación anteriores, en relación con los parámetros físicos, se ha ratificado que, en los bosques de mangles presentes en el lugar, la estructura de la masa boscosa está conformada por individuos en clases diamétricas inferiores, correspondientes en su mayoría a árboles jóvenes o regeneración natural de las diferentes especies.

El índice de vegetación normalizada NDVI, es una herramienta viable para la diferenciación de masas forestales puras de manglar. En la medida que la muestra sea representativa y homogénea, disminuye la dispersión de datos y aumenta la exactitud en los valores, como en el caso de las especies ***R. mangle*** y ***A. germinans***. (Ortiz M., 2012, pág. 33)

Las fotografías que proporciona el satélite Landsat 8 y los índices de vegetación normalizado son de mucha relevancia, en el estudio de Jorge Rivera se logró determinar la distribución espacial de distintas especies ubicadas en una misma área, permitiendo también conocer la estructura y comportamiento de la masa forestal. De esta manera se plantea utilizar las imágenes ráster para la elaboración de la investigación, la metodología de este trabajo aporta una guía en el manejo y análisis de los datos que se obtendrán.

Carlos Gonzaga Aguilar en el año de 2014 presentó su tesis titulada “Aplicación de Índices de vegetación derivados de imágenes satelitales LANDSAT 8 7 ETM+ y ASTER para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la provincia de Loja, Ecuador”. En el grado académico de Licenciado, ante la Facultad de Ingeniería y Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

En el proceso Aguilar encontró insuficiencias y vacíos de datos climáticos en el área de estudio no permitieron obtener superficies de precipitación y temperatura adecuadas; esto influyó al momento de establecer correlaciones entre estas variables climáticas

Finalmente, Aguilar empleó una técnica de análisis espacial, que, a partir de una red de elevaciones contenidas en un modelo de elevación digital, que permitió determinar las diferencias entre el área real y la proyectada para cada cobertura presente en la zona de estudio la cual presenta relieves irregulares.

Aguilar propuso en su objetivo general estimar la calidad y tipo de coberturas vegetales mediante el procesamiento de imágenes satelitales multi sensor en la

zona centro de la provincia de Loja, Ecuador. Uno de los objetivos específicos fue evaluar tres índices de vegetación NDVI, MSI y SAVI derivados de imagen RASTER y LANDSAT 8 7 ETM, para determinar el estado de la cobertura vegetal.

La respuesta al primer objetivo específico se concluye en que los índices de vegetación evaluados permitieron discriminar los diferentes tipos de manto vegetal analizados en donde no hubo diferencias significativas en los tres. En cuanto a la capacidad para estimar el estado de las coberturas el MSI fue el índice que tuvo ligeramente mejor correspondencia entre sus valores y los estados de las coberturas vegetales en las dos imágenes. (Aguilar C. 2014, pág. 70)

Esta investigación presenta una metodología que servirá de guía para la elaboración de este estudio, para lograr los resultados esperados el método utilizado por Aguilar proporciona mucha información que se empleará para dar respuesta a los objetivos.

La información que se derivan de imágenes satelitales es cada vez más útil en los estudios de áreas boscosas, abonado a esto el análisis de los índices de vegetación normalizada (NDVI), se convierte en una herramienta que permite determinar, la calidad de la fauna del área, permitiéndonos así identificar especies forestales y no forestales, conocer su fitosanidad, extensión y volumen de las masas boscosas que se pretende obtener para tomar decisiones.

Jiner Antonio Bolaños Cubillos en el año 2019 presentó la investigación titulada “Identificación de patrones espectrales de los manglares de Colombia con imágenes hiperespectrales y multiespectrales: caso de estudio ciénaga grande de Santa Marta”. En el grado académico de Licenciado, ante la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Católica de Manizales, Colombia.

Jiner Antonio Bolaños propuso como objetivo general, identificar patrones espectrales de áreas de manglar con diferentes características de composición

de especies, nivel de desarrollo y grado de perturbación, utilizando imágenes hiperespectrales y multiespectrales, en un área piloto de la Ciénaga Grande de Santa Marta – CGSM.

En este trabajo se utilizó una metodología de carácter cuantitativo no experimental, el cual se desarrolló en varias fases; las primeras relacionadas con todas las actividades de recopilación de información primaria y secundaria, incluyendo imágenes de satélite, datos de campo, cartografía existente, entre otras. En estas etapas también se realizó el procesamiento inicial de los ráster hiperespectrales y multiespectrales.

Después de realizar sus análisis concluye, que, de las firmas espectrales y los resultados de la diferencia espectral relativa entre unidades de manglar en todos los niveles de desarrollo, obtenidos en imágenes Hyperion muestran que las mayores diferencias se encuentran en la región del infrarrojo de banda corta (SWIR2) con valores que varían del 10% al 80%, seguido por el rango del límite rojo que difiere hasta en un 20%. Sin embargo, los rangos del espectro electromagnético cambian de una especie a otra, aunque no superan el 20%. (Cubillos J. 2019, pág. 59)

Los patrones espectrales ayudan a identificar las características de cada árbol forestal en este caso los datos de Jiner Bolaños, que categóricamente servirán en la clasificación del espectro de la masa boscosa, especialmente se implementará parte de la metodología utilizada para obtener los resultados deseados al momento de cuantificar el bosque manglar de Manchón Guamuchal, que al final permitirá contar con la información del índice de crecimiento.

1.3. Marco teórico

1.3.1 índice de crecimiento

El crecimiento de un árbol o una masa forestal es el cambio irreversible en las dimensiones durante períodos definidos de tiempo, este proceso es dinámico en un bosque y se expresa como un porcentaje de la población base.

Se sabe que el crecimiento de árboles individuales es difícil de estimar y proyectar, porqué depende de procesos fisiológicos, climáticos, físicos y biológicos, sin embargo, el crecimiento de un bosque muestra un comportamiento definido, el cual puede ser modelado de forma matemática y evaluado con modelos no lineales, en este caso puede ser a través del índice de crecimiento de las masas forestales.

1.3.2 Crecimiento

Es el aumento gradual en el tamaño de un organismo (árbol), población (bosque) en un periodo de tiempo.

El ritmo o tasa de crecimiento está determinado por factores internos (genéticos), externos (sitio) y por el tiempo.

1.3.3 Inventario forestal

Un inventario forestal consiste en la recolección sistemática de datos sobre los recursos forestales de una zona determinada. Permite la evaluación del estado actual y sienta las bases del análisis y la planificación, que constituyen el punto de partida de una gestión sostenible.

1.3.4. Incremento Medio Anual (IMA)

1.3.4.1. Incremento

Consiste en la diferencia de tamaño entre el comienzo y final de un periodo de desarrollo. El aumento se manifiesta en el cambio de dimensiones de las diferentes variables que lo caracterizan. El incremento medio anual (IMA) expresa el promedio del total a cierta edad del árbol. indica por tanto la media anual del crecimiento. El IMA

es obtenido por la división del mayor valor actual de la variable considerada, dividida por los años a partir del tiempo cero.

1.3.4. El Bosque Manglar

Los manglares son formaciones boscosas que se desarrollan en los esteros de las regiones tropicales y subtropicales. Es aquí en donde ocurre la mezcla de agua dulce -proveniente de las escorrentías de las cuencas hidrográficas- con el agua salada –proveniente de las inundaciones periódicas del mar-, determinando un ambiente dinámico, en el que suceden a la vez los procesos de erosión y sedimentación. (Espinoza, 2011, pág. 10)

Las zonas en las que se localizan los manglares son litorales, cubriendo parte de su línea de costa en tierra firme. En estos importantes ecosistemas tienen su hábitat un gran número de especies de la fauna, donde la biodiversidad adquiere un grado muy significativo; se caracterizan, además, por ser bosques protectores, en su papel como indicador del estado medioambiental.

Los manglares son de mucha importancia, unos de sus grandes aportes al ecosistema costero son, primero es actuar como filtro de las escorrentías que llegan al mar, segundo, subsidian los litorales exportando materia orgánica y tercero, constituyen el hábitat de muchas especies animales brindándoles un nicho.

Otro aspecto del bosque manglar es que suministra madera para consumo doméstico como combustible y construcción de viviendas, aunque su uso está regulado por el INAB.

1.3. 5. Ecosistemas de especies de mangle

Los manglares pueden dividirse en tres grupos, según sus características. Los elementos mayores (manglares estrictos o puros), los elementos menores y las especies asociadas. Las especies de manglares estrictos: ***Avicennia germinans***, ***Conocarpus erectus***,

Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle, encontrando estas cuatro especies en Guatemala. (FAO, 2005, pág. 4)

1.3.6. Especies de mangle existentes en Guatemala

Las especies de mangle se distribuyen en una estrecha franja costera de ancho variable, limitada principalmente por las condiciones de salinidad. Según De La Cruz (1976) “estos bosques están localizados en la zona de vida Bosque Seco Tropical Basal en la que la temperatura y la precipitación son los principales factores limitantes para el desarrollo”. (pág. 10)

La clasificación de Tomlinson 1987 indica que pueden dividirse en tres grupos, según sus características: los elementos mayores (manglares estrictos o puros), los elementos menores y las especies asociadas. La lista de Tomlinson ha sido modificada añadiendo algunas de las especies que se encuentran comúnmente (FAO, 2005, pág. 4).

1.3.6.1. Mangle rojo

Familia **Rhizophoraceae** ***Rhizophora mangle*** L.

El mangle rojo es un árbol o arbusto perennifolio que alcanza hasta 25 metros de altura, florece todo el año, con una sola semilla que germina en el interior del fruto y que llega a alcanzar 0.4 m de largo, crece en los esteros, habita en la zona inundada por el agua. Se identifica por sus raíces adventicias (raíces zancudas) que salen de los troncos y las ramas. Estas son superficiales y poseen poros o lenticelas, que les permite incorporar nutrientes y realizar intercambio de gases. Se caracteriza además por sus semillas colgantes y porque la nueva planta cae de él para establecerse independientemente, plántulas que a la vez son flotantes y son una forma única de dispersión (Enríquez, 2010, pág. 16).

1.3.6.2. *Madre sal*

Familia **Avicenniaceae** (*Avicennia germinans* (L.) L)

Nombrado en Guatemala como mangle negro y en México se conoce con el nombre de mangle prieto. Se encuentra en terrenos elevados que permanecen en menor contacto con el agua, aunque pueden ser inundados periódicamente. La característica más prominente son los neumatóforos que sobresalen desde la raíz a través del suelo y que le sirven para llevar oxígeno a las raíces sumergidas para que los árboles puedan respirar. Las hojas son alargadas y lanceoladas y generalmente tiene la superficie cubierta por cristales de sal.

Árbol de 15 a 30 m de alto, diámetro a la altura de pecho 20 a 60 cm; raíces zancudas (estructuras arqueadas que quedan expuestas durante la bajamar) y neumatóforos (estructuras con geotropismo inverso, es decir, crecen en dirección opuesta al suelo o sustrato); tronco glabro en las porciones viejas y puberulento en tallos jóvenes y renuevos; corteza levemente fisurada, rojiza en el interior; copa pequeña y redondeada; hojas opuestas, con pecíolo 2-10 mm de longitud, lámina elíptico-oblonga, 3 a 12 cm de largo, 1 a 4 cm de ancho, (CONAFOR, 2019, pág. 5)

1.3.6.3. *Botoncillo*

Conocarpus erecta (L).

Árbol pequeño, normalmente de 10 m de altura y 30 cm de DAP, pero que puede alcanzar los 20 m de altitud y hasta 80 cm de DAP. La corteza externa es fisurada y se desprende en escamas muy delgadas. Esta especie, junto con L. ***racemosa*** es de los únicos mangles que pueden propagarse vegetativamente. El mangle botón, ***Conocarpus erecta*** se encuentra en la parte más seca y alta del manglar. Su rasgo sobresaliente son los pequeños frutos en forma de conos redondos. (Ochoa E. 2010 pág. 17)

1.3.6.4. Mangle blanco

Familia **Combretaceae** (*Laguncularia racemosa*)

Según la Unidad de gestión ambiental del ITAO, (2009, citado por Barrera. C, pág. 7) Es un árbol o arbusto perennifolio de hasta 20 metros de altura, tronco derecho con las ramas ascendentes; copa redonda y densa, su corteza externa es fisurada de color gris oscura o rojiza morena. Hojas simples; lámina de 4x2 a 10x4 cm, elípticas, con el margen entero, carnosas. Flores dioicas (se presentan los sexos separados, es decir, que hay plantas macho y hembras por separado); cáliz verde claro, de 2 a 3 mm de largo; cinco pétalos blancos de 1mm, insertos entre los dientes del cáliz. Florece de febrero a mayo. Sus frutos son redondos de 2 a 2.5 cm de longitud, ovoides, aplanados, con varios surcos longitudinales, verde parduscos, sedosos, carnosos; contienen una semilla de 2 cm de largo la cual empieza a germinar aun cuando el fruto se encuentra adherido al él. (Enríquez F, 2011, pág. 17)

El fruto del mangle blanco tiene un peso promedio de 0.4 g y una longitud media de 2.0 cm. Existe una incidencia de viviparidad en estos frutos que es menor que la de otras especies. Por lo normal cae del árbol progenitor y la radícula emerge después de unos pocos días. Las plántulas flotan y se ven dispersadas por el agua.

La flotación se ve facilitada por un pericarpio grueso. Los frutos se hunden después de flotar por aproximadamente 4 semanas y el crecimiento comienza cuando la plántula se encuentra sumergida. El establecimiento ocurre por lo usual en áreas acuáticas poco profundas.

1.3.7. Botánica

Se trata de un árbol perennifolio, halófilo, de 1.5 a 15 m (hasta 30 m) de altura con un diámetro que puede llegar a los 50 cm. Copa redondeada, hojas opuestas, simples, pecioladas, elípticas a oblongas, aglomeradas en las puntas de las ramas, de 8 a 13 cm de largo por 4 a 5.5 cm. de

ancho, coriáceas, lisas, gruesas; verde oscuro en el haz y amarillentas con puntos negros en el envés. Tronco recto. Ramas apoyadas en abundantes raíces aéreas de origen adventicio, simples o dicotómicamente ramificadas, con numerosas lenticelas.

Corteza externa de color olivo pálido con manchas grises, pero si se raspa adquiere un tono rojo, inodora, amarga, dura, de textura lisa a rugosa y apariencia fibrosa, se desprende fácilmente en escamas, granulosa (con alto contenido de fibras y esclarecidas). Forma lenticelas hipertrofiadas en las partes sumergidas de tallos y raíces. Grosor total: 20 a 30 milímetros. Tiene una Inflorescencia simple, con 2 y 3 flores actino mórficas, pedúnculos de 3 a 5 cm, corola de 1.8 cm de diámetro y cáliz de 1.54 cm; 4 sépalos persistentes, amarillos, coriáceos, gruesos, de 4.1 mm de ancho; 4 pétalos no persistentes, blancos o amarillentos en la base y moreno rojizos arriba, de 2.6 mm de grosor. (Enríquez F, 2011, pág. 18)

1.3.8. Ecología

Es una planta halófito facultativa. Típicamente es la especie de mangle ubicada en la parte de mayor influencia salina (frente del manglar) y en la que el nivel de inundación es más profundo, aunque que cuenta con buenas capacidades para explotar hábitats de condiciones particulares diversas, pudiendo habitar en sitios con poca disponibilidad de nutrientes y baja salinidad.

1.3.9. Crecimiento horizontal o espacial

Las características del suelo, clima. Estrategias de las especies y los efectos de distribución sobre la dinámica del bosque, determinan la estructura horizontal que se refiere a la cobertura del estrato leñoso sobre el suelo y que son estructuras que contiene la masa arbórea. (Manzanero 2003 pág. 30)

1.3.10. Percepción remota

La percepción remota se define como el grupo de técnicas utilizadas en la obtención de información confiable sobre las propiedades físicas de ciertas superficies u objetos y su entorno, desde distancias relativamente grandes, sin contacto físico con ellos. Implica analizar imágenes que son ampliamente procesadas e interpretadas para producir datos que pueden aplicarse en agricultura, geología, geografía, oceanografía y ecología, aunque también tiene fines militares.

La percepción remota ofrece información en tiempo real, con rapidez y en superficies muy extensas. Se puede obtener datos sobre la temperatura y la fluorescencia de las capas superficiales de los cuerpos de agua, cambios de vegetación, cobertura de las nubes y el hielo del océano.

La Percepción Remota en interconexión con otras técnicas y métodos actuales de captura, tratamiento, análisis y representación georreferenciada de información sobre los territorios, se presenta como una eficaz herramienta metodológica y tecnológica de amplia aplicabilidad a los estudios y la cartografía de la vegetación, incluyendo también a los manglares, ya que estos por lo general se desarrollan en zonas de difícil acceso para los especialistas que realizan los trabajos de investigación in situ mediante metodologías convencionales. (Espinoza, 2011, pág. 19)

El método de percepción remota está restringido a métodos que emplean la energía electromagnética como medio de detección y medida de las características de los objetos. Este tipo de fuente incluye: la luz, el calor, las ondas de radio y excluye los estudios eléctricos, magnéticos y gravimétricos, que miden los campos de fuerza.

1.3.11. Teledetección

La teledetección es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor genera una serie

de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra. El primer satélite de observación de la Tierra fue lanzado al espacio por EE. UU. en el año 1972, iniciándose entonces técnicas de Teledetección, poco utilizadas hasta hace unos años debido al alto coste que suponía trabajar con imágenes de satélite. Hoy en día, gracias a la disponibilidad de imágenes y al desarrollo de nuevas tecnologías, son cada vez más las empresas y organismos públicos que incorporan el uso sistemático de imágenes en sus distintos proyectos, ya que pueden resultar muy ventajosas para un gran número de aplicaciones: extracción de información, detección de cambios, agricultura (rendimiento de cultivos), vulcanología, monitorización de desastres naturales. (Instituto Geográfico Nacional Madrid España 2015 pág. 2)

1.3.12. Índice de Vegetación Diferenciada (NDVI)

Los índices de vegetación son combinaciones de las bandas espectrales registradas por los satélites de Teledetección, cuya función es realzar la vegetación en función de su respuesta espectral y atenuar los detalles de otros elementos como el suelo, la iluminación, el agua, es decir que se trata de imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales.

1.3.13. Clasificación supervisada

Las técnicas de clasificación de imágenes digitales se usan para agrupar píxeles con valores similares en varias bandas de imágenes en clases de manto terrestre. Los métodos comunes son el no-supervisado, el supervisado y el basado en algún objeto. Esta serie de capacitaciones en línea se enfocará en el método supervisado. En la clasificación supervisada, el usuario elige ejemplares representativos para cada clase de manto terrestre en la imagen digital. Estas clases ejemplares de manto terrestre se llaman “sitios de entrenamiento”. La programación de clasificación de imágenes usa los sitios de entrenamiento para identificar las clases de manto terrestre en la imagen entera. La clasificación del manto terrestre está basada en la clasificación definida por las firmas espectrales en una imagen de Landsat.

1.3.14. Energía electromagnética

La energía electromagnética viaja a través del espacio de la luz (3×10^{10} cm/s). La onda consiste en un campo magnético y uno eléctrico, que son perpendiculares el uno al otro y a la dirección de la propagación. Se puede describir en los términos de la longitud (λ), que es la distancia de la separación entre las crestas adyacentes, o de su frecuencia (f), que es el número de los picos que pasan por un punto fijo en una unidad de tiempo. Se expresa mediante la siguiente ecuación: $\lambda f = C$.

La energía electromagnética puede ser únicamente observada por interacción con la materia. Está hecha de componentes eléctricos y magnéticos y es afectada por propiedades eléctricas y magnéticas de la materia con la cual entra en contacto. Dos Hipótesis son utilizadas generalmente para describir el comportamiento de la energía.

Tabla 1. Rango de longitud de onda del espectro electromagnético de la luz.

Spectro	Longitud de onda (micrómetros)
Violeta	0.4 – 0.446
Azul	0.446 – 0.500
Verde	0.500 – 0.578
Amarillo	0.578 – 0.592
Naranja	0.592 – 0.620
Rojo	0.620 – 0.7

Fuente. CICEANA. (Año, 2010).

1.3.15. Interacción de la radiación con la superficie terrestre.

La energía incidente se fracciona en varios componentes, siendo todos estos dependientes de la longitud de onda. La proporción de energía reflejada, absorbida o transmitida variará con los diferentes objetos, dependiendo del tipo de material del que están compuestos, así como de su condición. Esto permite identificar diferentes caracteres en una imagen. (Teledet, 2007, pág. 37)

El mismo autor indica que la fracción de energía que se refleja se denomina reflectividad o albedo (ρ); la porción que absorbe se denomina absorptividad (α); la parte que se transmite se conoce como transmisividad (t). Se cumple que. $\rho + \alpha + t = 1$.

La dependencia con la longitud de onda determina que la proporción de energía reflejada, absorbida y/o transmitida varía para las diferentes longitudes. Esto hace que dos objetos que pueden ser indistinguibles entre sí en un dado rango espectral puedan ser perfectamente diferenciados en otro.

Las superficies interna y externa de las hojas están tapizadas por una simple cubierta de células epidérmicas carentes de clorofila y recubiertas por una delgada película de ceras. El tejido mesodérmico entre las dos epidermis está formado por dos capas; la capa superior contiene células oblongas dispuestas en forma regular y ordenada. Estas células son ricas en las clorofilas tipo a y b que se encuentran contenidas en el cuerpo subcelular denominados cloroplastos, componentes predominantes del grupo de cromoplastos que también contienen pigmentos como xantofilas y carotenos. La parte inferior del mesodérmico es esponjoso, conformado por células de aspecto irregular, flojamente empaquetadas, dejando entre ellas numerosos espacios intercelulares y cavidades de aire que son reflejadas directamente por la superficie exterior pues la cutícula y la corteza son casi transparentes al visible y al IR cercano.

La reflectancia de los vegetales es usualmente relativamente baja en la región visible, con un máximo a aproximadamente

0.53 μm , es decir en el verde. Aumenta bruscamente en el infrarrojo (IR) para luego caer a valores muy bajos a 2.5 μm .

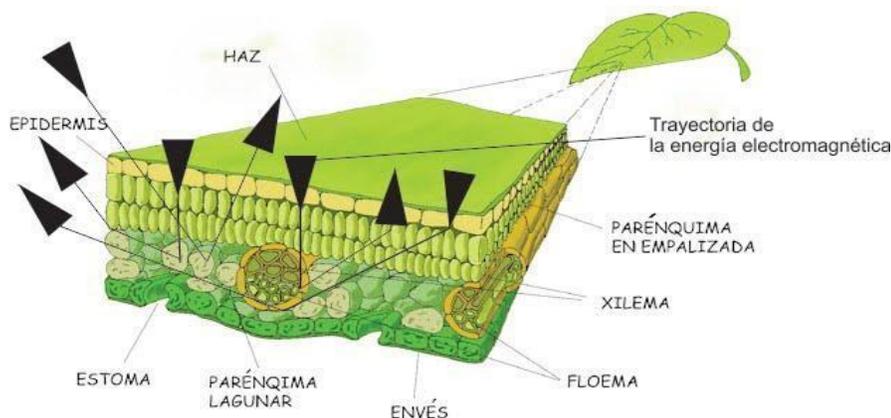


Figura 1 Corte transversal de una hoja, mostrando la estructura interna, sus orgánulos y la trayectoria de la energía electromagnética incidente.

Fuente. Bense, Q. Año 2007.

La baja reflectancia en el visible se atribuye a la elevada absorción de los pigmentos vegetales, principalmente clorofila. Estos pigmentos, sin embargo, son altamente transparentes a la radiación IR, y la elevada reflectancia en dicha región estaría determinada por la estructura interna de la hoja. Los mínimos de reflexión a 1.45, 1.95 y 2.5 μm corresponden a la alta absorción de las moléculas de agua presentes en la hoja. (Bense, T, 2007, pág. 15)

Otro fragmento de radiación puede ser transmitida directamente a través de la hoja. Finalmente, el resto sufre interacciones con la estructura interna de la misma. Parte de ella podría ser absorbida por los pigmentos, pero una fracción importante soporta reflexiones y refracciones múltiples en el tejido esponjoso debido a la sensible diferencia de índices de refracción entre el aire ($n=1.0$) y las paredes de las células hidratadas ($n=1.3$).

Como consecuencia de tales reflectancias parte de la radiación vuelve hacia atrás, pudiendo emerger como radiación reflejada. Como la clorofila es transparente al IR cercano la hoja refleja intensamente dicho rango espectral (en dicha región típicamente es reflejado un 40-50% de la radiación incidente en la hoja

Las características espectrales de la radiación reflejada por una hoja en la región visible dependen fundamentalmente de la asimilación por parte de los pigmentos de esta, mientras que, en el IR cercano, en la región de 0.7 a 1.3 μm , es consecuencia primaria de la estructura interna. Para valores superiores a 1.3 μm aparecen mínimos de reflectancia a 1.4, 1.9 y 2.7 μm asociados a las bandas de absorción del agua. (Espinoza F. 2011 pág. 24)

1.3.16. Reflectancia del agua

El agua absorbe intensamente en el IR cercano: los cuerpos de agua aparecerán en dicha región como objetos oscuros, facilitando su observación y delineamiento. Para longitudes de onda visibles hay factores que complican la interpretación. En efecto, la reflectancia de un cuerpo de agua puede generarse por interacción con la superficie (reflexión especular), con material en suspensión o con el fondo de este.

El agua clara absorbe poca energía con longitudes de onda por debajo de 0.6 μm , pero a medida que aumenta la turbidez la reflectancia en el visible, crece rápidamente. Igualmente, la presencia de clorofila (alga, fitoplancton) modifica la reflectividad del agua, efecto que se aplica al monitoreo por percepción remota de concentraciones de algas (Bense, T, 2007, pág. 21).

1.3.17. Reflectancia de los suelos

La curva de reflectancia espectral del suelo es más monótona que la de la vegetación. Los factores que la afectan son: la cantidad de agua, su textura, dureza, presencia de materia orgánica y contenido de óxido de

hierro. El porcentaje de partículas de agua en el ambiente está estrechamente ligado a la textura: los territorios arenosos, usualmente están bien drenados, resultando con baja humedad y relativamente alta reflectividad. La inversa ocurre con un lugar mal drenado. La rugosidad y el humus, así como el óxido ferroso disminuyen el reflejo del área, a lo menos en la región visible (Bense, T, 2007, pág. 42).

1.3.18. Firmas espectrales

Diferentes tipos de superficies, como el agua, la tierra desnuda o la vegetación, reflejan la radiación de manera distinta en varios canales, está reflejada en función de la longitud de onda se llama firma espectral de la superficie.

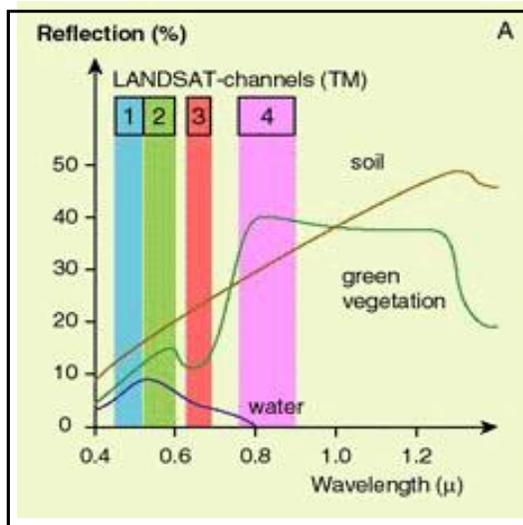


Figura 2 Firmas espectrales del suelo, la vegetación y el agua en los canales 1-4 del sensor.

Fuente. European Space Agency (ESA) año 2010.

1.3.19. Imágenes de satélite

Una imagen satelital se puede definir como la representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial. Estos sensores

recogen datos que reflejan la superficie de la Tierra que luego es enviada de regreso a ésta y es procesada convenientemente.

1.3.20. Resolución de imagen

Los sistemas de percepción remota difieren en la resolución, es decir, el nivel de detalle con que pueden capturar las imágenes, considerándose cuatro diferentes tipos de resolución: espacial, espectral, radiométrica y temporal.

1.3.21. La resolución espacial

Se refiere a la superficie que cubre un píxel de una imagen, siendo directamente responsable del nivel de detalles visibles; cuanto menor es el área terrestre representada por cada elemento de una imagen, mayores son las características que pueden ser captados y mayor es la resolución espacial, considerándose tres calidades (baja, mediana y alta. Ej.: MODIS 1.1 km, LANDSAT 8-7, 15m y QUICKBIRD, 0.60m. Existen diferentes factores que influyen, además de los obviamente asociados al sensor, como ser el poder resolutivo del sistema óptico, debemos considerar las influencias atmosféricas, presencia de humo, neblina, bajos niveles de iluminación.

1.3.22. La resolución espectral

Es la capacidad que tiene el sensor de captar imágenes en determinados rangos de longitudes de onda denominados bandas o canales. Dependiendo de la aplicación pueden seleccionarse sensores con bandas relativamente estrechas o anchas. La resolución espectral se refiere al número y ancho de las bandas espectrales registradas por el detector. Cuanto más reducida sean estas bandas mayores será la calidad del espectro.

1.3.23. La resolución radiométrica

Hace referencia al número de niveles digitales utilizados para referirse a los datos recogidos por el sensor. En general, cuando mayor es la cantidad del nivel mayor es el detalle con que se podrá expresar dicha información.

1.3.24. Satélites LANDSAT 8

El proyecto LANDSAT 8, desarrollado por la National Aeronautics and Space Administration-NASA, fue originalmente denominado Earth Resources technology Satellite - ERTS. Fue el primer programa de satélites de percepción remota para la observación de los recursos terrestres.

El primer satélite, de carácter experimental, fue construido para demostrar la viabilidad de mapear y monitorear rasgos del planeta a partir de fotografías orbitales. Este programa fue desarrollado con el objetivo de posibilitar la adquisición de imágenes de la superficie de la Tierra de manera global y repetitiva.

El 23 de julio de 1972, la NASA lanzó a LANDSAT 8 1 originalmente llamado "ERTS 1" Earth Resources Technology Satellite 1. Fue el primer proyecto de observación de la tierra con la intención de estudiar y vigilar masas de tierra de nuestro planeta, estuvo en función hasta enero de 1978. Las imágenes proporcionadas por este satélite están compuestas por cuatro bandas, una verde, una roja y dos infrarrojas, con resolución espacial de 60 metros.

Los satélites subsecuentes (LANDSAT 8 2-7) fueron lanzados en 1975, 1978, 1982, 1984, 1993 y 1999. Cada satélite sucesivo ha mejorado sus capacidades de comunicación y sensores.

Los satélites LANDSAT 8 han usado dos tipos de sensores: el Rastreador Multiespectral (MSS) y el Mapeador Temático (TM). Los sensores MSS y TM detectan la radiación reflejada de la Tierra en la longitud de onda visible y de IR; el MSS se utilizó en los LANDSAT 8 1-5, mientras que el sensor TM fue utilizado en los LANDSAT 8 4-7, porque provee más información radiométrica que los sensores MSS.

El sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM +) está a bordo del satélite LANDSAT 8 7, ha adquirido imágenes de la Tierra casi sin interrupción desde julio de 1999, con un ciclo de repetición de 16 días. (EROS). Un mal funcionamiento del instrumento se produjo el 31 de mayo 2003, como resultado, todos los datos del LANDSAT 8 7 hasta la actualidad se recogieron en el modo de SLC-off. (EROS)

Tabla 2. Descripción de las fechas de lanzamiento y fin de operación de los satélites LANDSAT 8.

Satélite	Lanzamiento	Fin de operación	Sistemas sensores
Ertis-1	23/06/1972	5/01/1978	MSS E RBV
Landsat-2	22/01/1975	27/07/1983	MSS E RBV
Landsat-3	5/03/1978	7/09/1983	MSS E RBV
Landsat-4	16/07/1982	5/06/1905	MSS E TM
Landsat-5	1/03/1984	en operación	MSS E TM
Landsat-6	3/10/1993	3/10/1993	ETM
Landsat-7	20/06/1999	en operación	ETM Y HRMSI
Landsat-8	5/07/2013	en operación	(MSS, TM, E TM)

Fuente. Ingeniería topografía y fotogrametría 08 de junio del año 2019

Tabla 3. Bandas espectrales Landsat.

Parámetros	Landsat-8		
Altitud de órbita	705 km		
Bandas Espectrales	Bandas	Longitud de Onda (nm)	GSD (m)
	1 - Coastal aerosol	300	30
	2 – azul	450 - 510	30
	3 – verde	530 – 590	30
	4 – rojo	640 - 670	30
	5- Infrarrojos	850 – 880	30
	6 - Swir 1	1570 - 1650	30
	7 - Swir 2	2110 – 2290	30
	8- Pancromática	500 - 680	15
	9- Cirrus	1360 – 1380	30
	10- Infrarrojos térmicos 1	10600 - 11190	100 (*30)
	11- Infrarrojos térmicos 2	11500 - 12510	100 (*30)
* Las bandas TIRS se obtienen a resoluciones de 60 metros, pero son re muestreados a 30 m para información del producto final			
Ancho pasado	185 KM		
Distancia de muestreo (GSD)	15-30 KM		
Lanzamiento/expectativa de vista	2013-2018 (tiene suministros hasta 2023)		
Tiempo revisto	16 días		

Fuente. Elaboración propia, octubre del 2019.

Tabla 4. Características espectral y espacial de las imágenes de los 6 satélites LANDSAT 8.

Satélite	Sensor	Rango espectral micras	No. Bandas	Escena Tamaño en Km	Píxel Resolución en metros
L 04/01	SMS multiespectral	0.5 a 1.1	1,2,3,4	185 * 185	60
L 05/04	TM Multiespectral	0.45 a 0.35	1,2,3,4,5,7		30
L 05/04	TM Térmica	10.40 a 12.50	6		120
L7	RTM+ Multiespectral	0.450 a 2.35	1,2,3,4,5,7		30
L7	ETM+ Térmica	10.40 a 12.50	6.1, 6.2		60
L7	Pancromático	0.52 a 0.90	8		15

Fuente. Global Land Cover Facility año 2006 (GLCF).

Las imágenes de LANDSAT 8 ETM están integradas por ocho bandas espectrales, con una resolución espacial de 30 metros para cada una de la 1 a 5 y el número 7. La nitidez de la banda de 6H/6L (infrarrojo térmico) es de 60 metros. La calidad del número 8 (pancromática) es de 15 metros. El tamaño aproximado de escena es de 170 km de norte a sur por 183 km de este a oeste (106 por 114 millas). (EROS).

1.3.25 Procesamiento de imágenes satelitales

El procesamiento de las imágenes digitales consistió en la manipulación numérica de estas, siendo estas:

- Preprocesamiento
- Realce
- Clasificación

1.3.25.1. Preprocesamiento

Es el procesamiento inicial de los datos crudos en donde se corrige las distorsiones radiométricas y geométricas de la imagen y eliminar el ruido.

Las distorsiones radiométricas obedecen a mecanismos que alteran los valores de brillo de los píxeles y se deben fundamentalmente a interferencias atmosféricas y a efectos asociados a la instrumentación.

Las correcciones atmosféricas constituyen un problema muy complejo si se quieren aplicar sobre la base de modelos físicos del comportamiento de las radiaciones. Una forma sencilla y práctica para la corrección del efecto atmosférico se basa en la consideración de los histogramas de las imágenes espectrales. Un histograma es un gráfico o tabla que muestra el número de píxeles (DN) de una imagen que poseen un valor DN (Bense, Q. 2007, pág. 48).

Las distorsiones geométricas responden a muy diversas causas y pueden clasificarse en sistemáticas y no sistemáticas. Las principales razones de distorsiones geométricas sistemáticas son las siguientes:

- a) Sesgo de escaneado: causado por el movimiento de avance de la plataforma durante el tiempo requerido para cada barrido del espejo (sistemas whiskbroom). La línea del recorrido sobre el terreno no es normal a la proyección de la trayectoria, sino que resulta ligeramente oblicua, produciendo una distorsión geométrica cruzada.
- b) La velocidad del espejo de escaneado usualmente no es constante durante un dado ciclo, produciendo una distorsión geométrica a lo largo del barrido.
- c) Efecto panorámico y curvatura terrestre. Deriva del hecho de que para los sensores de las plataformas satelitales el IFOV angular es constante, el tamaño del píxel sobre el terreno será mayor en los extremos de la oscilación que en el nadir. También la curvatura de la tierra conduce a un fenómeno similar, aunque para satélites de barrido poco extenso, como el LANDSAT 8 (185 km) o el SPOT (120 km) el efecto es despreciable, a diferencia de lo que ocurre con los NOAA, con 2700 km de FOV (Bense, Q. 2007, pág. 75).

1.3.25.2. Realces

Con este procesamiento se buscó mejorar la interpretabilidad visual de una imagen, aunque no aumentan la cantidad de información contenida en ella. El rango de opciones de que dispone el analista para realces es virtualmente ilimitado, la mayoría de estas técnicas pueden ubicarse en dos grupos: operaciones de punto, que cambian independientemente el brillo de cada píxel y operaciones locales, que modifican la calidad de cada píxel basado en el valor de los mismos vecinos. Dentro de las primeras citaremos algunas como estiramiento de contraste y manipulaciones espectrales, y entre las segundas el filtrado espacial (Bense, Q. 2007, pág. 55).

1.3.25.3. Clasificación

En esta etapa de clasificación se seleccionan todas las imágenes que permitirán un análisis minucioso, se tomarán en cuenta las que presenten menos distorsiones radiométricas, geométricas y atmosféricas, pues estos valores nos permitirán analizar de mejor manera las imágenes que nos brindaran los resultados.

1.3.26. Estiramiento de contraste

Este procedimiento involucró un cambio de forma del histograma asignando los valores de los píxeles. En el estiramiento de contraste lineal, el rango inicial de los píxeles es expandido hasta obtener el rango máximo de 0 a 255. Al expandir la escala de grises se logra realzar detalles sutiles de la imagen, difíciles de discriminar con la compresión inicial de esta. (Bense. 2007, pág. 45).

1.3.27. Filtrado espacial

Las operaciones de contraste realizadas en el estiramiento no alteran los valores de la imagen, simplemente modifican su visualización. En el filtrado espacial los datos de la imagen son modificados en el que el valor de un píxel en una dada ubicación es cambiado en función de los valores de los píxeles vecinos.

En percepción remota las imágenes se caracterizan por un parámetro denominado frecuencia espacial. Esta puede definirse como el número de cambios que ocurren en el valor del píxel (o brillo) por unidad de distancia para alguna región particular de la imagen. Si sobre una dada área de la imagen ocurren pocos cambios de brillo se considera como un área de baja frecuencia (ej. grandes extensiones agrícolas, cuerpos de agua extensos)

Cuando los cambios de brillo son numerosos y notorios puede realizarse o deprimirse según la conveniencia del analista utilizando el filtrado espacial. (Bense, 2007 pág. 47)

1.3.28. Combinaciones de bandas

Debido a que las imágenes satelitales suelen ser multiespectrales, es decir que son registradas simultáneamente en varias regiones del espectro electromagnético. Estas imágenes pueden ser estudiadas individualmente en escalas grises o en imágenes coloreadas obtenidas a partir de las primeras.

Las imágenes a color se generan según el modelo RGB (del inglés Red, Green, Blue). Esto hace referencia a la composición del color en términos de la intensidad de los colores primarios con los que se forma: el rojo, el verde y el azul. Es un modelo de color basado en la síntesis aditiva, siendo esta la mezcla por adición de dichos colores primarios. Para indicar en qué proporción se mezcla cada color se asigna un valor a cada uno de los colores primarios. (Bense, 2007, pág. 39)

El mismo autor indica que para un display de computadora de 8 bits por píxel el rango de valores posibles (o sea de DN) para cada componente de color es de 0 a 255. En consecuencia, existirán $256^3 = 16.777.216$ combinaciones posibles de rojo, verde y azul.

1.3.29. Combinaciones Rojo, verde y azul de las bandas (RGB) 3,2,1

La combinación suele llamarse “color natural” pues involucra a las tres bandas visibles y se le asigna a cada una de ellas su verdadero color, resultando una mezcla que se aproxima a los tonos naturales de la escena. La vegetación aparece en diversos tonos de verde y los suelos en colores marrones o tostados. Además, la banda visible tiene buena penetración en los cuerpos de agua y permite observar detalles en áreas poco profundas.

1.3.30. Combinación rojo, verde y azul (RGB) de las bandas 5, 4,3

Constituye una “simulación” del color natural, pese a utilizar 2 bandas infrarrojas.

1.3.31. Combinación rojo, verde, azul (RGB) de las bandas 4,3,2

Esta combinación suele llamarse “falso color infrarrojo” pues los colores resultantes en la imagen son similares a los de las fotografías obtenidas con film infrarrojo. Al asignar el rojo a las bandas 4 (NIR) resultará que todos los tonos rojizos, desde el oscuro al rosado pálido corresponden a vegetación: las tonalidades más se relacionan con la presencia de vegetación arbórea densa, bosques, montes, pudiéndose identificar algunas especies como pinos y eucaliptos. Rojos claros indican cultivos y praderas vigorosas.

Esta combinación resulta adecuada para diferenciar coberturas vegetales en nuestro caso el manglar pues este bosque no es caducifolio a diferencias de algunas especies forestales de la zona que se estresan por la falta de humedad durante la estación seca.

1.3.32. Combinación rojo, verde y azul (RGB) de las bandas 4,5,3

Al asignarle el color rojo a la banda 4 (infrarroja cercana) esta banda va a tener ciertas similitudes con la combinación RGB 4,3,2. Sin embargo, al dar más peso a la región infrarroja (bandas 4 y 5) se ve realzada la diferencia de humedad en suelos y

vegetales. Generalmente cuanto mayor es la humedad del suelo más oscuro aparecerá éste.

1.3.33. Análisis de imágenes digitales

En teledetección se realizan estudios que abarcan grandes extensiones, donde se necesita clasificar los elementos captados en las imágenes. Es un proceso que de realizarlo manualmente consumiría gran parte del tiempo destinado para un proyecto

La clasificación en teledetección es un caso particular del problema general de clasificar N elementos en un conjunto de K clases en función de una serie de variables (X_1, X_2, X_n). Para resolver este conflicto se necesita una medida de la semejanza o diferencia entre los diferentes individuos y la clase. Dos sujetos muy parecidos corresponderán con toda seguridad al mismo conjunto, mientras que dos distintos pertenecerán a diferente agrupación.

Puesto que en la práctica es difícil saber con certeza a qué clase corresponde cada uno de los píxeles que componen una imagen, la clasificación se convierte en un problema de probabilidad de pertenencia una de las clases de un conjunto, por tanto, se suelen usar métodos estadísticos

1.3.34. Análisis de componentes principales

Se usa para resumir la información contenida en las bandas e incluso eliminar alguna del análisis. Generar clases y firmas espectrales características.

Un problema frecuente en el análisis de imágenes multiespectrales es el de la correlación existente entre las bandas de la imagen, las cuales contienen mucha información redundante. Esta no aporta nada nuevo y aumenta enormemente la carga computacional cuando son sometidas a procesos matemáticos. (Bense, 2007 pág. 40),

La técnica de Análisis por Componentes Principales (PCA, Principal Componente Analysis) es una transformación que permite reducir la redundancia y puede ser

aplicada previamente a un análisis visual o a un proceso más complejo de clasificación a través de algoritmos matemáticos- estadísticos. El propósito de esta técnica es “comprimir” toda la información contenida en un conjunto original de N bandas espectrales a un grupo menor de nuevos componentes.

1.4 Marco legal

Guatemala tiene una serie de leyes y acuerdos gubernativos, aplicable a los recursos naturales, los cuales tienen su origen en la Constitución Política de la República, y son el instrumento por la cual el Estado, garantiza la conservación del medio ambiente, para tales efectos estipula que el gobierno nacional y las municipalidades deben velar por la aplicación de esta legislación y artículos establecidos en beneficio del país.

La Constitución Política de la República de Guatemala, de fecha 17 de noviembre del año 1993 establece:

- **El artículo 97.** El estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación”.

La norma constitucional estipula tres actores responsables y obligados de propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico, ellos son: El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional. Para darle cumplimiento a la norma constitucional en referencia se promulgó: “Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente”, “Ley Forestal”, “Ley de Minería”, “Ley del Consejo Nacional y de Áreas Protegidas”, “Ley de Caza”, “Código de Salud”, “Código Municipal”, “Código Penal”.

Para el cumplimiento de este artículo de la constitución, se ponen tres actores principales los cuales son el social, económico y tecnológico cabe mencionar que los componentes antes mencionados deben trabajar en conjunto para mantener un equilibrio. En el sector social entramos todos los que habitamos el medio, en la parte económica está el estado que debe brindar los recursos para aplicar proyectos enfocados al ambiente y en la tecnología están todas las innovaciones que surgen de las investigaciones para convivir mejor con nuestro entorno natural.

- **Artículo 63.** Se declara de interés nacional la conservación, protección y mejoramiento del patrimonio natural de la nación. El estado fomentará la creación de parques nacionales, reservas y refugios naturales. Los cuales son inalienables. Una ley garantizará su protección y la de la flora y fauna que en ellos exista.

Es de suma importancia en la protección de la naturaleza, ampara legalmente la defensa y creación de parques naturales los cuales son una manera de convivir y preservar con el medio ambiente. Lo más considerable para velar por el cumplimiento de este artículo existe una ley, que viene a contribuir a implementar el índice de crecimiento y distribución horizontal del bosque de manglar en parcelas permanentes de muestreo en áreas tanto nacionales, comunitarias y privadas.

Decreto Legislativo No. 68-1993 Ley de mejoramiento del medio ambiente, de fecha 17 de noviembre de 1993.

Son objetivos específicos de la ley: inciso b, la prevención, regulación y control de cualesquiera de las causas o actividades que originen el deterioro del medio ambiente y contaminación de los sistemas ecológicos y excepcionalmente, la prohibición en casos que afecten la calidad de vida y el bien común, previos dictámenes científicos y técnicos emitidos por organismos competentes; y el inciso c, Orientar los sistemas educativos, ambientales y culturales, hacia la formación de recursos humanos calificados en ciencias ambientales y la

ocupación a todos los niveles para formar una conciencia ecológica en toda la población.

El objetivo de la ley de protección y mejoramiento del medio ambiente es conservar los patrimonios naturales y así tener un desarrollo social y económico, es primordial que se analice y reforme esta ley pues es muy necesario implementar planes de manejo que se establezcan en parcelas permanentes, todo eso nos permitirá realizar estudios más precisos en el futuro y aportar mejoras a la naturaleza para poder convivir de mejor manera con nuestro entorno natural.

Decreto Legislativo No. 110-96, Ley de Áreas Protegidas, de fecha 12 de diciembre de 1996.

La ley de Áreas Protegidas del Congreso de la República de Guatemala declara en el capítulo uno de la conformación de las áreas protegidas que: son áreas protegidas, las que tienen por objeto la conservación, el manejo racional y la restauración de la flora y fauna silvestre, recursos conexos y sus interacciones naturales y culturales, que tengan alta significación para su función o sus valores genéticos, históricos, escénicos, recreativos, arqueológicos y protectores, de tal manera de preservar el estado natural de las comunidades bióticas, de los fenómenos geomorfológicos únicos, de las fuentes y suministros de agua, de las cuencas críticas de los ríos, de las zonas protectoras de los suelos agrícolas, a fin de mantener opciones de desarrollo sostenible.

Es fundamental lo que busca regular en la ley, uno de sus objetivos es lograr un desarrollo sostenible tanto en las áreas protegidas como en las comunidades que habitan dentro o alrededor de las mismas, para que de esta manera se pueda tener una convivencia sana entre los pueblos y el lugar en que viven. El Estado debe y está obligado a proteger la naturaleza por derecho que poseen todos los recursos naturales en especial el mangle en todas sus especies.

Decreto Legislativo No. 101-96, Ley forestal, de fecha 12 de diciembre de 1996.

En la que se declara de urgencia nacional y de interés social la reforestación y conservación de los bosques, para lo cual se propiciará el desarrollo forestal y su manejo sostenible, mediante el cumplimiento de algunos objetivos como: “Incrementar la productividad de los bosques existentes, sometiéndolos a manejo racional y sostenido de acuerdo a su potencial biológico y económico, “Conservar los ecosistemas forestales del país, a través del desarrollo de programas y estrategias que promuevan el cumplimiento de la legislación respectiva”.

Se resalta en la presente ley, evidente que si no existiera una ley que controle en el uso de los recursos naturales terminaremos consumiendo todo lo que está a nuestro alrededor, por lo que es necesaria para regular el consumo en los bosques y así darle una sustentabilidad y mantener el equilibrio, es por tal razón que la realización de investigaciones y especialmente estudios de índice de crecimiento y distribución horizontal del bosque de manglar en parcelas permanentes de muestreo son muy necesarios.

Decreto Legislativo No. 2-2015. Ley de fomento al establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosques, de fecha 17 de marzo de 2015.

Que la Constitución Política de la República de Guatemala declara de urgencia nacional y de interés social la reforestación del país y la conservación de los bosques y establece como obligación del Estado, adoptar las medidas que sean necesarias para la conservación, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales en forma efectiva. Para dar cumplimiento a esa disposición Constitucional PROBOSQUE, establece que la aplicación de la presente Ley está bajo la competencia del Instituto Nacional de Bosques.

Uno de los objetivos principales de la Constitución Política de la República, es garantizar la vida de la población y para poder lograrlo también es fundamental la

protección, recuperación y restauración del entorno, teniendo esto en cuenta, se puede decir, que sin la naturaleza no podemos existir, para ello es muy necesarias las leyes de este tipo que regulen, controlen y promuevan el cuidado a nuestro medio natural, así como lo ha estado haciendo el Instituto Nacional de Bosque (INAB).

Resolución Legislativa No. 01.43.2005. Ley forestal especificaciones de manejo forestal y regeneración natural, de fecha 06 de diciembre de 2005.

- **Artículo 52.** Especificaciones de manejo forestal y regeneración. El manejo forestal deberá contemplar las cuatro etapas siguientes:

a) Planificación: que incluye la elaboración del inventario, Plan de Manejo Forestal y planes operativos;

b) Aprovechamiento: que incluye, la localización de la extensión a aprovechar, la planeación de la infraestructura necesaria para el aprovechamiento, el transporte y consideraciones acerca de la tala;

c) Silvicultura: que incluye, la determinación de los sistemas de regeneración del bosque y el tipo y secuencia de tratamientos silviculturales a aplicar a fin de favorecer el máximo rendimiento.

d) Protección: que incluye, todas las medidas necesarias para eliminar o reducir el riesgo e implementar el control del ataque de plagas y enfermedades, incendios forestales, talas ilícitas, y otros aspectos que atenten contra el manejo forestal sostenible.

La regeneración del bosque, con miras a mantener una cobertura forestal altamente productiva en las tierras forestales, podrá basarse en una o la combinación de las actividades siguientes:

a) Regeneración natural: establecida a través de la semilla proveniente de árboles semilleros, del banco de semillas del suelo, del manejo de rebrotes de especies deseables o de la combinación de estos.

b) **Regeneración artificial:** que puede ser establecida por la dispersión dirigida de semillas, establecimiento de plantaciones puras, plantaciones de enriquecimiento, sistemas agroforestales u otra práctica que sea promisoría en el sitio a regenerar.

El manejo forestal no solo implica el aprovechamiento de los bosques, sino que conlleva una serie de procesos a que se deben verificar para poder adquirir los productos deseados, la ley tiene bien resaltados los lineamientos a seguir en el artículo 52, lo que busca este apartado es que controlar el consumo excesivo en las masas forestales así de esta manera se pueda tener un equilibrio en lo que se consume y lo que se le aporta, porque todos necesitan cumplir su espacio de crecimiento y desarrollo.

Reglamento Gubernativo No. 8-2019, para el manejo sostenible del recurso forestal del ecosistema manglar, de fecha 13 de mayo del año 2002.

● **Artículo 2**

El presente Reglamento tiene por objeto regular la protección, conservación, restauración y el manejo sostenible del recurso forestal en el ecosistema manglar.

Para el Ámbito de aplicación. El presente Reglamento es de aplicación general y sus disposiciones rigen en todo el territorio de la República de Guatemala

● **Artículo 4**

Los objetivos del presente Reglamento son los siguientes:

1. Contribuir a la protección, conservación y restauración del patrimonio natural de la Nación.
2. Regular el manejo sostenible del recurso forestal en el ecosistema manglar.
3. Promover la investigación para la protección, conservación, restauración y el manejo sostenible del recurso forestal en el ecosistema manglar dentro y fuera de áreas protegidas.

4. Fomentar la restauración en áreas degradadas del ecosistema manglar que permita recuperar, aumentar y mantener los servicios ecosistémicos.
5. Impulsar el establecimiento de plantaciones forestales, preferentemente con especies nativas, que disminuyan la presión sobre el manglar.
6. Promover la participación del estado, municipalidades y los habitantes de la república en relación con el manejo sostenible del recurso forestal en el ecosistema manglar.

Este reglamento permite la realización de proyectos relacionados con el manejo y conservación de los manglares por lo que ampara la ejecución de la investigación como lo es el índice de crecimiento y distribución horizontal del bosque del ecosistema manglar en parcelas permanentes de muestreo en áreas tanto nacionales, comunitarias y privadas, que forman parte del área protegida Manchón Guamuchal ubicado en la costa sur del país de Guatemala.

- **Artículo 29. Evaluación constante del bosque manglar.** Para asegurar la gestión sostenible del recurso forestal en el ecosistema manglar, el INAB y el CONAP, junto con otras entidades competentes, impulsarán la gestión de recursos para realizar el inventario forestal y la evaluación constante del bosque manglar. El CONAP impulsará las evaluaciones ecológicas en el ecosistema manglar.

Se debe con urgencia realizar investigaciones que contribuyan específicamente en la elaboración de índice de crecimiento y distribución horizontal del bosque de manglar en parcelas permanentes de muestreo, para poder dar cumplimiento a este artículo y permitir que las instituciones del esta de Guatemala, velen y protejan las especies que por sus usos proporcionan beneficios ecosistémicos a la población siendo ellos: leña, madera para construcción, reglas y tablonés.

- **Artículo 30. Investigación.** El INAB y el CONAP fomentarán, en coordinación con las demás entidades académicas e instituciones competentes, la investigación científica, sistematización, socialización y publicación de información que

promueva la adecuada comprensión de las funciones ecológicas y valores del ecosistema manglar para fundamentar la toma de decisiones institucionales.

Las instituciones de gobierno específicamente con atención a ecosistemas manglares deben elaborar inventarios forestales, índices de crecimiento y otras investigaciones, esto con el propósito de proteger y conservar el mangle rojo, negro y botoncillo ubicado en el litoral de Guatemala. Con la realización de estos estudios se podrá garantizar un mejor manejo de estas áreas, como también la protección y conservación del ecosistema manglar que tanto necesita los bosques nacionales.

Decreto Legislativo No. 4-88. Ley del Consejo Nacional de Áreas Protegidas y Política Nacional de Humedales de Guatemala, de fecha 26 de enero de 1988.

La Política Nacional de Humedales se ha formulado en cumplimiento al mandato legal y político vigente en el país, partiendo de la Constitución Política de la República, que declara en el artículo 64, que es de interés nacional la conservación, protección y mejoramiento del patrimonio natural de la Nación. La ley de áreas protegidas, Decreto 4-88, establece en su capítulo II, artículo 5, que es objeto del Estado:

- a) Asegurar el funcionamiento óptimo de los procesos ecológicos esenciales y de los sistemas naturales vitales para el beneficio de todos los guatemaltecos.
- b) Alcanzar la capacidad de una utilización sostenida de las especies y ecosistemas en todo el territorio nacional.
- c) Defender y preservar el patrimonio nacional.
- d) Lograr la conservación de la diversidad biológica del país.

A su vez, se toma como fundamento el párrafo 1 del artículo 3 de la Convención, ratificada mediante la ley 4-88 del Congreso de la República, que los países firmantes deberán elaborar y aplicar su planificación de forma que favorezca la conservación y el uso racional de los humedales; y la Recomendación 4.10 y Resolución 5.6 de la Conferencia de las partes, que contienen las directrices

para la aplicación del concepto de uso racional y en particular insta a los países a elaborar y aplicar políticas nacionales de humedales como paso importante para lograr el uso racional.

La política nacional de humedales busca regularizar y optimizar el uso de los recursos que proporcionan los bosques, también tiene como objetivo la protección de todo el ecosistema de manera que se puede garantizar la sostenibilidad de este tipo de áreas, esto incluye la vida de la flora y fauna que en estos habitan. La realización de estudios que brinden información del crecimiento del bosque o su distribución de forma anual es un gran aporte para poder dar cumplimiento a los objetivos que se buscan en estas políticas.

Capítulo II

2.1. Planteamiento del problema

Los manglares de Guatemala han sufrido grandes alteraciones desde mediados de la década de 1950. Primero la agricultura, después la ganadería, así como también la industria camaronera y turística desordenada, han contribuido a que este ecosistema esté entre los más amenazados del país. A estos problemas se suma la impunidad por los delitos en contra del manglar y la falta de investigaciones que proporcionen información relacionada con el crecimiento del bosque, su distribución y su dinámica a través de los años.

Una de las principales causas de la pérdida de manglar en el país ha sido el cambio de uso del suelo. Las cuatro clases de mangle que existen en dicho territorio, (*Rhizophora mangle* L, *Avicennia germinans*, *Conocarpus erecta*, *Laguncularia racemosa*), están incluidas en el informe del listado de especies en peligro en Guatemala, específicamente en la Lista Roja de flora amenazada de extinción. Sin embargo, a pesar de que la ley forestal lo prohíbe de manera explícita, todos los años se destruyen más de 500 hectáreas de este ecosistema.

Los sitios que forman parte del convenio Ramsar de la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas se designan porque cumplen con las características de interés. El primer criterio se refiere a los lugares que son representativos, raros o únicos. La reserva Manchón Guamuchal es un sitio con categoría ya establecida, esto lo hace un bosque único en Guatemala, esta es una de las razones que lo convierte en un área con alto valor para la realización de investigaciones que aporten información para lograr un manejo sustentable del ecosistema.

En el país existen comunidades que habitan en los alrededores de los ecosistemas manglares y utilizan los recursos sin ningún control alguno, para poder satisfacer algunas necesidades tales como pesca y leña, es por tal razón que, es muy necesaria la implementación de técnicas de manejo sustentable que se basen en criterios

surgidos de investigaciones realizadas en el área a investigar. Los resultados de este trabajo pueden ser una herramienta para la realización de estrategias.

El presente trabajo tiene como fin comparar el crecimiento en volumen del bosque con su distribución territorial en los distintos periodos de tiempo, esto permitirá analizar si los trabajos realizados en la reserva han tenido un buen o mal resultado. El motivo de que esté evaluado por año es para facilitar la identificación del periodo en que se obtuvo mejores resultados e identificar qué intervenciones tuvo el manglar.

En el Instituto Nacional de Bosques INAB se conoce la extensión y distribución de los manglares a nivel nacional del año 2006, como herramienta base de planificación.

De acuerdo con las problemáticas encontradas se plantean las siguientes interrogantes:

¿Cuál sería la relación entre el índice de crecimiento y la distribución horizontal del bosque Manglar, en los años del 2011 al 2020 en el Manchón Guamuchal?

¿Qué área posee el bosque manglar en los periodos del año 2011 al 2020 y su relación con la dinámica que ha tenido la masa boscosa?

¿Cuánto ha alcanzado el índice crecimiento medio anual del bosque manglar basándose en los datos de las parcelas permanentes en el periodo de 2011 al 2020?

¿Cómo ha sido el índice de vegetación (NDVI) del bosque manglar, para su distribución horizontal en el humedal?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Analizar la relación entre el índice de crecimiento y la distribución horizontal del bosque de manglar, en los años del 2011 al 2020 en el Manchón Guamuchal, mediante análisis espectral de imágenes del sensor LANDSAT utilizando sistemas de información geográfica.

2.2.2. Objetivos específicos

- Cuantificar el área del manglar en los periodos del año 2011 al 2020 y analizar la dinámica que ha tenido en estos años el bosque de manglar, mediante análisis espectral de imágenes del sensor LANDSAT utilizando sistemas de información geográfica.
- Determinar el índice de crecimiento medio anual del bosque de manglar con base a los datos de las parcelas permanentes en el periodo de 2011 al 2020.
- Calcular el índice de vegetación (NDVI) del bosque manglar, para determinar su distribución horizontal en el humedal, mediante análisis espectral de imágenes del sensor LANDSAT.

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis nula

Los resultados del análisis espectral de imágenes del sensor LANDSAT indican que la distribución horizontal no depende del índice de crecimiento del bosque manglar en parcelas permanentes de muestreo (2011-2020).

2.3.2. Hipótesis alternativa

Los resultados del análisis espectral de imágenes del sensor LANDSAT indican que la distribución horizontal depende del índice de crecimiento del bosque manglar en parcelas permanentes de muestreo (2011-2020).

2.4. Variables

2.4.1. Identificación de variables

Independiente

Variable: Índice de crecimiento forestal

Indicadores a. Incremento corriente anual: **Subindicadores**

- Volumen por hectárea
- Área basal por hectárea

b. Densidad por hectárea:

- Número de árboles por hectárea

Dependiente

Variable: Distribución horizontal de la especie

Indicadores: Índices de vegetación y clasificación supervisada

Subindicadores

- Mapas de cobertura vegetal
- Rangos de NDVI de imagen ráster multibanda

2.4.2. Identificación de variables

2.4.2.1 Índice de crecimiento forestal

Se refiere al incremento de factores naturales, siendo estos el volumen, la altura y área basal del bosque manglar en los distintos años que se analizaran en un bosque determinado. Esta variable nos indicará el aumento o disminución del bosque en cada año expresado en metros cúbicos (m^3). Los indicadores que nos permitirán determinar esta variable son, el volumen en m^3 y la densidad que se expresa en m^2 por hectárea.

2.4.2.1.1 Incremento corriente anual (ICA)

Es el crecimiento que logra un árbol o un rodal en el curso de un año. O dicho en otros términos es el promedio anual del incremento total; se obtiene dividiendo las dimensiones de un árbol o un rodal entre su edad algunas veces.

a) Volumen por hectárea

Volumen total de los árboles vivos de una determinada superficie forestal o tierra boscosa cuyo diámetro a la altura del pecho supera un valor determinado. Normalmente se mide en metros cúbicos sólidos (m^3), para luego equivalerlos a las hectáreas calculadas.

b) Área basal por hectárea

El área basal es definida como la suma por unidad de superficie de todos los fustes a nivel del DAP, es otra expresión combinada de DAP y número de árboles por unidad de superficie es directamente deducible el diámetro cuadrático medio.

2.4.2.1.2 Densidad por hectárea.

La densidad es un indicador confiable del grado de ocupación del arbolado de un lugar y tiempo específicos, además es una de las pocas variables que representan, de manera sencilla y objetiva la estructura de áreas forestales.

a) Número de árboles por hectárea

En un marco de plantación cuadrado o rectangular: multiplica las distancias del marco de plantación. Por ejemplo, en un cuadrante de 7x7 cada árbol ocupará 49m². Por tanto, tenemos que dividir 10,000 entre 49, lo que nos da como resultado 200 árboles por hectárea.

2.4.2.2 Distribución horizontal de la especie

La distribución horizontal en el territorio se estimará por medio de teledetección, con la elaboración de mapas de índice de vegetación (NDVI) y clasificación supervisada, en donde se identificarán las áreas con cubiertas de flora, suelos sin cubierta vegetal y cuerpos de agua. Determinando así la estructura que se refiere a la cobertura del estrato leñoso sobre el suelo a lo largo del tiempo. Estos datos permitirán demostrar si el bosque ha aumentado o disminuido su extensión.

2.4.2.2.1 Índices de vegetación y clasificación supervisada

Son combinaciones de las bandas espectrales registradas por los satélites de Teledetección, cuya función es realzar la vegetación en función de su respuesta espectral y atenuar los detalles de otros elementos como el suelo, la iluminación, el agua, se trata de imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales.

a) Mapas de cobertura vegetal

Es un mapa en el que se cartografía la vegetación real, representándose además su dinamismo, fisionomía y heterogeneidad, elaborada en los últimos cuarenta

años, que permite la consulta y estudio de los cambios en el paisaje vegetal, con las lógicas cautelas por la variada procedencia de la información.

b) Rangos de NDVI de imagen ráster multibanda

Es la clasificación de bandas que hace referencia a la tarea de extraer clases de información de una imagen ráster multibanda. El ráster resultante de la clasificación de imagen se puede utilizar para crear mapas temáticos. Dependiendo de la interacción entre el analista y el equipo durante la clasificación, existen dos tipos de clasificación: supervisada y no supervisada.

2.5. Operacionalización de las variables

Tabla 5. Operacionalización de variables.

Variables		Indicadores	Subindicadores	Herramientas	
				Boleta de campo	Método
Independiente	Índice de crecimiento forestal	Incremento medio anual	Volumen por hectárea	Parcelas de muestreo	
			Área basal por hectárea		
		Densidad por hectárea	Número de árboles por hectárea		
Dependiente	Distribución horizontal de la especie	Índices de vegetación y clasificación supervisada	Mapas de cobertura vegetal		Procesamiento de imágenes satelitales
			Rangos de NDVI de imagen ráster multibanda		Combinación de bandas multiespectrales

Fuente. Elaboración propia, operacionalización de las variables, 20 de noviembre del año 2019

2.5. Alcances

2.5.1 Geográfico

Geográficamente esta investigación proporcionará una optimización en la toma de decisiones para el manejo del bosque de manglar, específicamente en la reserva de Manchón Guamuchal. Servirá como una herramienta que facilitará el análisis del ecosistema, por su magnitud permitirá evaluar extensiones grandes de terreno, la información que se obtendrá accederá también realizar otros tipos de estudios.

2.5.2. Social

La magnitud de los resultados de este estudio puede ser de gran alcance, su aporte a la conservación del ecosistema es de importancia, hay que tomar en cuenta también que si bien tiene grandes aportes estos dependen de su aplicación, se debe mencionar la optimización de los recursos del bosque, esta investigación permitirá saber cuánto está creciendo el manglar en un periodo de tiempo.

2.5.3. Temporal

Esta investigación tiene una temporalidad indefinida, porque el tema a investigar es fundamental en el estudio sobre índice de crecimiento, debido a la importancia que conlleva la distribución horizontal de los humedales, en este caso del manglar; permite mejorar el manejo en el desarrollo del bosque.

2.6. Limitantes

2.6.1 Financieras

Una de las grandes limitantes financieras es la obtención de datos, dado que el acceso al bosque de manglar solo se obtiene con permiso de los ingenios o propiedades privadas, a través de la institución que esté a cargo del área protegida.

Esta limitante implica inversión de tiempo y recursos, tomando en cuenta que el o los encargados de las instituciones tendrían que gestionar los permisos de ingreso a las fincas esto podría retardar los tiempos planificados.

2.6.2. Geográfico

Una de las grandes limitantes en el estudio del bosque de manglar es su ubicación, siendo un humedal y área protegida el acceso a él no es sencillo y la obtención de datos se limita a estar sujeta a una institución.

2.6.3. Social

Una gran extensión de los bosques de manglar se encuentra ubicados dentro ingenios azucareros o fincas privadas, Esta es una limitante que no permite el fácil acceso a la obtención de datos del bosque. También hay que mencionar que las características de estos sitios se prestan para actividades del narcotráfico.

2.7 Aportes

2.7.1 Técnico

Como aporte técnico se puede mencionar que la investigación, será una herramienta para hacer análisis futuros del ecosistema manglar, también permitirá su adaptación para poder realizarse en otros ecosistemas forestales. Fortalecerá la optimización del manejo de los datos que se recaben cada año en los manglares.

2.7.2. Social

Socialmente este trabajo tendrá aportes a largo plazo, depende de su aplicación por parte de las autoridades correspondientes, uno de ellos es la información del índice de crecimiento del bosque de manglar, en años futuros las instituciones puedan fortalecer el manejo forestal en estas áreas y así de esta manera la población obtendrá más acceso a los recursos del ecosistema. La investigación está dirigida específicamente a calcular el aumento del mangle tanto en volumen como en espacio territorial, esto también permitirá al ente encargado de la zona poder conocer el incremento de la

misma, cada año se podrá optimizar el aprovechamiento de los árboles y tener una mejor toma de decisiones.

2.7.3. Profesional

La combinación de los datos de las parcelas permanentes de medición y el análisis de imágenes satelitales optimizará la forma de manejar el manglar, siendo esta de acceso limitado y de gran extensión la teledetección permitirá examinar grandes extensiones de una manera remota. Se podrá conocer el comportamiento del bosque tanto su crecimiento en volumen como su expansión o disminución en área. Todo esto contribuirá a dar un aporte a la población departamental, nacional y del país.

Capítulo III

3.1. Metodología

3.1.1. Enfoque de la investigación

La indagación que se propone realizar tiene un enfoque mixto, esto debido a que las variables a medir tienen características cuantitativas y cualitativas como, altura del fuste, DAP y de raíces, imagen ráster, las cuales serán analizadas mediante un proceso estandarizado con instrumentos confiables, uno de ellos es la realización de un inventario forestal de las parcelas de medición permanente del instituto nacional de bosque (INAB) y el procesamiento de las imágenes satelitales a través del software Qgis 3.10 que es el sistema líder sig. de open source (código abierto).

3.1.2. Tipo de investigación

La investigación es de tipo diacrónica o longitudinal, porque permite el análisis de los datos de las parcelas permanentes de medición del instituto nacional de bosques (INAB) se han medido por varios años y con el procesamiento de estos se pretende hallar el índice de crecimiento del bosque de manglar en el lugar conocido como Manchón Guamuchal

3.1.3 Método

El método de la investigación será el lógico inductivo, debido a que permite ser el medio de la observación, a la vez se analizarán las imágenes satelitales para poder determinar la dinámica del bosque de mangle en el periodo del 2011 al 2020 y se correlacionará los datos que se obtengan del análisis del inventario. Además, el resultado dará respuesta a la hipótesis planteada en este estudio.

3.1.4. Técnicas e instrumentos

Para esta investigación se utilizaron las siguientes técnicas.

3.1.4.1 Consultas bibliográficas

Se recabarán datos mediante la consulta de distintos textos tales como, libros, tesis, págs web y publicaciones, tanto físicas como digitales, dicha información servirá para desarrollar las características del proceso de investigación.

3.1.4.2. Boletas de campo

Instrumento que se utilizará para la recolección o rectificación de algún dato que sea necesario o que falte en la base de datos de las parcelas de medición permanente del instituto nacional de bosque (INAB)

3.1.4.3. Mapas

Estos servirán para demostrar los resultados de los análisis que se realizarán con el sistema de teledetección, en dichos mapas se demostrará la dinámica que ha tenido la distribución horizontal del bosque de manglar en el periodo del 2011 al 2020.

3.1.4.4 Teledetección

La teledetección permitirá procesar las imágenes satelitales que proporcionarán parámetros necesarios para la realización de la investigación, estos datos darán respuesta a la distribución horizontal del bosque de mangle en el periodo del 2011 al 2020.

3.1.4.5. Imágenes satelitales

Las imágenes del satélite LANDSAT 8-8 servirán para poder realizar las combinaciones RGB y obtener el índice de vegetación del manglar, con los resultados se podrán trabajar los mapas que demostrarán la dinámica del bosque en cada periodo.

3.1.5. Muestreo

El muestreo se realizará de dos maneras, por un lado, será combinado (probabilístico y no probabilístico) dado que para examinar las imágenes satelitales se utilizará el área total de Manchón Guamuchal con una extensión de 13,942.11 hectáreas y para el análisis del índice de crecimiento se usarán las parcelas

permanentes de medición del instituto nacional de bosque (INAB), con una de dimensión de 500 m² con un total de 28 parcelas de muestreo.

3.1.5.1 Muestreo no probabilístico.

El muestreo no probabilístico indica que el investigador selecciona muestras basadas en un juicio subjetivo en lugar de hacer la selección al azar, para esta investigación se seleccionará el área completa del sitio Manchón Guamuchal (13,942.11 hectáreas) del cual se analizará a través de las imágenes satelitales la dinámica que ha tenido el bosque manglar en los distintos periodos ya antes mencionados.

3.1.5.2 Muestreo probabilístico

El tipo de muestreo probabilístico garantiza que cada unidad de muestreo tenga la misma oportunidad de ser elegido y esto se puede garantizar si se utiliza la aleatorización. Porque las unidades del instituto nacional de bosque están seleccionadas de forma aleatoria.

3.1.5.3. Criterio de aplicación

La población para evaluar estará constituida por el sitio del manchón Guamuchal ubicada entre los departamentos de San Marcos y Retalhuleu, las muestras del estudio corresponden al área total del manglar y a las 28 unidades de muestreo del INAB. Los datos que proporcionan estas parcelas serán procesados estadísticamente para determinar el índice de crecimiento, por otra parte, las imágenes satelitales se utilizarán para realizar los índices de vegetación y de esta manera obtener la distribución horizontal del bosque.

3.1.5.4. Unidades de muestreo

La unidad de muestreo será el área de Manchón Guamuchal que contiene el bosque manglar y las parcelas permanentes de medición del Instituto Nacional de Bosques (INAB).

La unidad de muestreo del instituto nacional de bosques tiene dimensiones de 200. 300 y 500 metros cuadrados será necesario homogeneizar estos datos para poder estimar el índice de crecimiento.

3.1.5.5 Incremento medio anual

Incremento medio anual (IMA): es el promedio anual del incremento total; se obtiene dividiendo las dimensiones de un rodal entre su edad.

a) Fórmula del ICA

Corresponde al promedio de incremento hasta el momento actual. Se calcula dividiendo el valor actual entre el tiempo transcurrido o edad.

$$ICA(\text{volúmenes}) = \text{Volumen inicio de año} - \text{Volumen fin de año}$$

Figura 3. fórmula del ICA.

b) **Fórmula del volumen:** para el análisis de los datos de las parcelas de la categoría latizal y fustal.

$$V = DAP^2 * \left(\frac{\pi}{4}\right) * (H) * (Ff)$$

Figura 4. fórmula de volumen.

Fuente. INAB 2020, pág. 8

Dónde:

V= Volumen total metros cúbicos

DAP²= Diámetro a la altura del pecho expresado en metros cuadrados

$\pi/4$ =es una constante del área de un círculo H= Altura en metros

Ff= Factor de forma.

3.1.5.1. Adquisición de la información.

A pesar de que el avance en la tecnología y la aplicación de herramientas de sistemas de información geográfica ha tenido una infinidad de avances en el área de teledetección y tratamiento de firmas espectrales es notable que su utilización en nuestro país y especialmente en los bosques de manglares ha sido muy poca. Las principales actividades que se plantean para el desarrollo de la investigación se agrupan de la siguiente forma:

En el presente gráfico, se describe en orden evolutivo la consecución de la información necesaria para el estudio.

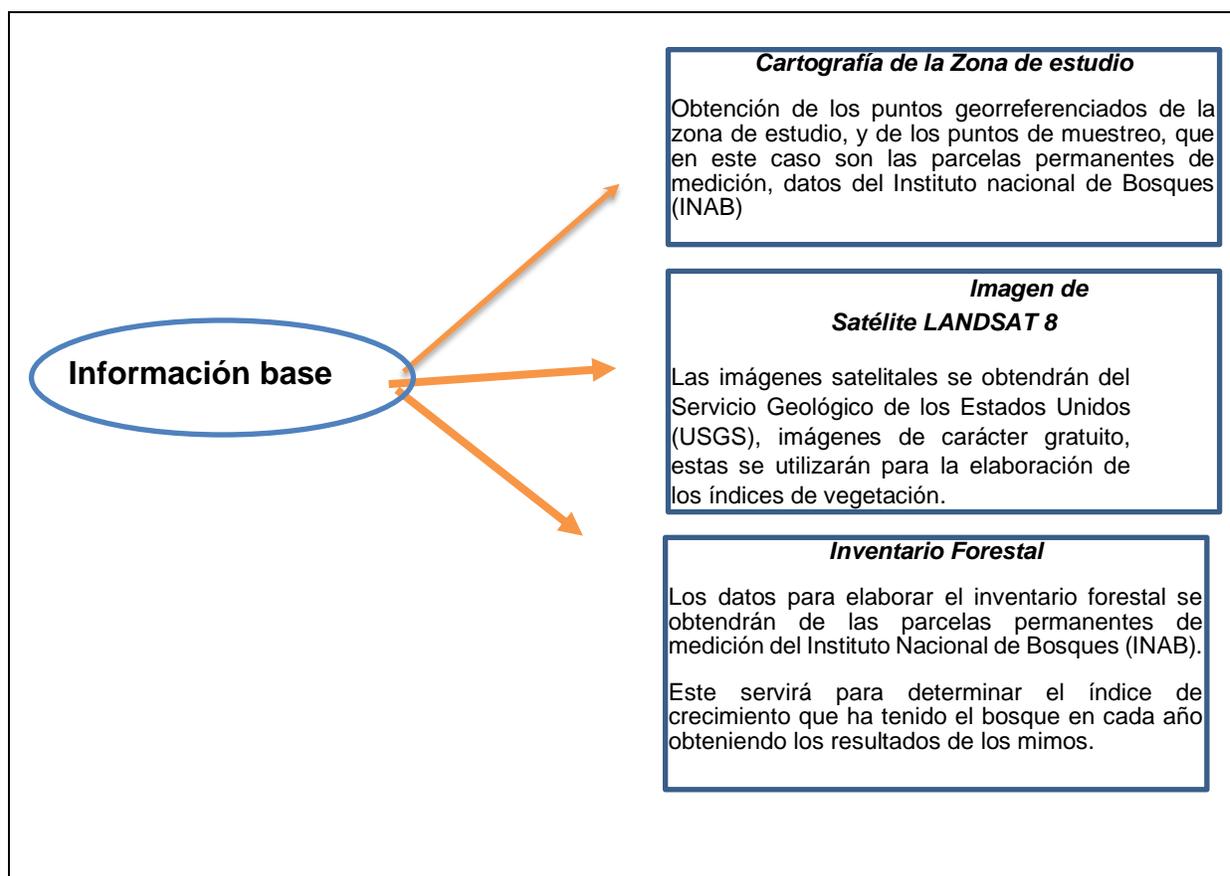


Figura 5. Información Base.

Fuente. Alejandro Lacán, 5 de julio del año 2019.

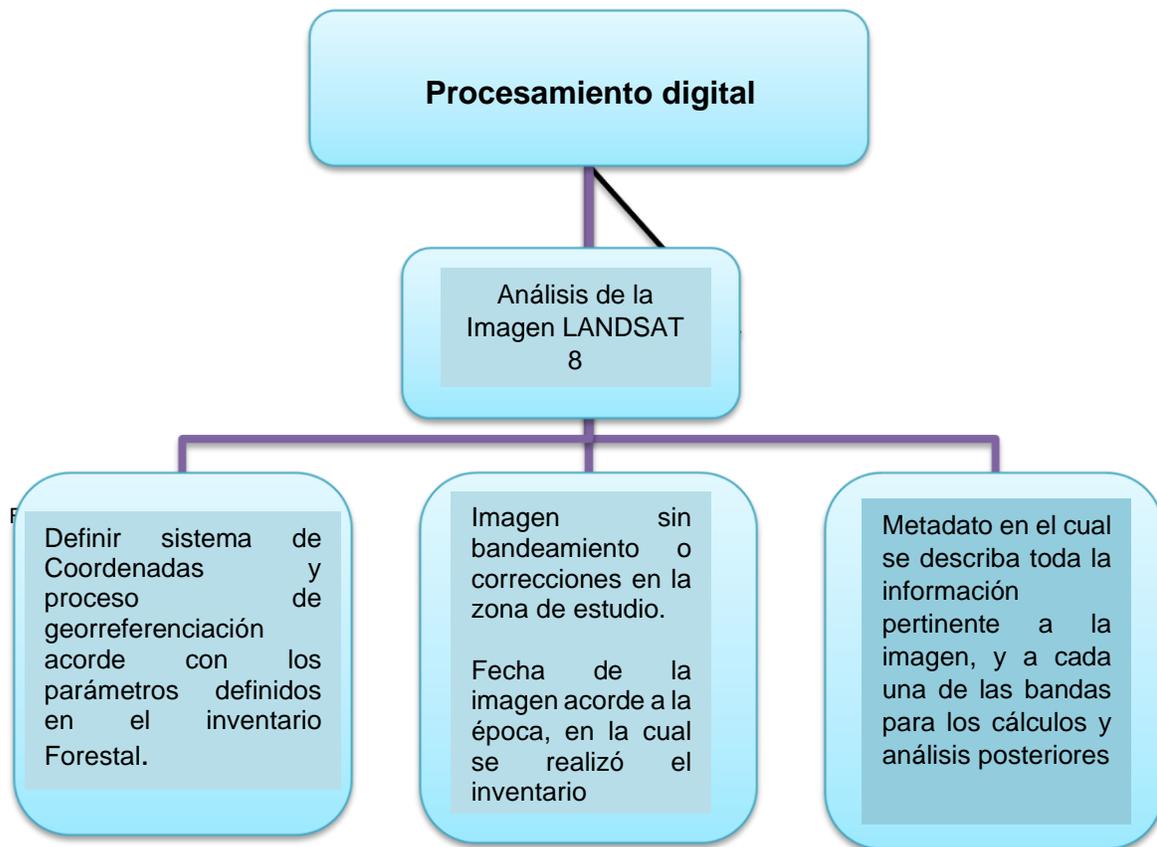


Figura 6. Procesos Iniciales.

Fuente. Camilo Mena, año 2012

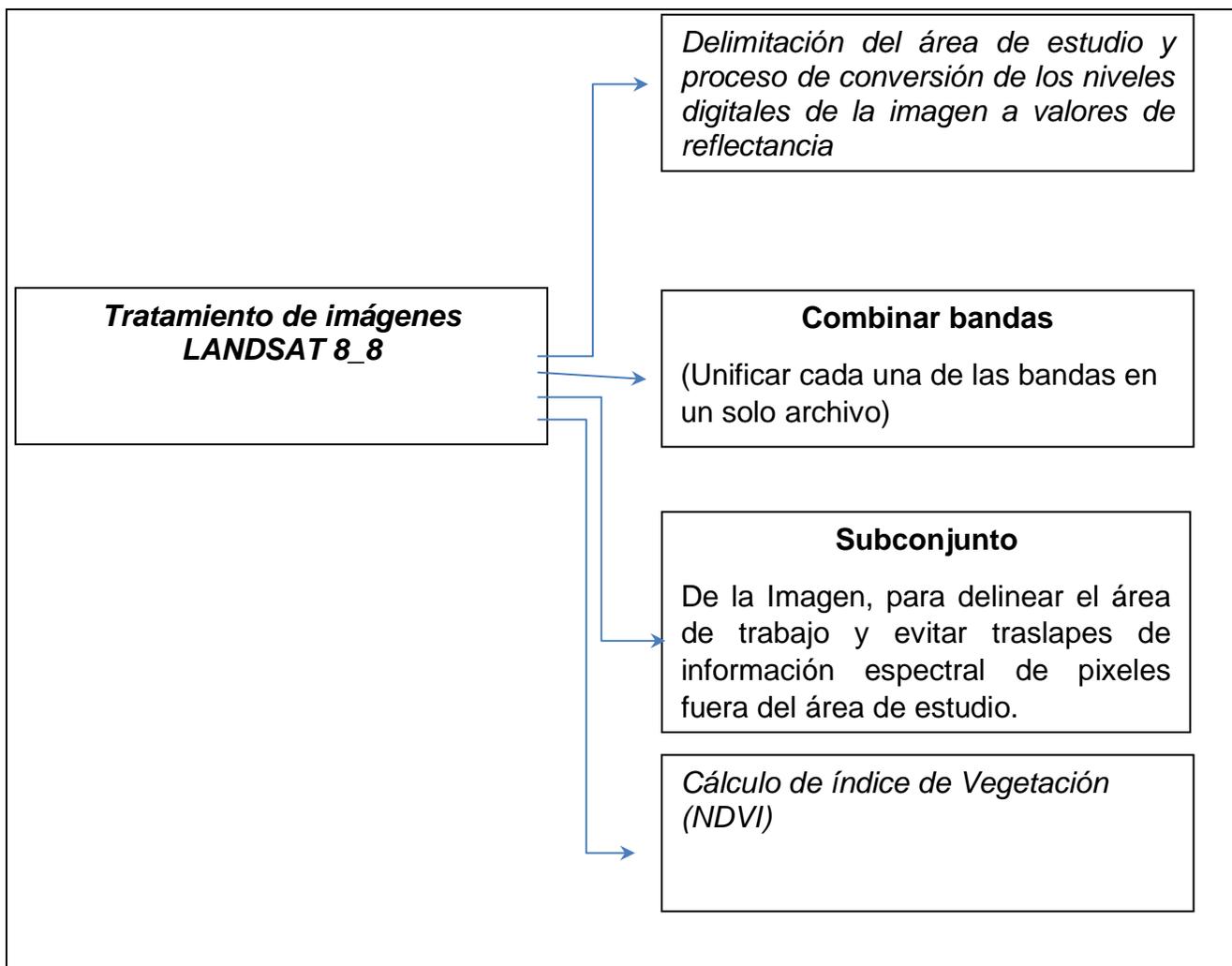


Figura 7. Tratamiento digital.

Fuente. Camilo Mena, año 2012.

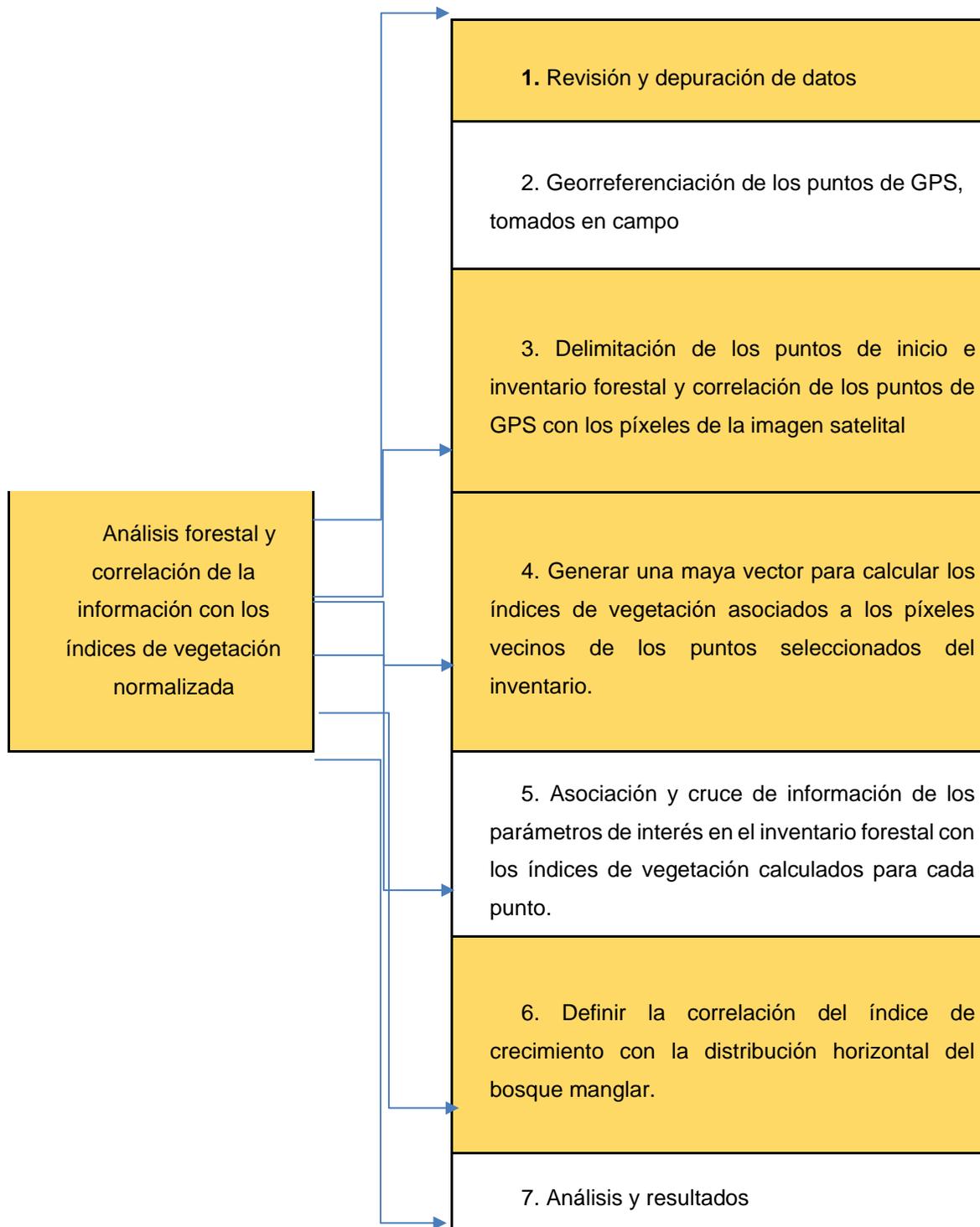


Figura 8. Análisis forestal y correlación de la información.

Fuente. Camilo Mena, año 2012.

3.2. Recursos

3.2.1 Talento humano

Tabla 6. Talento humano.

Talento humano	Cantidad
Asesor DEPS CUNTOTO	1
Tesista CUNTOTO	1
Encargado de Área protegida	1
Piloto	1

Fuente. Elaboración propia, agosto del 2020

3.2.2. Físicos

Se utilizará un GPS de mano para delimitar el área de estudio, los puntos recabados con el GPS serán procesados en el software Qgis, todos los datos que se tomen con el GPS serán con coordenadas GTM y datum Wgs84. la mayor concentración del esfuerzo físico estará centrada en la tabulación y análisis de la información que se obtenga del inventario forestal y del procesamiento de imágenes satelitales.

3.2.3. Financieros

Tabla 7. Análisis financiero.

Fases	Rubros	Materiales y Herramientas	Cantidad	Costo unitario en Q.	Cantidad de jornales de trabajo	Costo Total Q.	
Fase de gabinete	Elaboración del plan de investigación	Computadora	1	7,000.00		7,000.00	
		Cuaderno de notas	1	5.00		5.00	
		Impresora	1	500.00		500.00	
		Internet	1	150.00		150.00	
		Imágenes satelitales	1	500.00		500.00	
	Delimitación del área de estudio	GPS	1	2,500.00		2,500.00	
		Transporte	5 galones de combustible		150.00		150.00
Fase de campo	Trabajo de campo	Obtención de datos de parcelas permanentes INAB		150.00	2	300.00	
		Verificación de datos faltantes		150.00	2	300.00	
		Obtención e imágenes satelitales		150.00	1	150.00	
Fase final de gabinete	Tabulación de datos	Software Office	1	400.00		400.00	
		Hojas bond		35.00		35.00	
		Software Qgis					
		Internet	1	250.00		250.00	
	Entrega de Informes	Hojas impresas			150.00		150.00
		Encuadernados	3	50.00			150.00
	Asesoría		1				18,000.00
Investigador		1				15,000.00	
Total						45,540.00	

Fuente. Victor Alejandro, abril del año 2019.

Tabla 8. Cronograma de actividades.

Actividades	Año 2019								Año 2020								Año 2021											
	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Otubre	Noviembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
	Fase de Gabinete Inicial								Trabajo de campo								Fase final											
Elaboración del punto de investigación	X																											
Entrega del punto de Investigación		X																										
Aprobación del punto de investigación		X																										
Sistematización del plan de investigación	X	X	X	X	X																							
Revisión del plan de investigación y revisión por el asesor						X	X	X	X	X	X	X																
Revisión del plan de investigación ante terna evaluadora													X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
Aprobación del plan para su ejecución																								X	X			
Ejecución de la investigación																								X				
descarga de imágenes satelitales																								X				
delimitación del área de estudio																								X				
procesamiento y análisis de los datos																								X				
análisis finales de resultados																									X			
Correcciones del informe final																									X			
Presentación y entrega de resultados finales																										X		

Fuente. Victor Alejandro Lacán, abril del año 2021.

Capítulo IV

4.1 Resultados

4.1.1 Datos de las parcelas permanentes de medición del Instituto Nacional de Bosque INAB

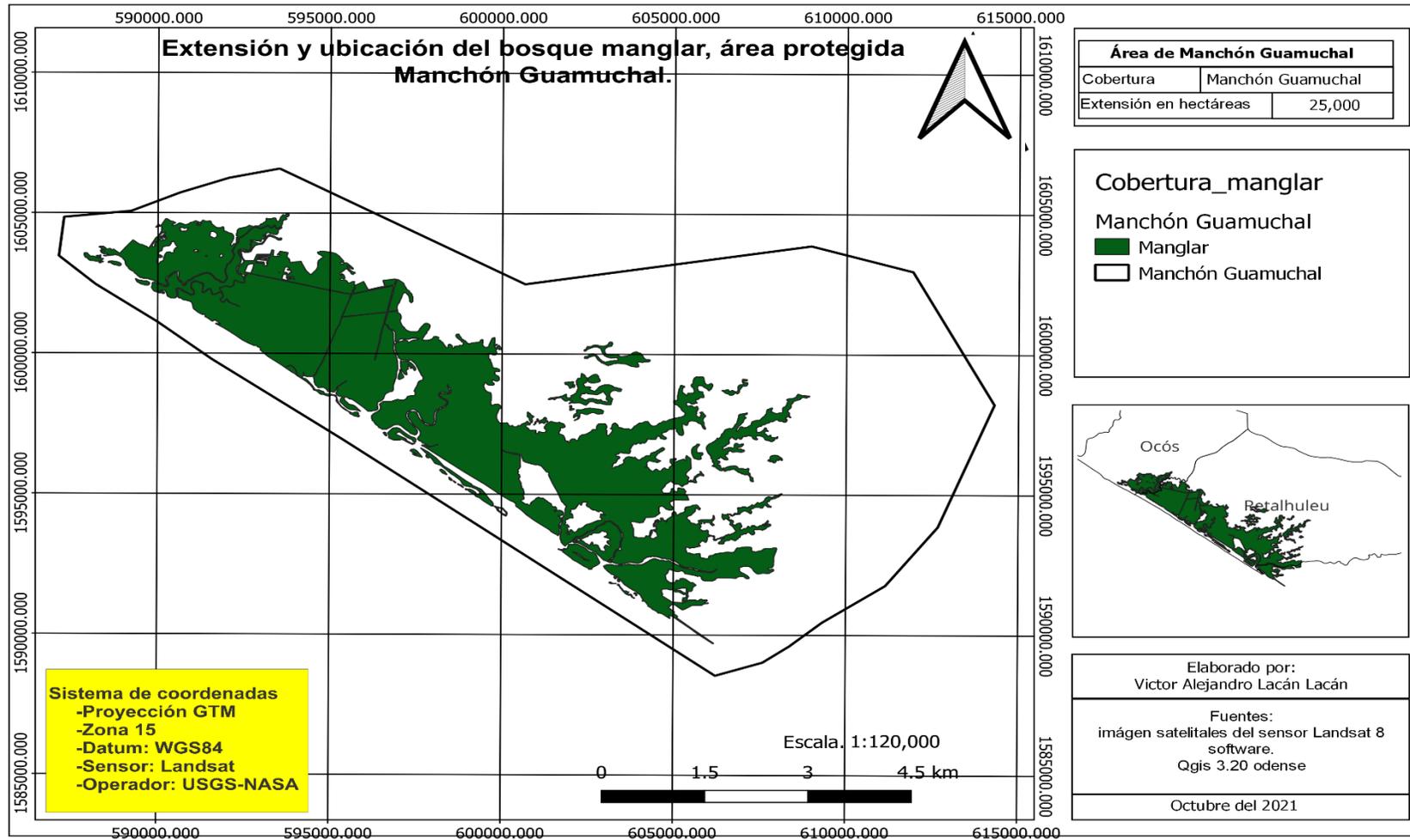
A continuación, se da a conocer los resultados obtenidos del índice de crecimiento y distribución horizontal del bosque de manglar en parcelas permanentes de muestreo (período del 2011-2020), mediante análisis espectral de imágenes del sensor Landsat 8 utilizando sistemas de información geográfica realizada en área protegida Manchón Guamuchal ubicado entre los departamentos de Retalhuleu y San Marcos,

Tabla 9. Datos generales de parcelas de medición permanente INAB.

Ubicación de parcelas	Número de parcelas	Institución
Retalhuleu, Retalhuleu	1	INAB
Retalhuleu, Retalhuleu	2	INAB/AGROACEITE
Retalhuleu, Retalhuleu	10	INAB/CUNTOTO
Ocós, San Marcos	15	INAB/ESTEFFOR
Total	28	

Fuente. Elaboración propia, noviembre del año 2021

El Instituto Nacional de Bosque INAB y su departamento de Ecosistemas estratégicos han instalado en todo el país parcelas de medición permanentes en las áreas con cobertura de mangle. Para fines específicos de este estudio se seleccionó el área del Manchón Guamuchal con una extensión estimada de 25,000 hectáreas, para este sitio se instalaron 28 parcelas permanentes de medición forestal, con un área de 500 m², las mediciones se realizaron con apoyo de otras instituciones, siendo ellas el Centro Universitario de Totonicapán, Agroaceite y Estefor.



Fuente. Elaboración propia, octubre del año 2021.

Figura 9. Mapa de extensión y ubicación del bosque manglar, área protegida Manchón Guamuchal.

En la figura 7 se visualiza la extensión del área de estudio con 25,000 hectáreas y la cobertura manglar del año 2006 en color verde con 6,858 hectáreas, estas muestras reflejan cómo se encuentra dispersa el bosque manglar en área protegida Manchón Guamuchal ubicado en los departamentos de San Marcos y Retalhuleu, otro aspecto considerable es que la cobertura boscosa es densa, debido a la presencia de las tres clases de la especie de mangle.

En 1974 en el Manchón Guamuchal existían 75 km² de bosque manglar, mientras que el bosque manglar de finca Chapan cubría 4.4 km²; el mayor cambio se identificó en el área protegida, puesto que cuantificó 78 km cuadrados de este bosque en 1965 y 42 en 1978, usando fotografía aérea de 1965 y una imagen del satélite ERTS 1 (Landsat 1) de 1978 respectivamente, sin embargo no contaban con las herramientas ofimáticas para analizar las imágenes, por otro lado, el bosque en la finca Chapan no sufrió cambios en este lapso. (Morales, 1979, pág. 59)

Los resultados demuestran que el área protegida de Manchón Guamuchal a través de los años ha perdido varias hectáreas de bosque por la presión que se le da, y sobre todo es que los manglares ofrecen una gran variedad de recursos forestales, tanto industriales como de autoconsumo. Los productos directos de mayor importancia para los pobladores son la leña, el carbón, el material para la construcción de viviendas, forraje, el abono verde, la celulosa para papel, los taninos y tintes respectivamente.

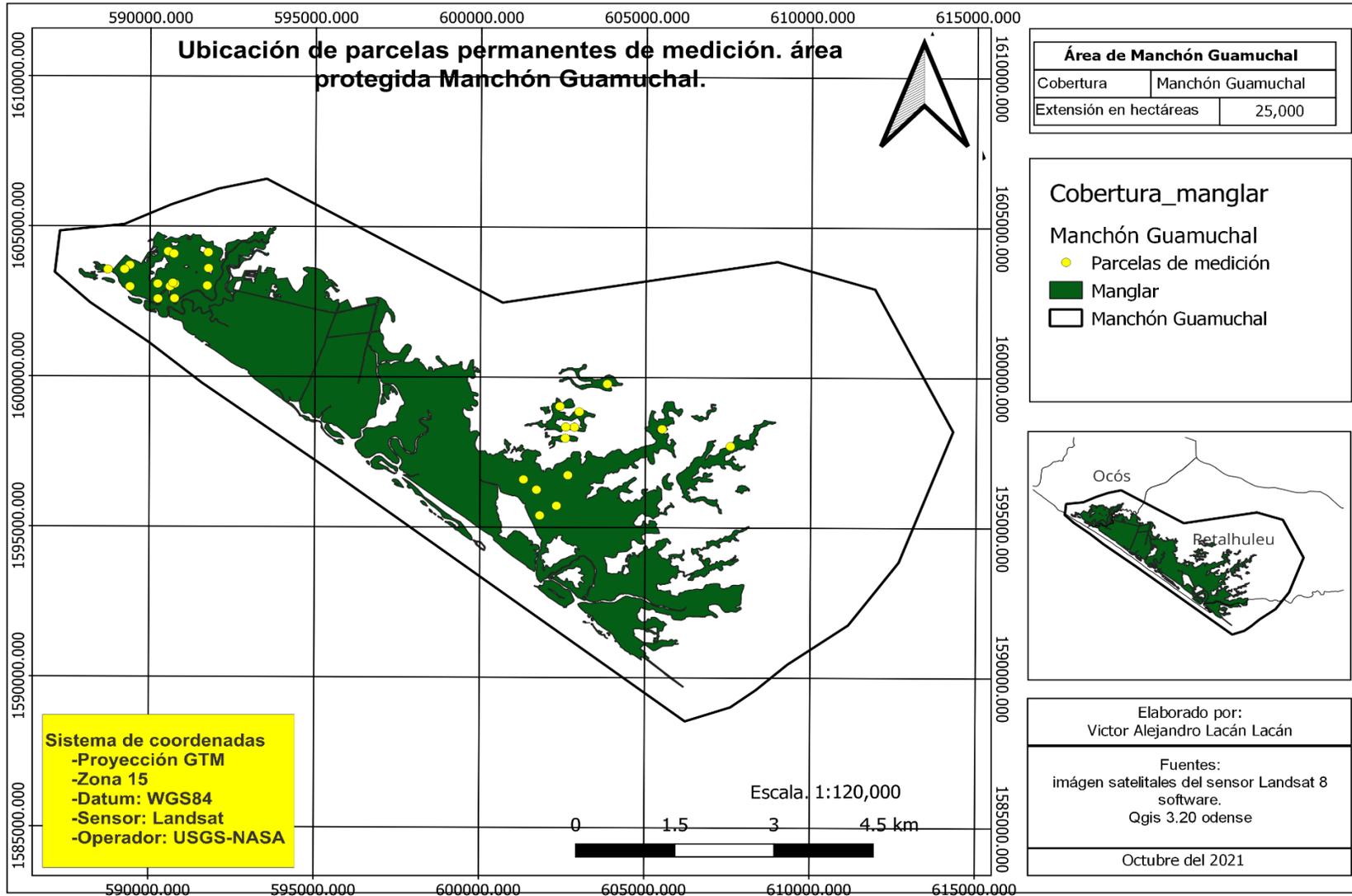


Figura 10. Ubicación de parcelas permanentes de medición, área protegida Manchón Guamuchal.

Fuente. Elaboración propia, octubre del año 2021.

En la siguiente figura se presenta la ubicación de las parcelas permanentes de medición establecidas por el Instituto Nacional de Bosques. Con un total de 28 parcelas distribuidas tal como se describe a continuación; en el municipio de Ocosingo perteneciente al departamento de San Marcos existen 15 que se visualizan en la parte noreste del área protegida y en Retalhuleu se ubican 13 localizadas en las coordenadas sureste de Manchón Guamuchal.

Los manglares de Guatemala han sufrido grandes alteraciones desde mediados de la década de 1950, por tal razón desde el año 1965 se han hecho estudios para cuantificar el área con bosque manglar, empleando para ello las metodologías y recursos disponibles en esos años. Las variaciones en los resultados en las diferentes investigaciones demuestran que no existe una estimación confiable para el bosque manglar, puesto que se tienen estimaciones de 12,000 hectáreas en 1996 y 50,000 en 1980. (FAO, 2005, pág. 95).

Las veintiocho parcelas permanentes levantadas en el área de Manchón Guamuchal se lograron instalar por el Instituto Nacional de Bosques INAB, en donde se ubicaron los puntos de coordenadas geográficas UTM y que a través de su respectiva distribución se logró calcular el volumen por árbol, parcela y de todo el bosque manglar, tal como aparece en el mapa con 25,000 hectáreas.

4.1.2 Datos del muestreo de las parcelas permanentes de medición Manchón Guamuchal, expresado en metros cúbicos por hectárea.

Tabla 10. Volumen promedio anual por parcela.

Parcelas permanentes	
Año	Volumen/hectárea promedio
	m ³ /ha
2011	--
2012	125.80
2013	146.64
2014	176.99
2015	199.93
2016	226.54
2017	233.57
2018	240.42
2019	216.21
2020	95.47
Total	1,661.57

Fuente. Alejandro Lacán, octubre del año 2021.

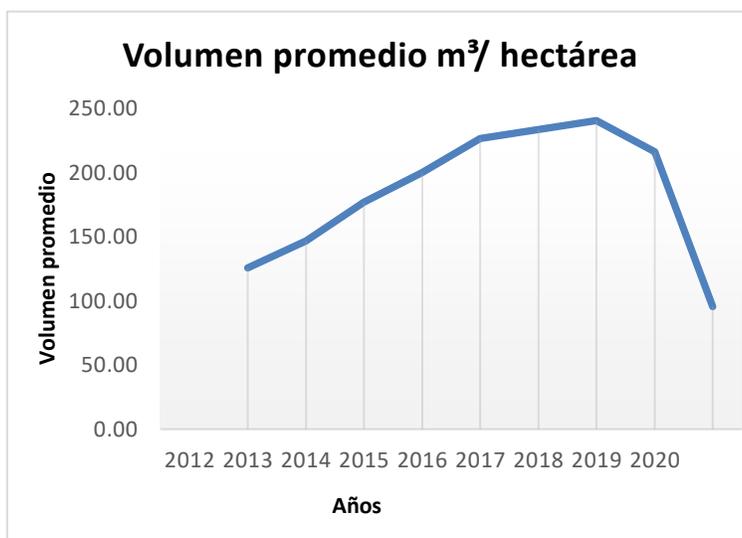


Figura 11. Gráfica del volumen promedio anual en parcelas permanentes de medición forestal

Fuente. Alejandro Lacán, octubre del año 2021.

Como se observa en la tabla diez y figura nueve, se obtuvieron los volúmenes anuales por hectárea promedio de las parcelas permanentes en un período de 10 años a partir del 2011 – 2020; en donde se tomaron los datos de altura y diámetro de los árboles plantados de los cuales se les aplicó la fórmula de volumen y así obtener el resultado de cada año respectivamente, para luego ponderarlas bajo la equivalencia (1 hectárea es igual a 10,000 m³). Para el caso del año 2011 los valores volumétricos de medición forestal quedaron fuera del estudio, las mismas establecidas en ese período no lo contempla el área protegida de Manchón Guamuchal.

En el 2008 no se observaron cambios significativos en este bosque ya que se contabilizaron 76 kilómetros cuadrados de bosque manglar. Al observar la distribución del bosque en los años 2000 y 2008 se identifican áreas donde el bosque desapareció. Aunque solamente

transcurrieron ocho años, es necesario investigar con imágenes captadas entre estas fechas para seguir la evolución de la pérdida de esta parte del bosque. (Espinoza, J, 2008, pág. 60)

En la siguiente gráfica se presentan los resultados con relación al volumen promedio anual del bosque manglar ubicado en el área protegida Manchón Guamuchal, donde se muestra que a partir del primer año analizado 2012 y luego en los subsiguientes existe incremento en la masa forestal, mientras que en el 2019 se visualiza una tendencia de descenso en comparación a los años anteriores, todo esto fue afectado por los comunitarios en la extracción de madera y la venta ilegal del mismo.

4.1.3 Grados de degradación del bosque manglar

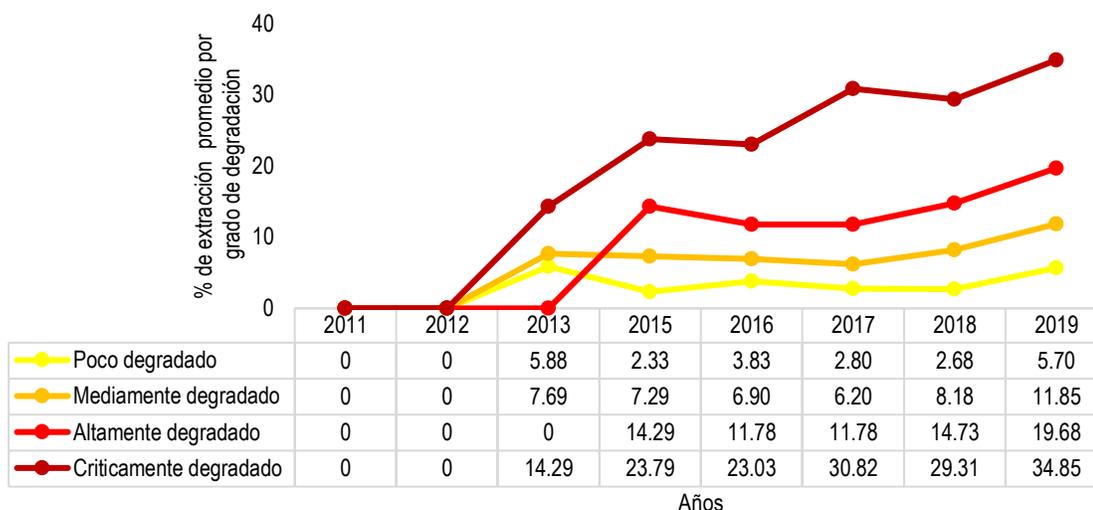


Figura 12. Degradación del ecosistema manglar, por efectos de la deforestación.

Fuente. Base de datos del Sistema de Monitoreo forestal multi propósito del ecosistema manglar de Guatemala, INAB.

En la siguiente figura diez, se hace referencia que el año 2020 no se tiene información sistematizada por parte de la entidad gubernamental porque al obtenerlo implica que más actores participen en la obtención de datos de la decadencia del bosque manglar. Por tal razón presentan sólo en los rangos de los años 2011 al 2019.

Los resultados de la degradación del bosque manglar, al verificar específicamente los años 2011-2012 se evidencia que los pobladores usan de forma ascendente la madera del mangle, todo es por el aumento de la población local, por otro lado, para el primero se estableció dos mientras que para el segundo seis parcelas permanentes respectivamente. En ese período los datos indican que siempre ha intervenido el hombre por su necesidad de construir viviendas de la masa arbórea presente en el área protegida.

La deforestación y la degradación de los bosques son unas de las principales causas de pérdida de biodiversidad, de incremento de emisiones de carbono y de otros gases de efecto invernadero (GEI) (Simula, 2009; Sasaki et al. 2011; Budiharta et al. 2014). Sin embargo, en los últimos años, mientras las tasas de deforestación se han visto reducidas en muchos países, la degradación de los bosques ha aumentado (Budiharta, 2014, pág.. 10).

En coordinación con el Instituto Nacional de Bosques se logra establecer que una actividad específica del porqué no se alcanzó buen incremento es por la tala ilegal, que al final es un factor que más incidencia tiene sobre la degradación de la masa arbórea de los mangles, en muchos casos la misma es un precursor de deforestación, aunque en otras ocasiones los bosques pueden permanecer degradados durante mucho tiempo sin llegar al estado de deforestación.

A partir del 2013 se observa cómo se fue marcando las variaciones de los incrementos de los diámetros de los árboles de mangle en sus diferentes grados empezando desde poco, media, alta y críticamente degradado, todo aunado a los efectos de la deforestación que desencadenan una serie de acontecimientos devastadores tanto a nivel local como también global que al final ocasionan la pérdida de especies, emisiones de carbono, alteración del clima, destrucción del paisaje natural y efectos severos del ciclo del agua.

Los manglares poseen características terrestres y acuáticas, son generalmente vivíparos, es decir que las semillas germinan en el árbol y reciben el nombre de propágulos. Toleran condiciones de extrema salinidad, inundación permanente o temporal, falta de oxígeno en el suelo y de suelos inestables. Estas son adaptaciones que ha desarrollado cada especie en sus raíces, hojas y tallos por lo que cada una tendrá la capacidad de encontrarse en un lugar específico; a esto se le denomina zonación (Benítez, 2007, pág.. 33).

El volumen promedio del área protegida Manchón Guamuchal muestra un decremento en los últimos años analizados, dato que se considera con el porcentaje de degradación que maneja el Instituto Nacional de Bosques INAB. Es notable que la masa boscosa está perdiendo volumen con en el pasar de los años, es necesario implementar estrategias de recuperación que apunten a la conservación de la cobertura manglar, es urgente realizar reforestaciones masivas donde participen los estudiantes, comunitarios respectivamente.

4.1.4 Incremento Corriente Anual (ICA) del bosque manglar del área protegida Manchón Guamuchal

$ICA(\text{volúmenes}) = \text{Volumen inicio de año} - \text{Volumen fin de año}$

Parcelas permanentes		
Año	Volumen/hectárea promedio	Incremento
	m ³ /ha	m ³ /ha
2011	--	--
2012	125.80	--
2013	146.64	1.00
2014	176.99	30.35
2015	199.93	22.94
2016	226.54	26.61
2017	233.57	7.03
2018	240.42	6.85
2019	216.21	-24.21
2020	95.47	-120.74
Total		-50.17

Tabla 11. Datos de incremento corriente anual promedio de parcelas de medición permanentes.

Fuente. Alejandro Lacán, octubre del año 2021.

Para estimar el incremento corriente anual se tomó como año de inicio el 2012, sin embargo al no existir datos del mismo, el crecimiento es notable a partir de 2013, se nota que en los períodos siguientes existe poco desarrollo en volumen del bosque manglar se prolonga hasta el 2017 en donde decae y a partir de allí baja la masa forestal, esto se debe a varios factores que intervienen, siendo ellos los aprovechamientos del bosque a granel, tala ilegal, incendios forestales; se prioriza que el que tiene mayor efecto por su valor volumétrico, es la tala ilegal de los árboles en pie.

La distribución de especies de mangle en el área de protección especial, en donde la mayor densidad y volumen la tiene el mangle rojo *Rhizophora mangle* L.; una densidad de 2,367 árboles con un volumen de 176.23 m³ por hectárea. Seguidamente el mangle blanco

Laguncularia racemosa con 1,085 con una magnitud de 91.7 m³ por hectárea. Después el mangle negro con 228 árboles con un volumen de 69.4 m³ por hectárea. Terminando con el mangle botoncillo ***Conocarpus erecta*** L. teniendo 88 árboles con un volumen de 20.15 m³ por hectárea. (Hernández, 2019, pág.41)

En la siguiente gráfica, se observa como el bosque manglar perteneciente al área protegida Manchón Guamuchal muestra una tasa de crecimiento de -3 % que es un valor negativo en comparación a los primeros años evaluados, y un incremento de -2.88 %, esto indica que de seguir con las condiciones actuales el bosque de manglar seguirá perdiendo volumen en los años futuros. El crecimiento poblacional puede ser uno de los factores que esté influyendo en la degradación del área, se sabe que a mayor número de habitantes mayores serán las necesidades del uso del mangle.

Ecuación 1. Fórmula, tasa de crecimiento.

Tasa de crecimiento medio anual	
Parcelas	
Valor inicial	125.80
Valor final	95.47
N= número de años	0.11
Tasa de crecimiento	-3%
Incremento	-2.88 m ³

$$TC = \left(\left(\frac{\text{Valor final}}{\text{Valor inicial}} \right)^{1/n} - 1 \right) * 100$$

Tabla 12. Tasa de crecimiento.

Fuente: Elaboración propia, noviembre del año 2021.

4.2 Distribución horizontal del bosque manglar en área protegía Manchón Guamuchal

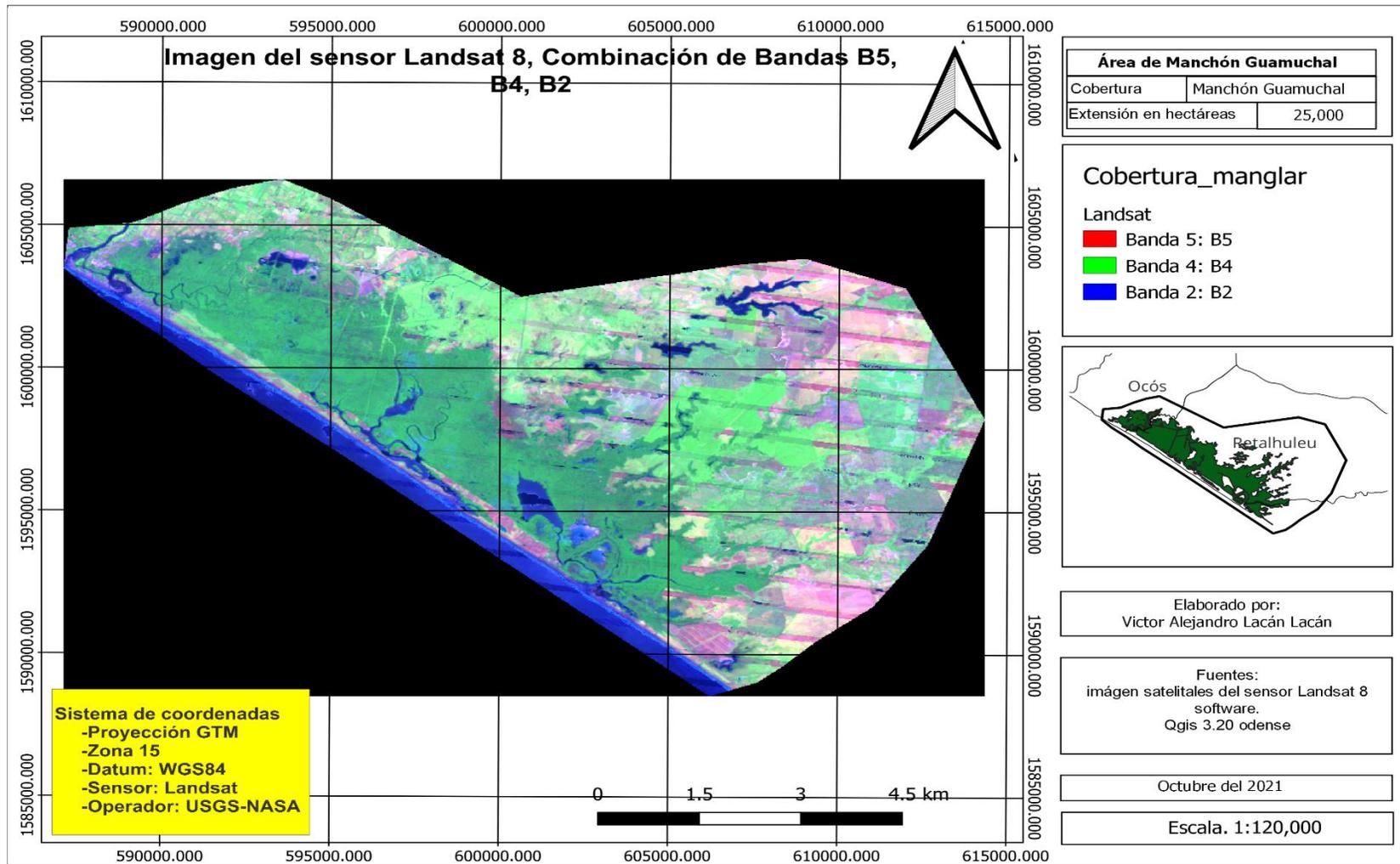


Figura 13. Imagen del sensor Landsat 8, combinaciones de bandas B5, B4, B2.

Fuente. Elaboración propia, octubre del año 2021.

La figura 11 da a conocer, como se presenta el mapa que muestra la cobertura del área de estudio. Para cada año se analizó mostrando tres bandas Landsat 8 ráster con combinaciones de color rojo, verde, azul; las cuales se les realizó una clasificación supervisada y contornos de NDVI que determinó la reflectancia de la vegetación, para el bosque manglar. Se obtuvo de ella un rango de 0.33 a 0.75, también se obtuvo los valores del índice de vegetación iguales y menores a 0, que corresponden a suelos sin cobertura y cuerpos de agua, el resto de zonas no se tomaron en cuenta porque el objetivo del estudio fue determinar la cobertura de la especie manglar en el área protegida del Manchón Guamuchal ubicado en los departamentos de San Marcos y Retalhuleu.

El ojo humano es capaz de distinguir la naturaleza de un objeto por su forma, textura y color, pero el color que percibimos está determinado por cuanta luz de cada región del espectro visible refleja o absorbe cada superficie. Las imágenes digitales obtenidas a partir de la captación de la energía reflejada o emitida por los objetos localizados sobre la superficie terrestre están compuestas por píxeles, los cuales están identificados por un valor numérico, que expresa la respuesta de estos objetos ante una fuente de energía. (Mena C, 2012, pág.. 18)

Las combinaciones de las bandas del censo Landsat 8 permitió identificar la reflectancia de las coberturas del suelo, la vegetación, cuerpos de agua y suelos sin cobertura. La metodología de este estudio admitió la cobertura del bosque manglar del área protegida de Manchón Guamuchal correspondientes a los años del 2011 al 2020, el análisis de cubierta se realizó año por año, esto para que los datos obtenidos fueron específicamente de la especie del mangle.

4.2.1. Rangos de NDVI del área protegida Manchón Guamuchal

Para obtener los rangos de NDVI, se procesaron la banda 4 y la banda 5 del sensor Landsat 8, que corresponden a reflectancia tipo ráster de infrarrojo cercano de color rojo, este proceso se obtuvo imágenes de satélites (ráster) de índices de vegetación con base en esta información geográfica se generaron los contornos por

año, del cual se logró obtener una cubierta más vigorosa que se encuentra en un rango entre 0.33 a 0.75. En la figura que se presenta a continuación se muestran los rangos de NDVI.

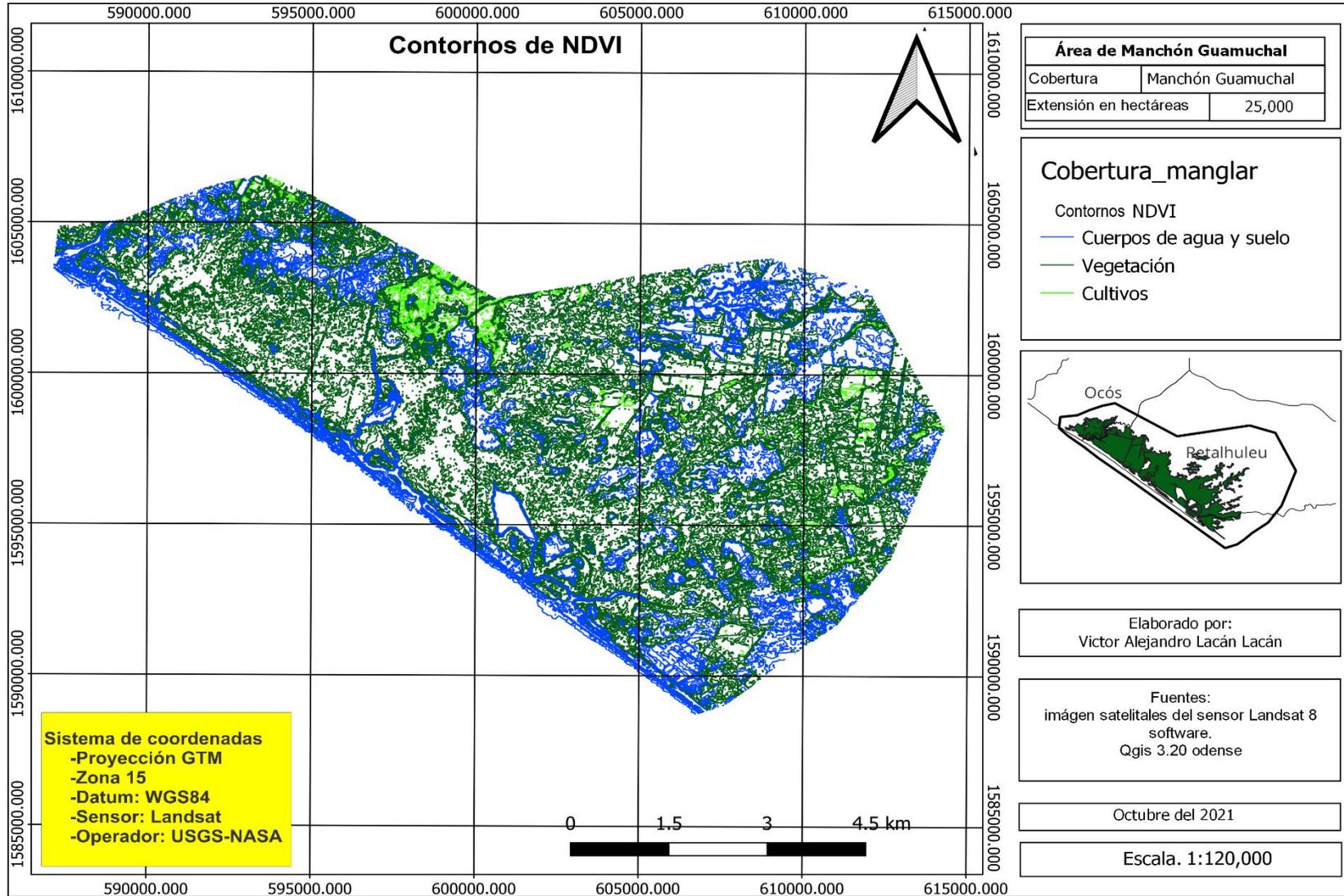


Figura 14. Contornos de NDVI, área protegida Manchón Guamuchal.

Fuente. Elaboración propia, septiembre del año 2021.

De acuerdo a la figura 12, se muestra que el mapa se clasifica en categorías como agua, suelos sin cobertura, cultivos, vegetación que están distribuidos en toda el área geográfica del área protegida de Manchón Guamuchal ubicada en los departamentos de Retalhuleu y San Marcos, que poseen grandes bosques de Mangle en se clasifican en mangle rojo, mangle negro y botoncillo respectivamente.

Para la reclasificación del NDVI de los manglares de Guatemala, se utilizó de referencia la ubicación geográfica de 63 parcelas permanentes de Mangle, instaladas en el periodo 2011 al 2020. Se discriminaron de todas aquellas parcelas que fueron sujetas de algún tipo de intervención humana, en alguno de los años de monitoreo. Finalmente 36 parcelas no mostraron tener ninguna alteración humana, su ubicación geográfica en el periodo del 2010 al 2020 han mostrado un aumento del valor promedio de 0.50 a 0.63, tal como se muestra en la gráfica siguiente:(INAB, 2021, pág.. 33)

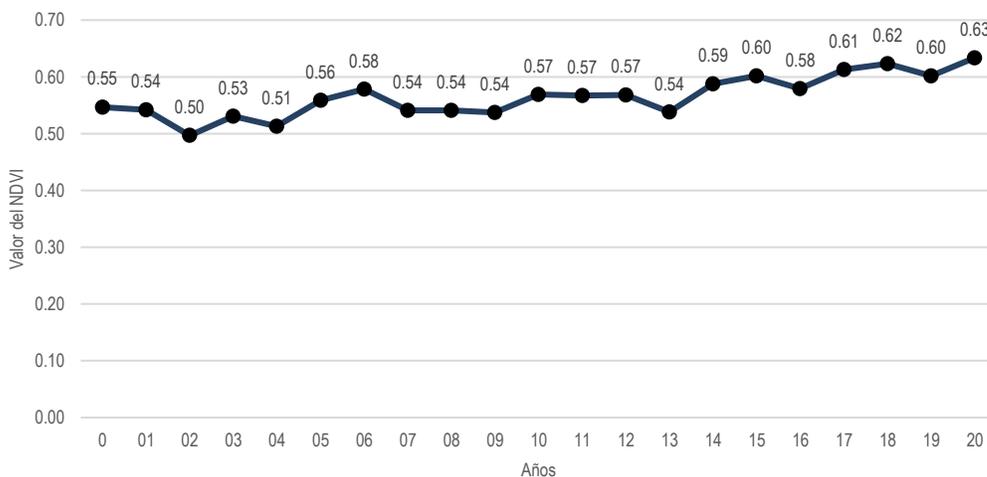


Figura 15. Dinámica del NDVI del ecosistema manglar en el período 2000 al 2020.

Fuente. Instituto Nacional de Bosques, septiembre del año 2021.

En la siguiente figura se presentan los resultados con relación a los contornos de NVDI obtenidos con base en la imagen ráster, a la vez tiene semejanza con los datos que posee el Instituto Nacional de Bosques INAB, que indican que en el área

protegida Manchón Guamuchal la vegetación con vigorosidad es el manglar, porque es la que presenta un mayor índice de vegetación y conserva una cobertura más grande en comparación al resto de la vegetación.

El ecosistema manglar manifiesta una flora típica especial, además, con algunos biotipos que se encuentran en sistemas naturales contiguos, por influencia que ejercen estas; entre ellas las comunidades halófitas y la de los bosques secos, que se encuentran rodeando ciertas partes del manglar, tanto en la parte continental como en el interior de las islas. (INRENA. 2007, pág, 38).

Con los datos obtenidos, se estimaron patrones de cambio, ayudando a entender los factores que alteran al bosque, que pueden ser utilizados como base para la elaboración de planes de acción de conservación de este recurso importante, el bosque manglar en sus especies mangle rojo, negro y botoncillo, dicha distribución se da en las zonas litorales de los trópicos y subtrópicos, cubriendo gran parte de su línea de costa en tierra firme. En estos grandes ecosistemas tienen su hábitat un número de especies de la fauna terrestre y marina, donde la biodiversidad adquiere un grado muy significativo de importancia.

4.2.2 Clasificación supervisada área protegida Manchón Guamuchal

Tabla 13. Muestras para clasificación supervisada.

Muestras de Clasificación		
Clase	Categoría	Cantidad
1	Bosque	5
2	No bosque	36
3	Cuerpos de agua	55
4	Manglar	174
5	Infraestructura	19
6	Seco	25
7	Cultivo	75
8	Palma natural	23
Total		412

Fuente. Elaboración propia, octubre del año 2021.

Clasificación supervisada es el proceso en donde píxeles de identidad conocida, ubicados dentro del área protegida Manchón Guamuchal, se utilizaron para clasificar píxeles de identidad desconocida, para obtener una categorización de la cobertura manglar, se establecieron 8 clasificaciones representadas con sus distintas coberturas.

Los manglares de Guatemala han sufrido grandes alteraciones desde mediados de la década de 1950, por tal razón desde el año 1965 se han hecho estudios para cuantificar el área con bosque manglar, empleando para ello las metodologías y recursos disponibles en esos años. Las variaciones en los resultados en las diferentes investigaciones demuestran que no existe una estimación fija para el mangle, puesto que se tienen estimaciones de 12,000 hectáreas en 1996 y 45,000 en 1980. (FAO, 2005, pág. 54).

Dentro de los resultados obtenidos en la tabla 13, se observan diferentes tipos de superficies, como el agua, bosque, no bosque, mangle o la vegetación, reflejan la radiación de manera distinta en varios canales. La irradiación reflejada en función de la longitud de onda se llama firma espectral de la superficie, que las clasifica como categorías, que fueron obtenidas por el satélite Landsat 8 espectral que indican que existe una estimación cambiante para el bosque manglar.

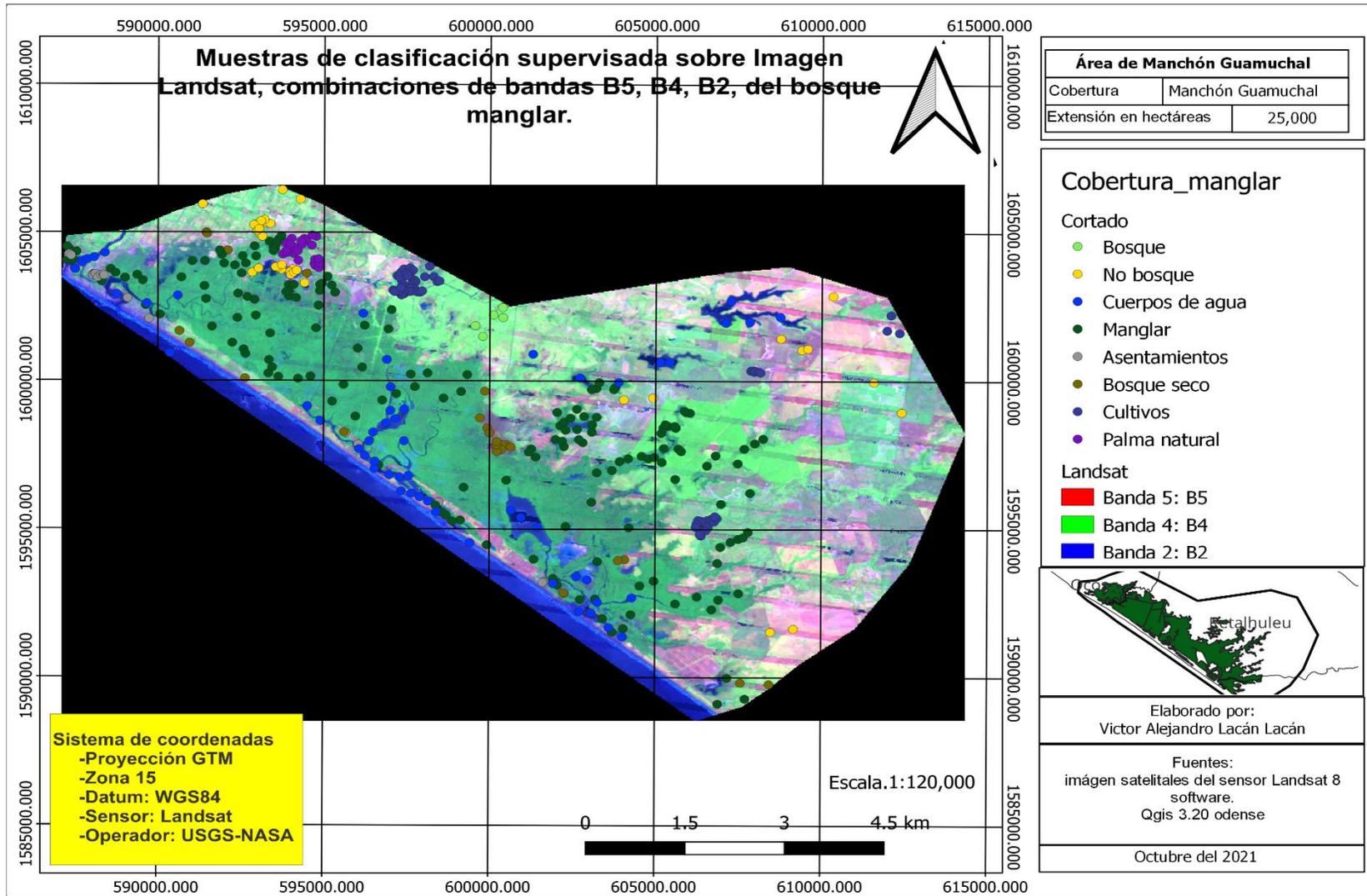


Figura 16. Muestras de clasificación supervisada sobre imagen Landsat, combinaciones de bandas B5, B4, B2, del bosque manglar.

Fuente. Elaboración propia, octubre del año 2021.

Tal como se presenta en la figura 14 establece la clasificación supervisada sobre las imágenes ráster del sensor Landsat 8, donde se utilizaron 8 clasificaciones (bosque, no bosque, cuerpos de agua, manglar, infraestructura, bosque seco, cultivo, palma natural) para determinar la extensión del bosque, la razón por la cual se obtuvieron estas categorías fue verificar donde existe vegetación que tiene niveles de reflectancia similares a la del manglar, por lo que fue necesario determinar estas diferencias y así extraer la distribución del mangle únicamente.

“La clasificación de bandas permite monitorear la variación espacial y temporal de las zonas de mangle y estudiar los diferentes estados de crecimiento de una misma especie de mangle”. (Álvarez, R. 2005, pág. 27).

Los resultados demuestran el sitio que cubre un píxel de una imagen, siendo directamente responsable del nivel de detalles visibles en una imagen; cuanto menor es el área terrestre representada por cada píxel en una imagen digital mayores son los detalles que pueden ser captados y mayor es la resolución espacial, considerándose tres diferentes resoluciones espaciales (baja, mediana y alta. Tal es el caso de Landsat 8. Existen diferentes factores que influyen en el arrojo espacial; además de los obviamente asociados al sensor, como ser el poder resolutivo del sistema óptico, se considera en estas imágenes las influencias atmosféricas, presencia de humo, neblina, bajos niveles de iluminación.

Para la elaboración de los puntos de clasificación se estableció una cantidad inicial de muestras para cada categoría y se obtuvo el resultado logrado con el programa Quantum Gis, a medida que se realizaron los cálculos se fueron incrementando los modelos para algunas categorías y disminuyendo para otras, este proceso se realizó con el objetivo de llegar a un número óptimo, que permitió obtener datos de resultados satisfactorios, tal como se muestra en la figura anterior.

Las técnicas de clasificación de imágenes digitales se usan para agrupar píxeles con valores similares en varias bandas de imágenes en clases de manto terrestre. Los métodos comunes son el no-supervisado, el supervisado y el basado en algún objeto. En la clasificación supervisada, el usuario elige ejemplares representativos para cada clase de manto terrestre en la imagen digital. Estas clases ejemplares de manto terrestre se llaman "sitios de entrenamiento". La programación de clasificación de imágenes usa los sitios de entrenamiento para identificar las clases de manto terrestre en la imagen entera. (Arset, 2017, pág. 1)

Por otro lado, la imagen representa el área obtenida del sensor Landsat 8 con toda la cobertura, los puntos de muestreo tienen una clasificación asignada para que el programa Qgis a través de su plugin Semi-Automatic Classification, se obtuviera la clasificación de las muestras que se calcularon por el software, la función de este proceso fue analizar los colores de cada píxel y así clasificarlos según su categoría.

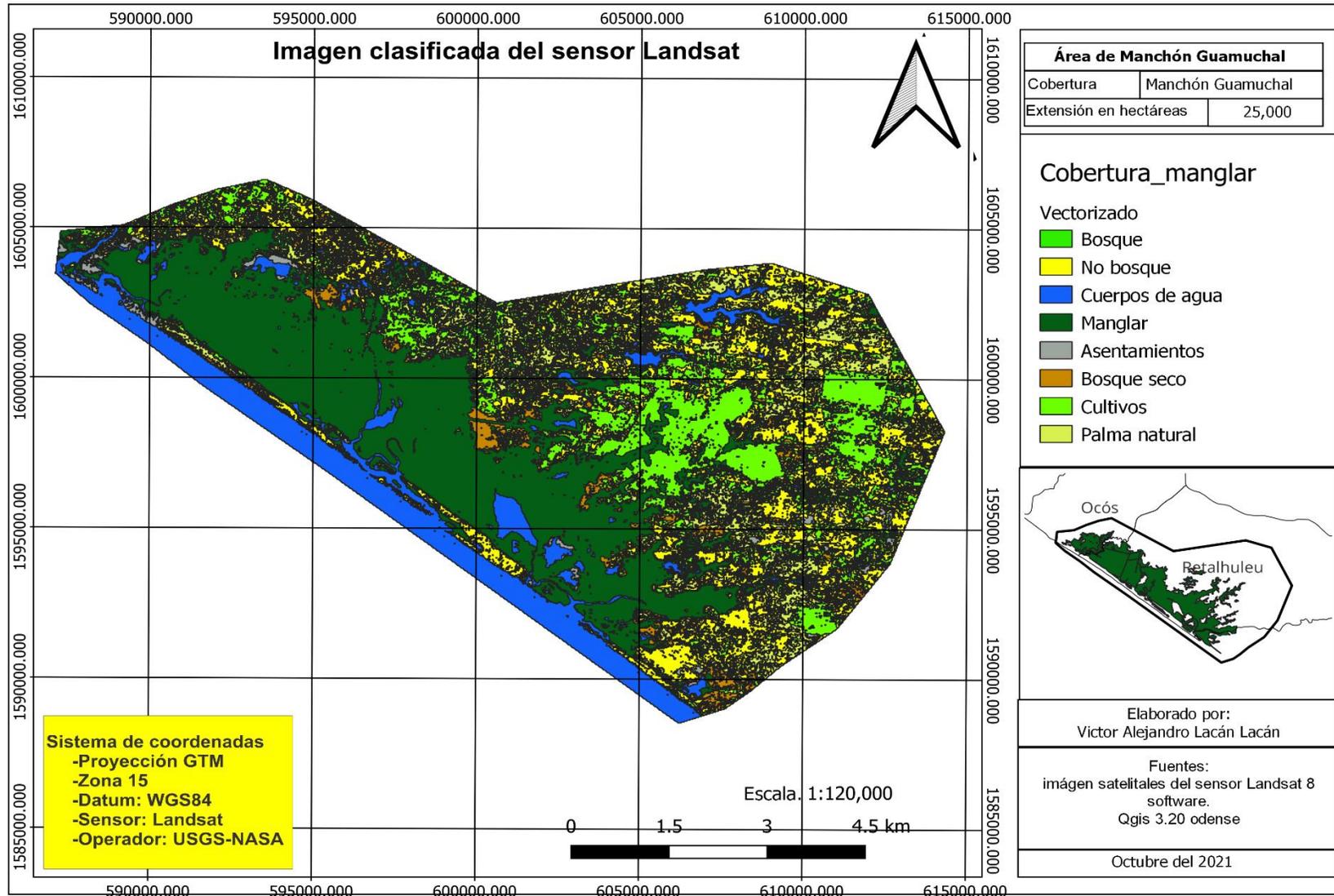


Figura 17. Clasificación supervisada sobre imagen Landsat en área protegida Manchón Guamuchal.

Fuente. Elaboración propia, octubre del año 2021

Del proceso de clasificación se obtuvo una imagen clasificada de la cobertura del mangle, a esta categorización se le comparó con los rangos de NDVI y así se determinó la extensión del bosque, para ver los resultados de este proceso se presenta un mapa clasificado del año 2011 en el que se puede notar la diferencia que existe en la reflectancia de cada vegetación y las clasificaciones (bosque, no bosque, cuerpos de agua, manglar, infraestructura, bosque seco, cultivo, palma natural), es a partir de allí en donde se obtiene la cobertura manglar para el período 2011 al 2020, de tal manera se visualiza la figura con los datos respectivos, tomando en todo el número de píxeles correspondientes a los estratos manglares contenidos en esa clasificación y el área total anual.

Este paso se completó con las técnicas de clasificación supervisada, utilizando para ello los puntos de control y determinando el modelo analítico que mejor discrimine las coberturas vegetales. Esta puede realizarse debido a que se cuenta con el número de puntos de control citado. Esto permite la determinación a priori de alguna clase con determinadas características comunes llamadas áreas de entrenamiento, las cuales deben ser representativas a las distintas clases o tipo de respuesta espectral. Es necesario tener en cuenta el cálculo de parámetros estadísticos con base a las áreas muestreadas como son la media y la desviación standard, asignándole una máxima probabilidad para fijar a cada píxel la probabilidad que pertenezca a una clase determinada según los parámetros estadísticos utilizados. (Campbell, 1987 citado por INAB 2012).

Los resultados demuestran que la semejanza espectral entre áreas con cobertura manglar y categorías de otra vegetación, resulta particularmente complejo poder distinguirlos, mediante el proceso de clasificación descrito únicamente, es por tal razón que luego de este resultado se utilizó el proceso de Post-Clasificación, para extraer solamente la cobertura de interés, siendo esta el mangle y dejando fuera del análisis los otros que corresponden al área protegida de Manchón Guamuchal.

4.2.3. Análisis de cobertura de manglar.

Para este estudio se utilizó la metodología de cambio Post-Clasificación, la cual consistió en comparar mapas clasificados con diferentes temporalidades. Una vez elaborado el mapa base año 2011, el siguiente proceso fue encontrar los cambios de coberturas para el 2012. La cobertura estable del bosque manglar fue la misma para todos los años analizados como lo es el caso del 2006 verificado y validado por el Instituto Nacional de Bosques INAB.

Las imágenes de Landsat 8 están integradas por ocho bandas espectrales, con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 5 y la banda 7. La resolución de la banda de 6H/6L (infrarrojo térmico) es de 60 metros (m). El arrojado de la banda ocho (pancromática) es de 15 m. El tamaño aproximado de escena es de 170 km de norte a sur por 183 km de este a oeste (106 millas por 114 millas). (EROS, 2007, pág. 37).

Para la detección de estos cambios se utilizaron varias herramientas y técnicas que permitieron conocer la dinámica de cobertura o por lo menos servir de alertas para posteriormente verificarlas y aprobarlos o rechazarlos, luego de comprobar las coberturas se descartaron las siguientes clasificaciones; (bosque, no bosque, cuerpos de agua, infraestructura, bosque seco, cultivo, palma natural), dejando solamente la cubierta manglar esto con el fin de determinar tanto las ganancias como pérdida de la extensión de bosque. En la siguiente imagen se muestra la extensión de la cobertura manglar del año 2011 después del proceso de Post-Clasificación.

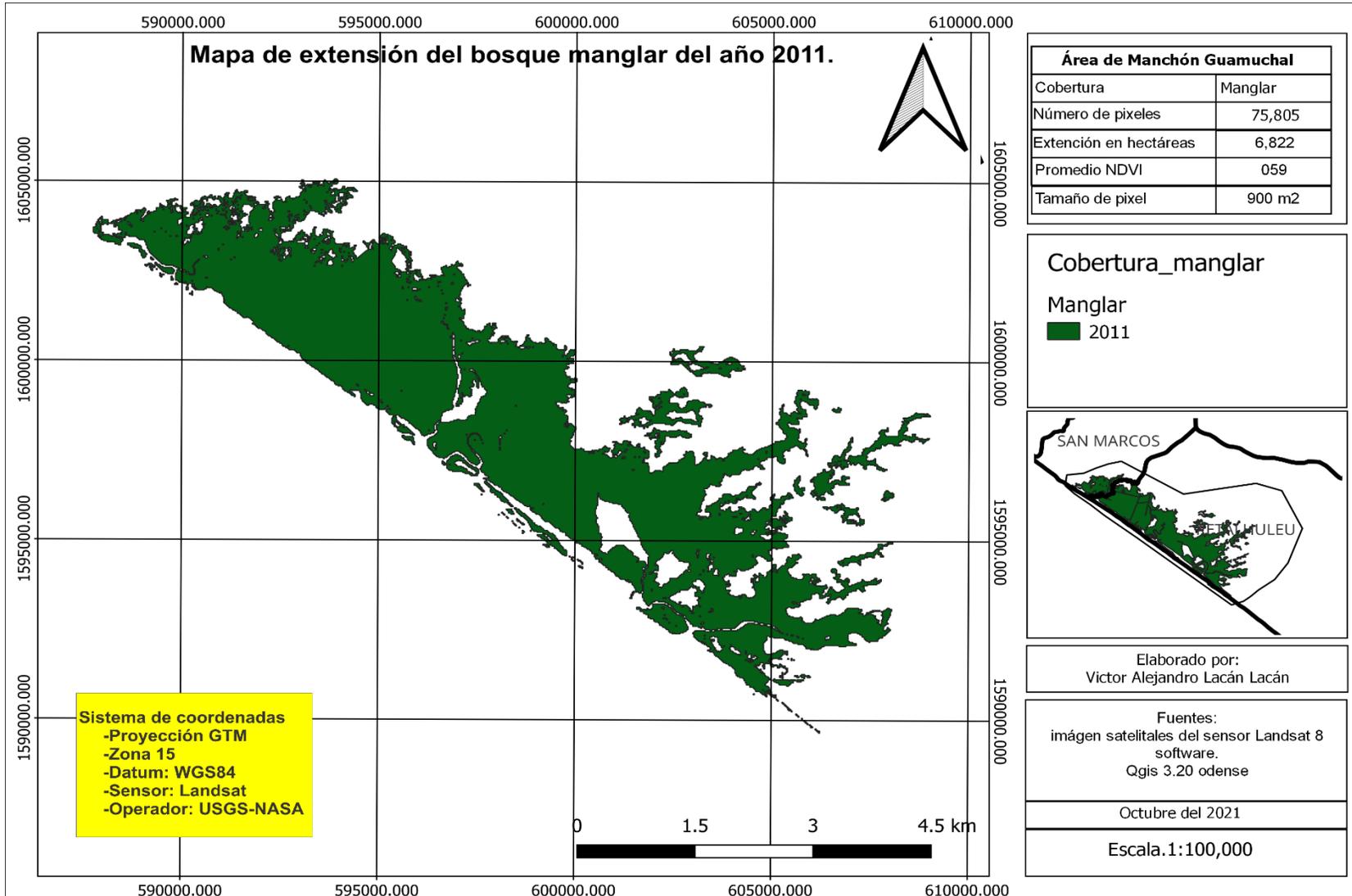


Figura 18. Mapa de extensión del bosque manglar del año 2011.

Fuente. Elaboración propia, octubre del año 2021

En la siguiente figura, se muestran la cobertura del año 2011 con una extensión de 6,822 hectáreas de bosque manglar en el área protegida Manchón Guamuchal, se notan segmentos sin cubierta, estos corresponden a cuerpos de agua o vegetación de otro tipo. Basándose en este resultado se realizaron los cálculos de amplitud para los siguientes años, determinado en las diferentes temporalidades la cantidad de pérdida, el incremento y la zona que no sufrió ningún cambio de un período a otro.

En el año 1974 en el Manchón Guamuchal existían 75 km² de bosque manglar, mientras que en la finca Chapan cubría 4.4 km²; el mayor cambio se identificó en el área protegida, puesto que Morales, J. (1979) cuantificó 78 km² de mangle en 1965 y 42 km² en 1978, usando fotografía aérea y una imagen del satélite ERTS 1 (Landsat 1) respectivamente, sin embargo, no contaban con las herramientas ofimáticas para analizar las imágenes, por otro lado, los árboles no sufrieron cambios en este lapso. (Espinoza F, 2011, pág. 48).

Es fundamental especificar que en cada período que fue analizado se tomaron diferentes criterios para el análisis de la cobertura del bosque manglar, los mismos fueron el cambio de tecnología y la mejor calidad en la imagen que se obtuvieron de los sensores remotos, en este caso del satélite Landsat 8. Lo que implicó un profundo análisis por el tamaño de cobertura por píxel correspondiente al 2011 (Espinoza F) determinó que la cobertura manglar de Manchón Guamuchal era de 77 k² equivalentes a 7,700 hectáreas.

4.2.4. Mapa de cobertura manglar, área protegida Manchón Guamuchal año 2012.

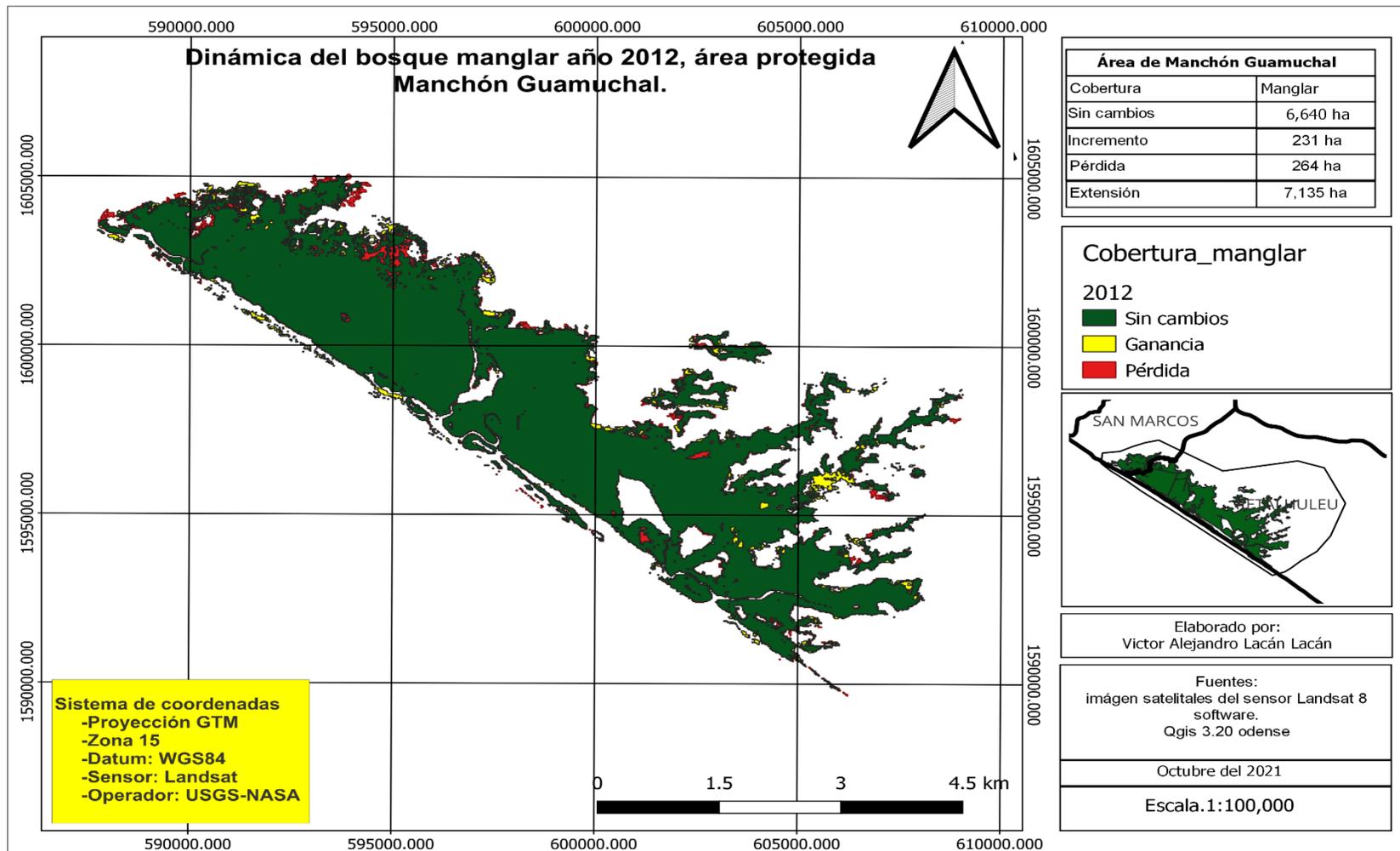


Figura 19. Dinámica del bosque manglar año 2012, área protegida Manchón Guamuchal

Fuente. Elaboración propia, septiembre del año 2021

A continuación, en la siguiente figura 17, se presenta los resultados obtenidos referidos a la dinámica que tuvo el bosque manglar en el área protegida Manchón Guamuchal, en comparación al período anterior como producto se obtuvo los siguientes datos; área sin cambios de 6,640 ha, incremento de 231 ha, y 264 hectáreas de pérdida en comparación a la zona sin cambios calculada para ambos años. En consecuencia, en el año 2012 muestra una extensión de 7,135 hectáreas de cobertura manglar, sin duda un dato positivo comparado con el ciclo de tiempo que se presentó.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son un potente instrumento para la recogida, almacenamiento, gestión, análisis y representación de datos geográficos referidos a un territorio concreto. Gracias a esta capacidad son una herramienta utilizada en la obtención de cartografía temática, el uso del suelo tiene gran interés científico, por un lado, interesa conocer cómo eran en el pasado, cuál es su distribución actual, cuál es su dinámica, su evolución y de la misma manera identificar si esta distribución es funcional, si el sistema territorial objeto de estudio es estable, es el deseable o por el contrario no es sostenible. (De León V, año 2021 pág. 131)

El estudio permitió la determinación de la cobertura manglar del área protegida Manchón Guamuchal con ayuda de los sistemas de información geográfica (SIG), como una herramienta con potencial para estimar los cambios que ha sufrido este ecosistema integral que con el pasar de los años, sin duda ayudará a evaluar las intervenciones que el Instituto Nacional de Bosque INAB realiza sobre las especies de mangle.

4.2.5. Mapa de cobertura manglar, área protegida Manchón Guamuchal año 2013

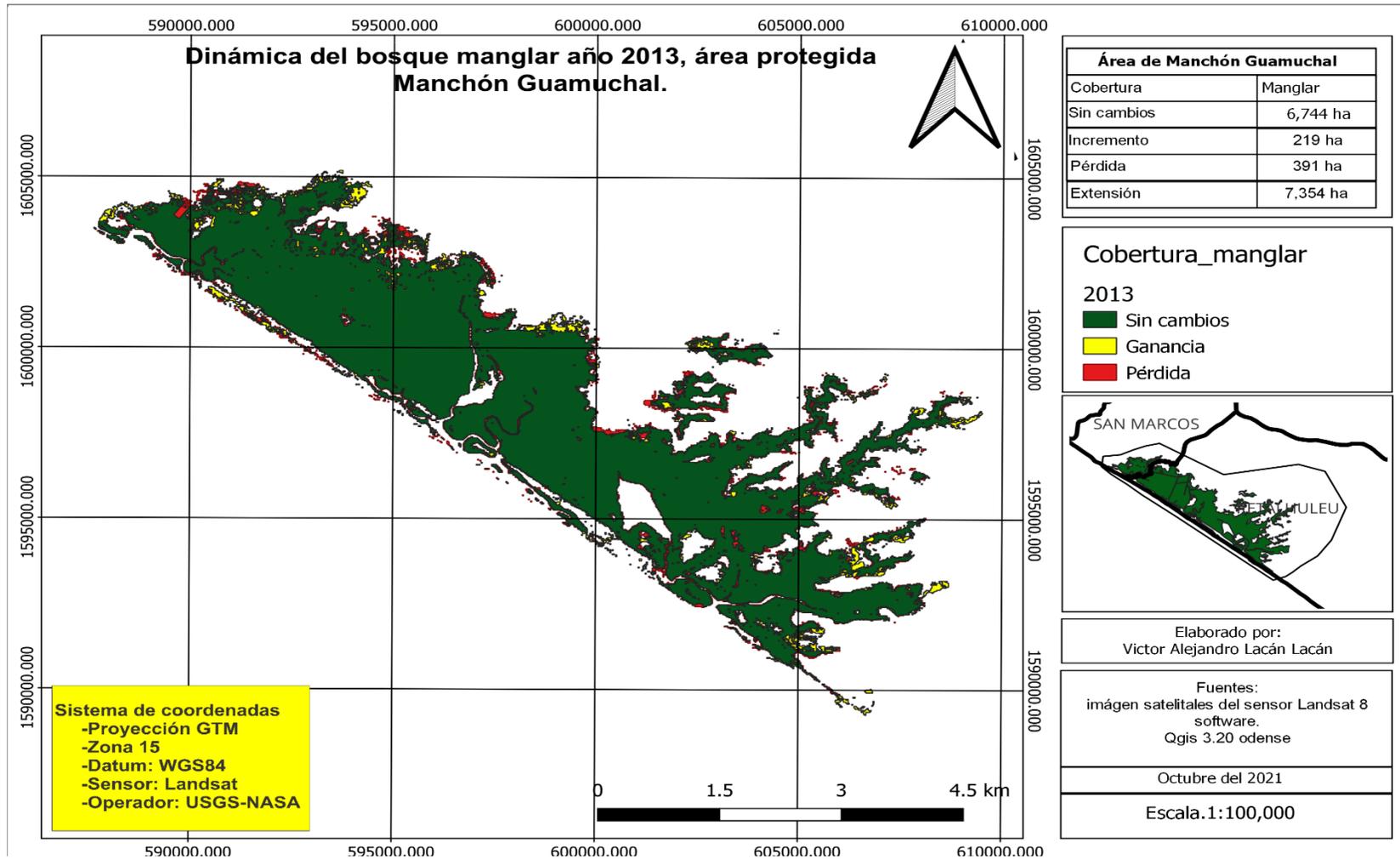


Figura 20. Dinámica del bosque manglar año 2013, área protegida manchón Guamuchal

Fuente. Elaboración propia, octubre del año 2021

De acuerdo con los resultados obtenidos en la figura 18, se observa la dinámica que tuvo el bosque manglar en el área protegida Manchón Guamuchal, en comparación al período anterior como resultado se obtuvo que las plantaciones forestales muestran los siguientes datos; área sin cambios de 6,744 ha, incremento de 219 ha, y 391 hectáreas de pérdida en comparación a la zona sin cambios calculada para ambos años. En consecuencia, en el año 2013 muestra una extensión de 7,354 hectáreas de cobertura de mangle, sin duda un dato positivo comparado con el ciclo de tiempo que se presentó.

Después del año de 1974 se observó un descenso considerable en el bosque manglar, cuantificándose en 1988, en los años siguientes se observó un incremento gradual. Uno de los factores que pudo incidir en cambios en este bosque fue la modificación de los cursos del agua de las mareas, mediante canales, aunque pueden resultar favorables como en el caso del Manchón Guamuchal, también drásticamente propició su pérdida (Espinoza, 2011, pág. 65).

Es notable que para el año 2013 existe un aumento en la extensión del mangle correspondiente al área protegida Manchón Guamuchal en comparación al 2012 esto se debe a factores que intervienen sobre el bosque, uno de ellos fue la construcción de los canales hechos por las camaronerías que podrían favorecer el establecimiento de nuevas áreas de mangle o generar condiciones adversas, inundaciones prolongadas, áreas fuera del alcance de mareas para el desarrollo de estos árboles provocando su desaparición.

4.2.6. Mapa de cobertura manglar, área protegida Manchón Guamuchal año 2014

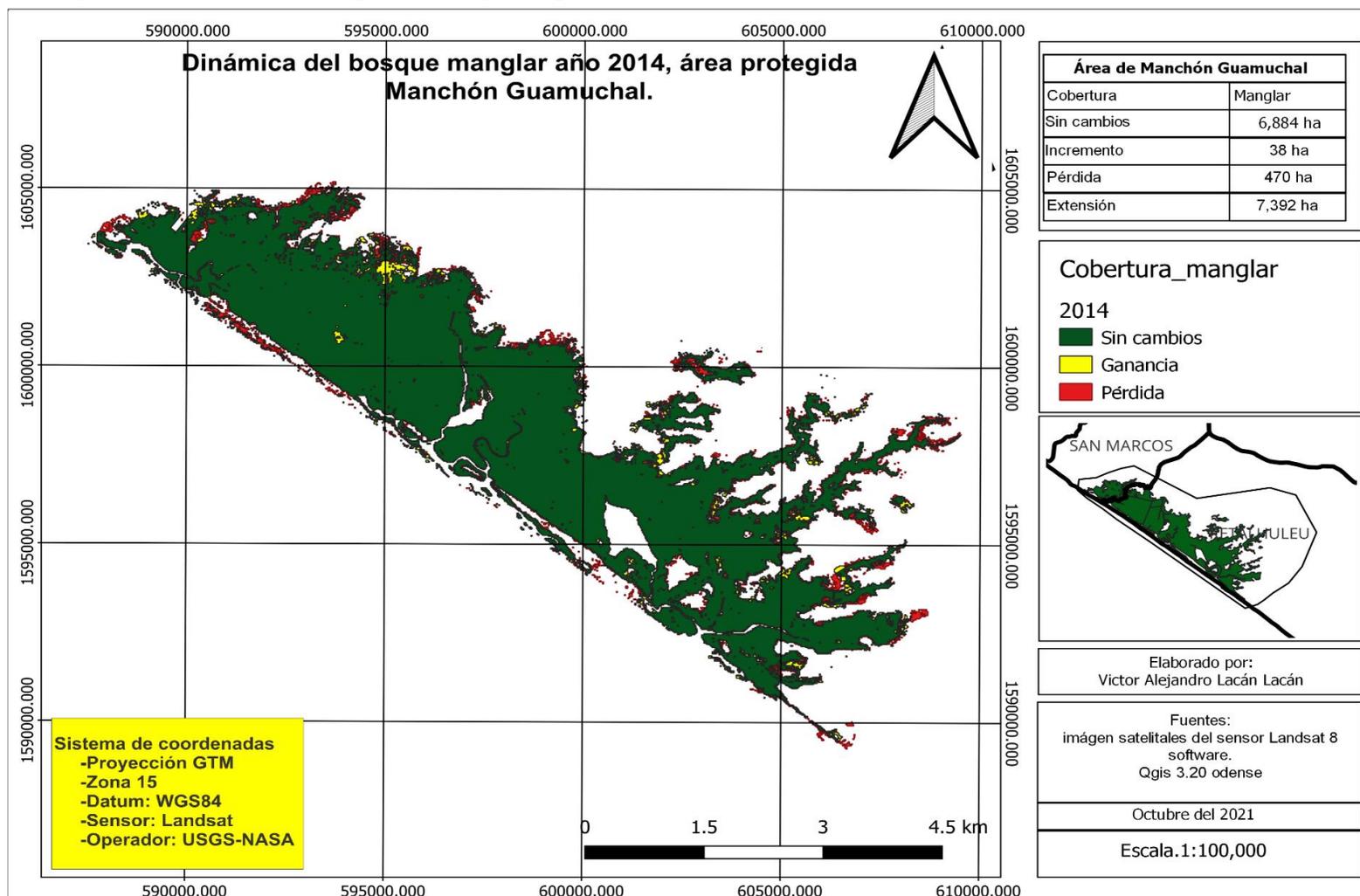


Figura 21. Figura 16. Dinámica del bosque manglar año 2014, área protegida Manchón Guamuchal.

Fuente. Elaboración propia, septiembre del año 2021.

Según la figura 19, se observa la dinámica que tuvo el bosque manglar en el área protegida Manchón Guamuchal, en comparación al período anterior como resultado se obtuvo que el bosque muestra los siguientes datos; área sin cambios de 6,884 ha, incremento de 37 ha, y 463 hectáreas de pérdida en comparación a la zona sin cambios calculada para ambos años. En consecuencia, en el año 2014 muestra una extensión de 7,384 hectáreas de cobertura manglar, sin duda un dato positivo comparado con el ciclo de tiempo que se presentó.

Las principales tendencias internacionales del desarrollo forestal se basan en un cambio significativo de las políticas y normas que buscan promover la conservación, manejo forestal sostenible a todos los tipos de bosque, en especial el mangle, y que van de la explotación forestal a una visión integral y holística de los ecosistemas forestales. El MFS va estrechamente ligado a los criterios e indicadores, que permiten evaluar el logro de sus objetivos, así como el establecimiento de buenas prácticas. Cada vez, hay un reconocimiento de los ecosistemas forestales como sistemas complejos en los cuales tienen lugar procesos económicos sociales culturales y biológicos, (Girón, 2006, pág. 39).

Para el año 2014 fue notable verificar que el incremento corriente anual es menor que del 2013, esto pudo ser a consecuencia de las actividades de los pobladores que por sus necesidades utilizan los servicios del bosque manglar. Las zonas con pérdida se pueden interpretar como áreas que sufren cambios anualmente y nadie los puede parar, a pesar de esta alteración es notable que este periodo analizado cuenta con una extensión mayor a los anteriores.

4.2.6. Mapa de cobertura manglar, área protegida Manchón Guamuchal año 2015

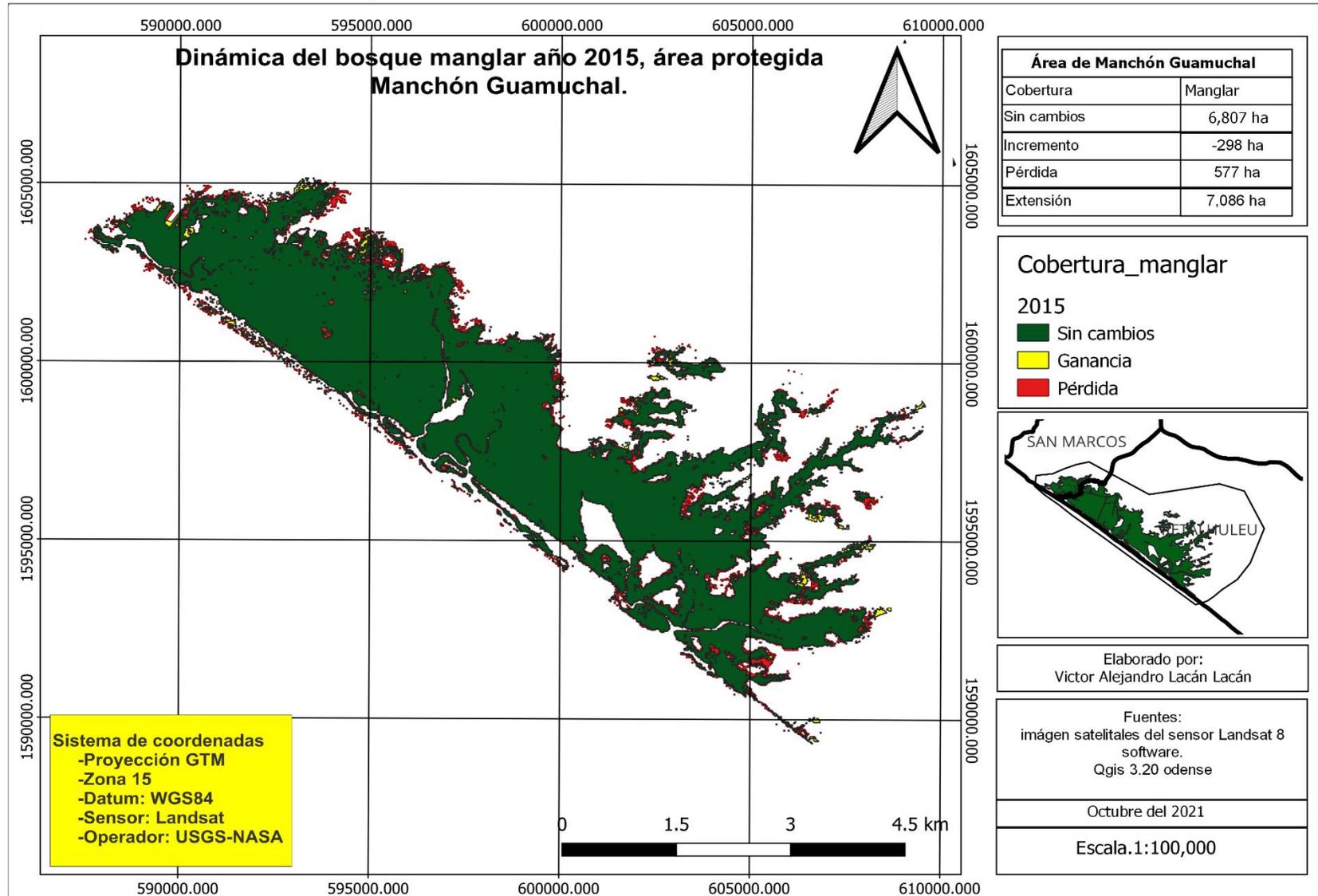


Figura 22. Dinámica del bosque manglar año 2015, área protegida manchón Guamuchal.

Fuente. Elaboración propia, noviembre del año 2021.

En la siguiente figura se presentan los resultados en cuanto a la dinámica que tuvo el bosque manglar en el área protegida Manchón Guamuchal, en comparación al período anterior como resultado se obtuvo que el bosque muestra los siguientes datos; área sin cambios de 6,807 ha, incremento de -298 ha, y 577 hectáreas de pérdida en comparación a la zona sin cambios calculada para ambos años. En consecuencia, de lo anterior para el 2015 presenta una extensión de 7,086 hectáreas de cobertura manglar, sin duda un dato positivo comparado con el ciclo de tiempo anterior.

Aunque las especies de mangle tienen una tasa de recuperación relativamente rápida, uno de los problemas que se observaron fue la ausencia de ornitofauna característica de este ecosistema (garzas, aves marinas), mucho menos de mamíferos de esta zona, esta falta de biodiversidad radica en la eliminación de nichos de anidamiento de las aves marinas, puesto que utilizan las especies de ***R. mangle*** para anidar, siendo esta especie la que tiene mayor demanda para consumo energético. (Espinoza F, 2011, pág. 67).

Para el año 2015 se nota una disminución drástica en la extensión del mangle en el área protegida Manchón Guamuchal, es el primer año que muestra un dato negativo en el incremento, pero sigue siendo notable que los cambios con mayor extensión siguen sucediendo en los esteros cercanos a los poblados, puede que el factor que esté causando pérdidas sea su cercanía a los poblados o que la regeneración en los límites del manglar sea muy baja.

4.2.7. Mapa de cobertura manglar, área protegida Manchón Guamuchal año 2016

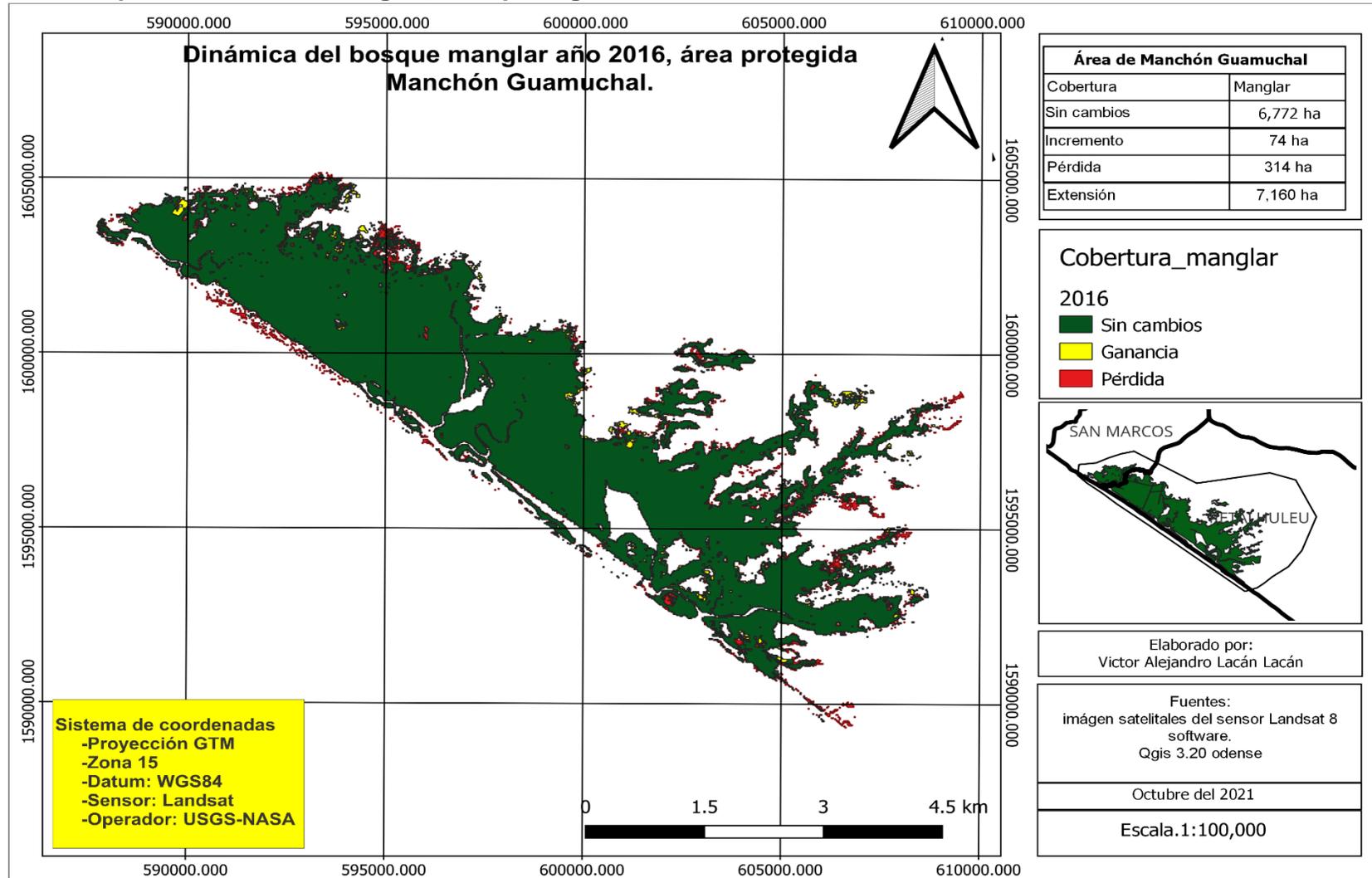


Figura 23. Dinámica del bosque manglar año 2016, área protegida manchón Guamuchal.

Fuente. Elaboración propia, noviembre del año 2021.

La figura da a conocer que la dinámica que tuvo el bosque manglar en el área protegida Manchón Guamuchal, en comparación al período anterior como resultado se obtuvo que el bosque muestra los siguientes datos; área sin cambios de 6,772 ha, incremento de 74 hectáreas, y 314 hectáreas de pérdida en comparación a la zona sin cambios calculada para ambos años. En consecuencia, en el año 2016 muestra una extensión de 7,160 hectáreas de cobertura de mangle, sin duda un dato positivo comparado con el ciclo de tiempo que se presentó.

En el año de 1974 en el Manchón Guamuchal existían 75 km² de bosque manglar, mientras que el bosque manglar de finca Chapan cubría 4.4 km² ; el mayor cambio se identificó en el Manchón Guamuchal, puesto que cuantificó 78 km cuadrados de este bosque en 1965 y 42 en 1978, usando fotografía aérea de 1965 y una imagen del satélite ERTS 1 (Landsat 1) de 1978 respectivamente, sin embargo no contaban con las herramientas ofimáticas para analizar las imágenes, por otro lado, el bosque en la finca Chapan no sufrió cambios en este lapso. (Morales, J., 1979, pág. 24)

Es notable que la distribución horizontal del bosque manglar es dinámica, para el año 2016 muestra un incremento de forma positiva en comparación con lo anterior, los cambios siempre suceden mayormente en los límites de manglar, para determinar el factor que está causando esta diferencia, habrá que realizar un estudio más detallado de las causas que afectan al mangle en su aumento y disminución de cobertura.

4.2.7. Mapa de cobertura manglar, área protegida Manchón Guamuchal año 2017

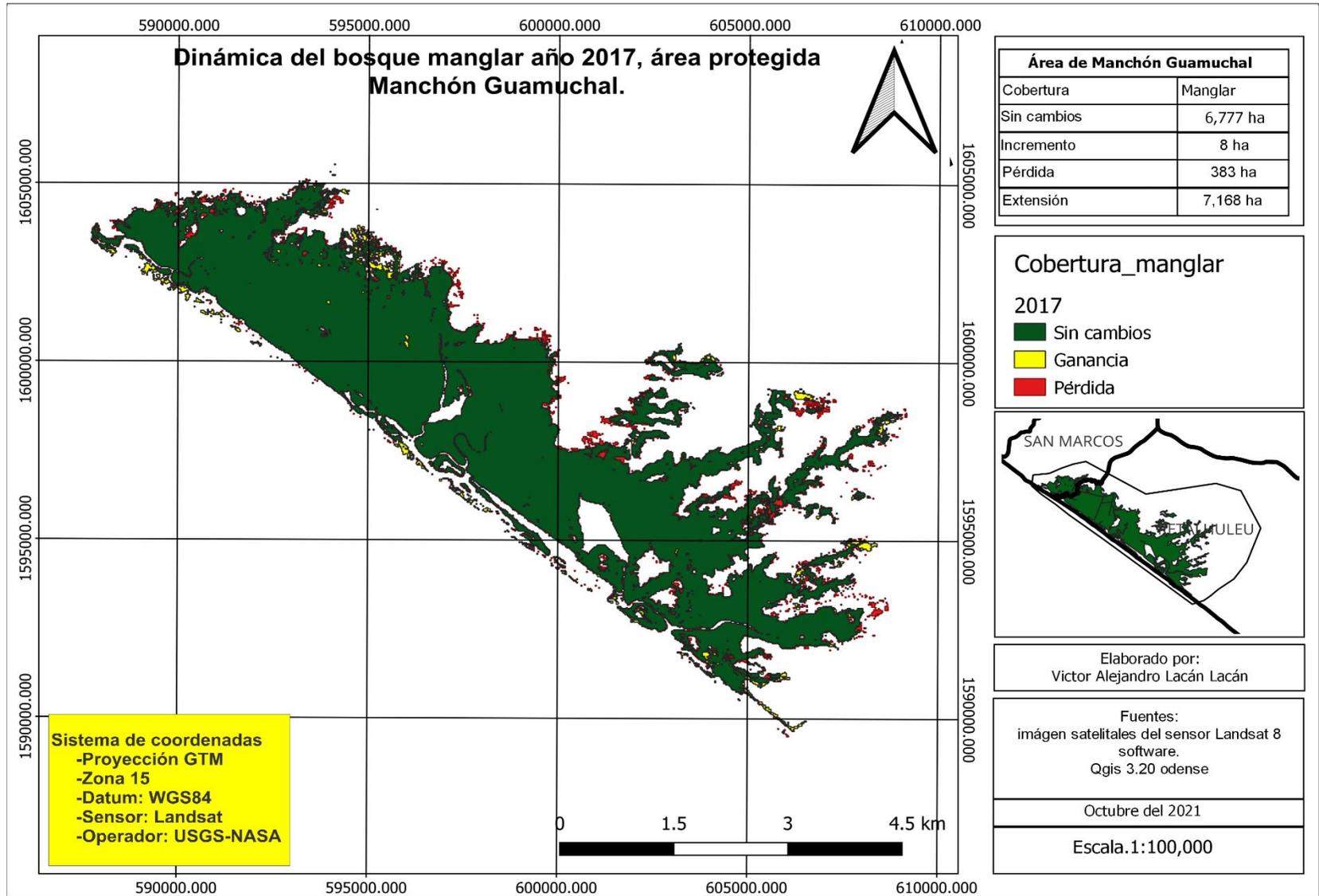


Figura 24. Dinámica del bosque manglar año 2017, área protegida Manchón Guamuchal.

Fuente. Elaboración propia, octubre del año 2021.

De acuerdo a la figura 22, se observa la dinámica que tuvo el bosque manglar en el área protegida Manchón Guamuchal, en comparación al periodo anterior como resultado se obtuvo que el mangle muestra los siguientes datos; área sin cambios de 6,777 ha, incremento de 8 ha, y 383 hectáreas de pérdida en comparación a la zona sin cambios calculada para ambos años. En consecuencia, de lo anterior el año 2017 muestra una extensión de 7,168 hectáreas de cobertura manglar, sin duda un dato positivo comparado con los anteriores.

En el área de protección especial de Manchón Guamuchal se han realizado reforestaciones de Mangle Rojo como parte del cumplimiento de resarcimiento de daños causados por personas que han cometido algún delito ambiental (tala ilegal). En donde la fiscalía de delitos contra el ambiente del Ministerio Público les ha otorgado una oportunidad por el delito cometido. Se han considerado estos criterios de oportunidad como una estrategia de recuperación porque al ser los humedales ecosistemas vulnerables son de urgencia Nacional. Por lo que se realizó un análisis del prendimiento de estas plantaciones. (Hernández J, 2019, pág. 12).

De acuerdo a la figura anterior, para el año 2017 se muestra un incremento mínimo en el área protegida Manchón Guamuchal, que lo coloca como el período analizado con el incremento mínimo, el aumento en extensión se puede acreditar a las labores de reforestaciones por parte de los poblados cercanos al manglar y a las actividades del Instituto Nacional de Bosque que están dirigidos a la recuperación del ecosistema del mangle a nivel nacional.

4.2.8. Mapa de cobertura manglar, área protegida Manchón Guamuchal año 2018

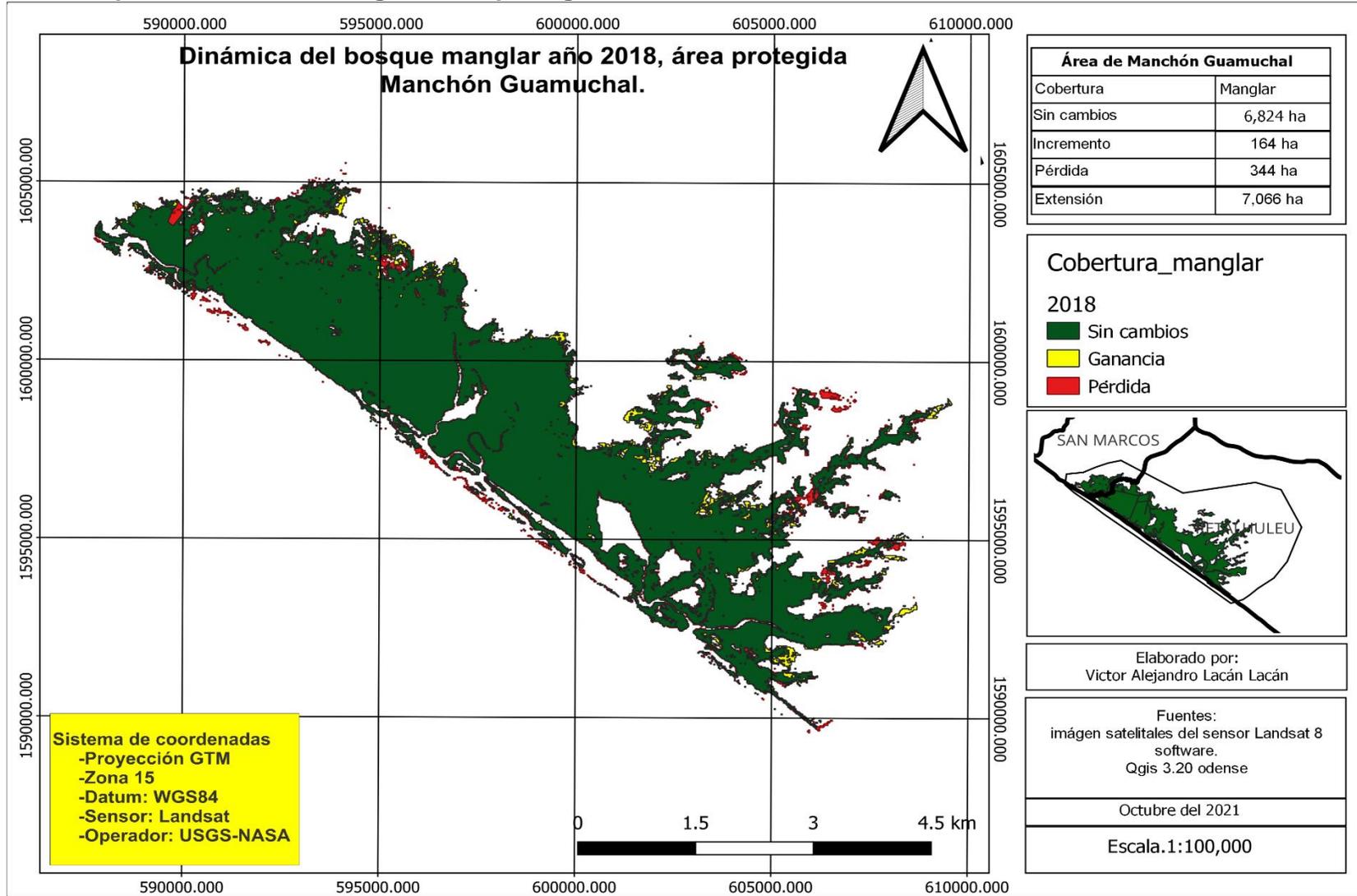


Figura 25. Dinámica del bosque manglar año 2018, área protegida Manchón Guamuchal.

Fuente. Elaboración propia, septiembre del año 2021.

En la figura 23, se observa la dinámica que tuvo el bosque manglar en el área protegida Manchón Guamuchal, en comparación al período anterior como resultado se obtuvo que el mangle muestra los siguientes datos; área sin cambios de 6,824 ha, incremento de 164 ha, y 344 hectáreas de pérdida en comparación a la zona sin cambios calculada para ambos años. En consecuencia, de lo anterior el año 2018 muestra una extensión de 7,332 hectáreas de cobertura, sin duda un dato positivo comparado con los ciclos de tiempo anteriores.

También existen factores naturales de cambio que se considera que afectan el desarrollo del mangle, tal como lo menciona Lugo (1978) con respecto al balance entre agua dulce y salada que debe mantener, ya que al existir un desbalance, estos cambios pueden representar pérdidas de cobertura del mangle, porque son sistemas abiertos, continuamente son remodelados por acciones de su medio como el ingreso de agua dulce, la acción del oleaje y la marea (Tejedor, Gómez-Pina, Muñoz-Pérez y Roque, 2008, pág. 25).

Existen diversos factores que interviene en el aumento o disminución de la cobertura manglar del área protegida de Manchón Guamuchal, dado por la crecida del nivel de agua, variaciones en lo climático, así también por un factor predominante externo que muestra la intervención humana, el impacto que se da ya sea positiva o negativa para el ecosistema del mangle, es decir el incremento y la baja pueden depender de las actividades humanas, tales como la tala ilegal, o la deforestación del bosque de mangle.

4.2.8. Mapa de cobertura manglar, área protegida Manchón Guamuchal año 2019

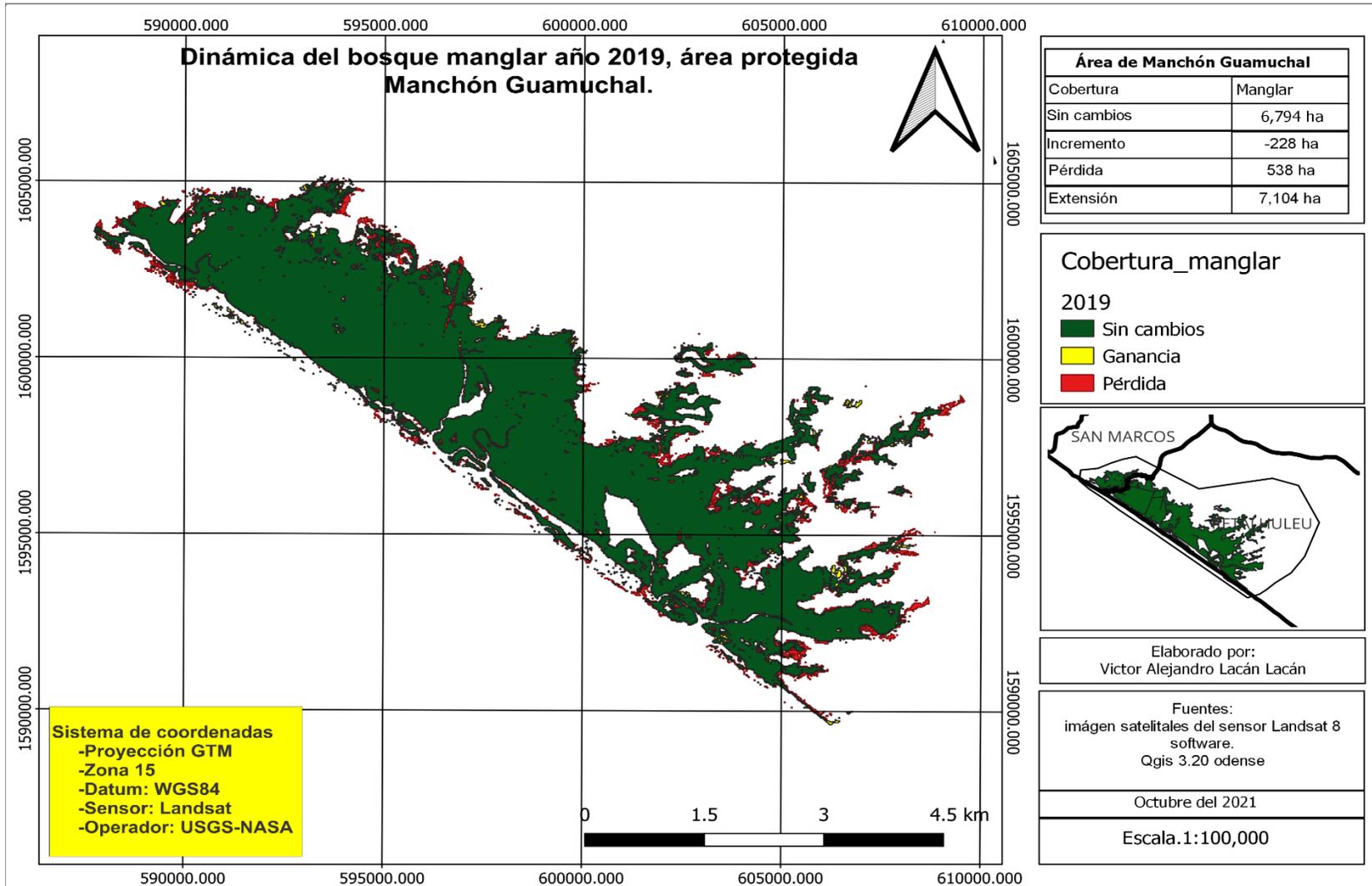


Figura 26. Dinámica del bosque manglar año 2019, área protegida Manchón Guamuchal.

Fuente. Elaboración propia, octubre del año 2021.

Como se observa la figura 24, la dinámica que tuvo el bosque manglar en el área protegida Manchón Guamuchal, en comparación al período anterior como resultado se obtuvo que el mangle muestra los siguientes datos; área sin cambios de 6,794 ha, incremento de -228 ha, y 538 hectáreas de pérdida en comparación a la zona sin cambios calculada para ambos años. En consecuencia, en el año 2019 muestra una extensión de 7,104 hectáreas de cobertura, sin duda un dato positivo comparado con el ciclo de tiempo que se presentó.

En la actualidad, los recursos forestales por su desmedida utilización han empezado a disminuir, haciendo que todos los beneficios que estos traen también disminuyan. También se ha podido establecer una de las causas de la disminución de los mismos, es el avance de la frontera agrícola, la cual en algunos casos es inducida por la necesidad de muchos campesinos de tener tierra para cultivar, así como también por el cambio de uso de la tierra al convertir los bosques en áreas ganaderas o simplemente al extraer la madera de un área determinada sin la debida atención a un manejo forestal adecuado. (Hernández J, 2019, pág. 11).

Como se muestra en la figura arriba presentada, es notable que para este período el bosque manglar del área protegida Manchón Guamuchal ha descendido en su extensión mostrando nuevamente un incremento negativo de -229 hectáreas, se tiene registros que para ese año sucedió un incendio forestal, el cual devastó una porción significativa de la masa arbórea, aunado a esto las actividades de deforestación masiva a los lugares poblados de mangle, estos factores hicieron que incremente las pérdidas de los esteros y afecte sin medida al ecosistema boscoso.

4.2.8. Mapa de cobertura manglar, área protegida Manchón Guamuchal año 2020

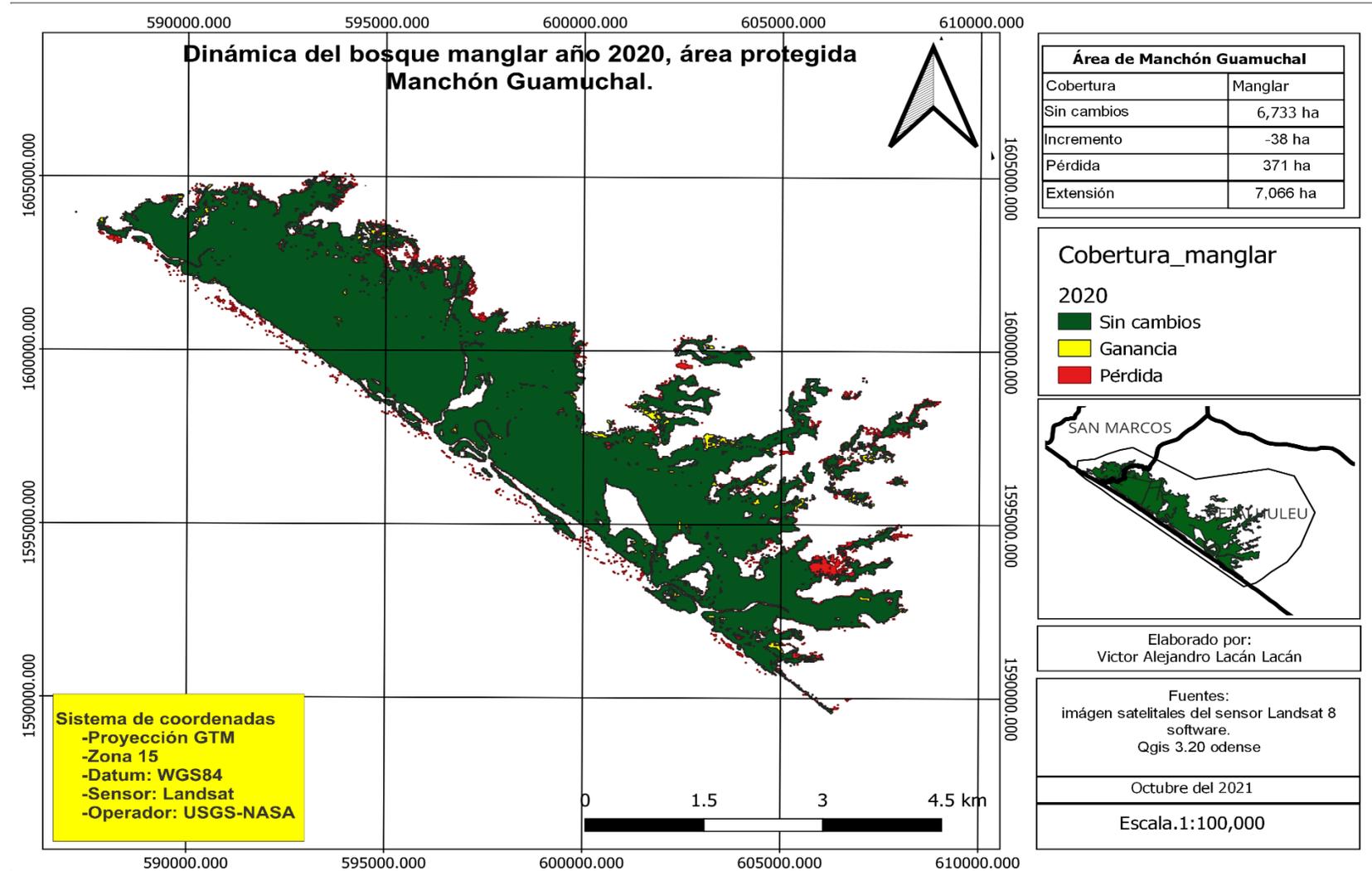


Figura 27. Dinámica del bosque manglar año 2020, área protegida Manchón Guamuchal.

Fuente. Elaboración propia, octubre del año 2021.

Como se visualiza la figura 25, la dinámica que tuvo el bosque manglar en el área protegida Manchón Guamuchal, en comparación al período anterior como resultado se obtuvo que el bosque muestra los siguientes datos; área sin cambios de 6,733 ha, incremento de -38 ha, y 371 hectáreas de pérdida en comparación a la zona sin cambios calculada para ambos años. En consecuencia, en el año 2020 muestra una extensión de 7,066 hectáreas de cobertura, sin duda un dato positivo comparado con el ciclo de tiempo que se presentó.

Existen factores que se pueden tomar en cuenta para explicar este fenómeno. Porque el área forestal que se localiza en Manchón Guamuchal fue declarado desde 1998 área de protección especial, controlando y regulando la explotación de este recurso. Por otra parte, el incremento de la población en estas zonas demandó mayor cantidad de madera para la construcción de viviendas y el uso como fuente de combustible o leña. También el uso que les dan a los ingresos al emplearlo para la venta de leña, esto hizo que sobreexplotaran los remanentes de este bosque donde existen espacios muy pequeños que desaparecen rápidamente sin que se le permita repoblar. (Espinoza F, 2011, pág. 63).

En los períodos de tiempo analizados la distribución horizontal de bosque manglar del área protegida Manchón Guamuchal presentó un comportamiento dinámico con altas y bajas en su desarrollo, incremento, sabiendo que las necesidades humanas aumentan en medida y dada que la población crece, se da un alto consumo de madera de la masa arbórea para diversos usos, entre los que se mencionan los energéticos, construcción y comercialización. Para el año 2020 muestra una disminución nuevamente en comparación al ciclo de tiempo anterior.

4.2.9 Resultados de cobertura del bosque manglar, área protegida Manchón Guamuchal.

Se presentan a continuación los resultados obtenidos del análisis con imágenes Landsat 8 de cada año analizado del área protegida Manchón Guamuchal donde se muestra la cobertura manglar del año 2011 al año 2020 así como también incrementos y porcentajes en comparación al área total de la masa arbórea de mangle.

Tabla 14. Extensión del bosque manglar por año.

Extensión del bosque de manglar		
Año	Área	Incremento
	ha/año	ha/año
2,011	6,904.00	--
2012	7,135.00	231.00
2013	7,347.00	212.00
2014	7,384.00	37.00
2015	7,086.00	-298.00
2016	7,160.00	74.00
2017	7,168.00	8.00
2018	7,332.00	164.00
2019	7,104.00	-228.00
2020	7,066.00	-38.00

Fuente. Elaboración propia, octubre del año 2021

En la tabla número 14, se observan las extensiones de mangle de cada año y su respectivo incremento anual, además se nota que para el año 2011 la extensión manglar era de 6,904 hectáreas, mientras que para el 2020 la cobertura fue de 7.060 hectáreas, con estos datos obtenidos se muestra a continuación una gráfica en donde se observa la dinámica que tuvo la cubierta de la masa arbórea mostrando altas y bajas respectivamente.

La cobertura total de mangle en el país es de 18,840.08 hectáreas, de las cuales 17,670.56 hectáreas se encuentran en la Costa Pacífica y las 1,169.52 hectáreas en la Costa Caribe. Desglosado por especie: 60.57 hectáreas de Mangle Botoncillo (*Conocarpus erectus*), 585.03 hectáreas de mangle negro o Madre sal

(*Avicennia germinans*), 6,206.07 hectáreas de mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y 11,988.41 de Mangle Colorado o Rojo (*Rhizophora mangle*). El área total para el departamento de Retalhuleu es de 5,110.58 hectáreas divididas por especie 205.76 hectáreas de Mangle negro, 432.84 hectáreas mangle blanco y 4,471.98 ha de Mangle Rojo. (MARN, 2013) citado por (Hernández j. año 2019 pág. 11).

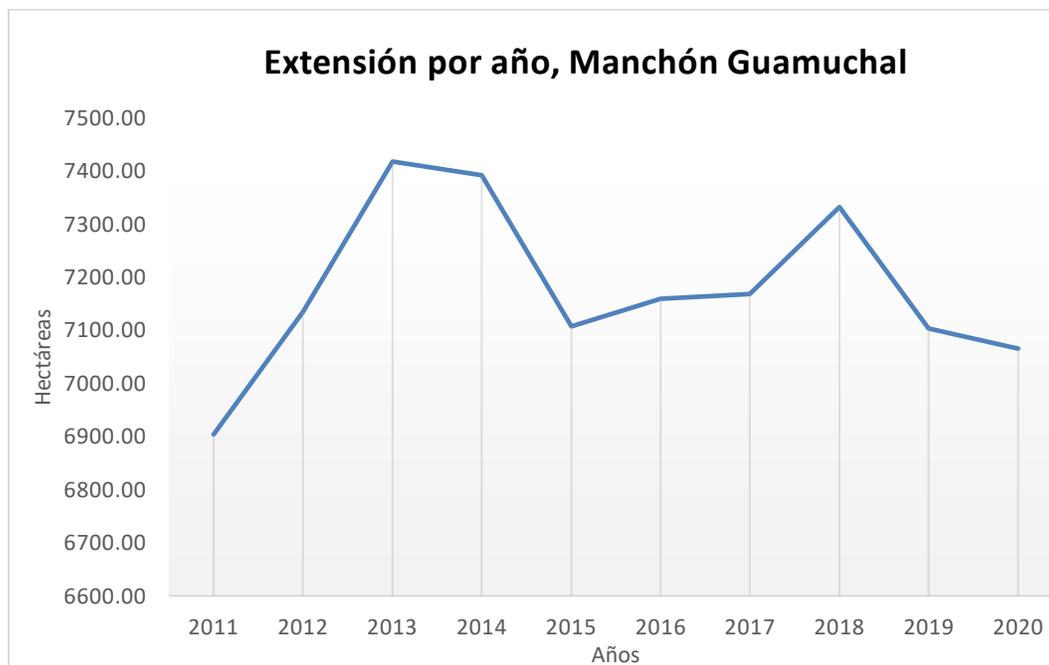


Figura 28. Dinámica de la distribución horizontal del bosque de manglar

Fuente. Elaboración propia, octubre del año 2021

La figura 26, indica que en los primeros años el bosque de mangle muestra un incremento en su extensión, a partir del cuarto año, se verifica que su cobertura decae, a diferencia en el octavo año muestra un ligero aumento, vuelve a tener pérdida en su extensión, claramente la masa arbórea no tiene un aumento uniforme en el pasar de los años, se estimó una tasa de crecimiento de 0.23 %, este aumento es muy bajo, sin embargo se ha ganado más árboles en comparación al 2011. Se presenta a continuación el mapa de la dinámica de la distribución de la masa arbórea del año 2011 al 2020.

Las especies de mangle que mayor depredación sufren son *R. mangle* y *L. racemosa*, la primera por su característica energética, siendo usado como leña; mientras que la segunda por su hábito de crecimiento, porque produce brotes rectos que son empleados en la construcción de viviendas y cercos. La especie *A. germinas* es usada en menores cantidades, aunque también es empleada en la construcción de viviendas. (Espinoza, 2011, pág. 67).

Se puede notar que la necesidad de servicios del bosque está aumentando con el pasar de los años, para determinar este factor a más detalle es necesario la realización de estudios enfocados al consumo de bienes y servicios del mangle en el área protegida Manchón Guamuchal, y aplicar medidas de conservación para evitar pérdidas en los esteros cercanos a los poblados (Ocós, Tilapa, Tilapita y aldea Chico).

4.3 Análisis general de índice de crecimiento y la distribución horizontal del bosque manglar en área protegida Manchón Guamuchal.

Finalmente se presentan los datos recabados para ambos análisis, tanto para las parcelas permanentes de medición como para las coberturas de mangle en el área protegida de Manchón Guamuchal. Mostrando incrementos para cada período analizado

Tabla 15. Análisis de índice de crecimiento y distribución horizontal, área protegida Manchón Guamuchal.

Año	Volumen promedio m ³ / hectárea	Hectáreas/año	Volumen total m ³ /hectárea	Incremento en m ³	Porcentaje de cobertura
2011	--	6904.00	0.00	--	27.62
2012	125.80	7135.00	897607.17	897607.17	28.54
2013	146.64	7418.00	1087763.25	190156.08	29.67
2014	176.99	7392.00	1308328.56	220565.31	29.57
2015	199.93	7108.00	1421124.58	112796.02	28.43
2016	226.54	7160.00	1622017.06	200892.48	28.64
2017	233.57	7168.00	1674214.61	52197.55	28.67
2018	240.42	7332.00	1762759.61	88545.01	29.33
2019	216.21	7104.00	1535943.01	-226816.61	28.42
2020	95.47	7066.00	674597.60	-861345.41	28.26

Fuente. Elaboración propia, octubre del año 2021.

Como se visualiza en la tabla 14, un resumen de los cálculos realizados para cada año analizado en donde se muestran los incrementos por período, el volumen total en metros cúbicos e incremento total en su dimensión requerida, los resultados totales se obtuvieron de la multiplicación de los metros cúbicos por hectárea y la superficie estimada de forma anual, también se muestra el porcentaje anual con relación con el área de estudio.

Las comunidades inmersas al área de estudio utilizan los productos del bosque manglar para construcción de viviendas (*Rhizophora mangle* L.) y consumo de energéticos, principalmente leña para cocción de alimentos. Al no contar con un plan de aprovechamiento solamente solicitan al COCODE de la comunidad cuando extraen madera para remodelar sus ranchos, en el caso de la leña no existe una cantidad límite de extracción. Por las características del ecosistema se ven limitadas las comunidades, para establecer plantaciones con otras especies, para obtener materias primas para construcciones y consumo de leña. (Hernández J. año 2019, pág. 46)

Para la volumetría total del área en los períodos analizados se calculó una tasa de crecimiento que fue de -3% y un incremento de $-20,864.87 \text{ m}^3$, es decir que el bosque de mangle ha estado reduciendo su crecimiento en volumen y en extensión también, la razón por el uso inmoderado de los servicios del bosque de mangle. En la figura 22 se muestra una gráfica en donde se observa la tendencia negativa específicamente en la unidad protegida de Manchón Guamuchal.

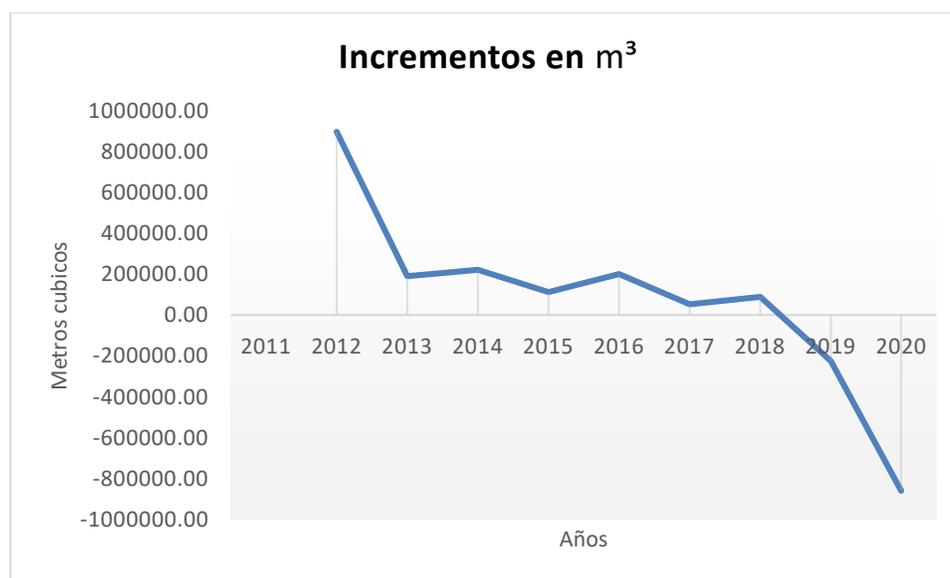


Figura 29. Comportamiento del incremento del bosque manglar, área protegida Manchón Guamuchal.

Fuente. Elaboración propia, septiembre del año 2021.

4.4 Comprobación de Hipótesis

Hipótesis

➤ Hipótesis nula

Los resultados del análisis espectral de imágenes del sensor LANDSAT 8 indican que la distribución horizontal no depende del índice de crecimiento del bosque manglar en parcelas permanentes de muestreo (2011-2020).

➤ **Hipótesis alternativa**

Los resultados del análisis espectral de imágenes del sensor LANDSAT indican que la distribución horizontal depende del índice de crecimiento del bosque manglar en parcelas permanentes de muestreo (2011-2020).

4.4.1 Variables

Independiente

Variable: Índice de crecimiento forestal

Indicadores a. Incremento corriente anual: **Subindicadores**

- Volumen por hectárea
- Área basal por hectárea

b. Densidad por hectárea:

- Número de árboles por hectárea

Dependiente

Variable: Distribución horizontal de la especie

Indicadores: Índices de vegetación y clasificación supervisada

Subindicadores

- Mapas de cobertura vegetal
- Rangos de NDVI de imagen ráster multibanda

➤ Metodología de prueba de Tukey para la comprobación de hipótesis

La Prueba de Tukey es muy utilizada en investigaciones o experimentos de enfoque cuantitativo en la que implica un número elevado de comparaciones lo que sirve para elevar las afirmaciones con respecto a la distribución de valores de una población.

Fórmula de la prueba de Tukey

$$w = q * \sqrt{\frac{CME}{r}}$$

(John W. Tukey, 2014, pág. 10)

Dónde:

- q = es un valor que se obtiene de una tabla (De Tukey), de manera parecida a la tabla de F.
- Solamente existen tablas para niveles de significancia del 5% y del 1%.
- El término que está dentro de la raíz cuadrada se llama error estándar de la media y es igual al cuadrado medio del error (obtenido en el ANDEVA), dividido entre el número de repeticiones.

4.2.1. Hipótesis alternativa aceptada

De acuerdo a los datos obtenidos sobre la investigación entre los años analizados a partir de los años 2011 al 2020, los cuadros estadísticos por años y de las variables del estudio se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 16. Análisis de varianza para la prueba de hipótesis.

ANOVA								
<i>Fuentes</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>	<i>Eta-sq</i>	<i>RMSSE</i>	<i>Omega Sq</i>
Entre grupos	611227461	4	152806865.4	1456.91605	2.2092E-38	0.99403002	13.4949808	0.99317833
Dentro de grupos	3670932.37	35	104883.7819					
Total	614898394	39	15766625.48					

Fuente: elaboración propia, septiembre del año 2021.

Se pudo comprobar que el valor de *p value* es menor que 0.05 (nivel de significancia) y con base en la prueba de Tukey, indica que la regla de decisión define si el alfa que es 0.05 es mayor que el valor de la probabilidad existen diferencias significativas entre cada una de las muestras lo que refiere a la cobertura del bosque manglar de forma anual analizado, en este caso se acepta la hipótesis alternativa y se niega la hipótesis nula.

Es decir que de acuerdo con los cuadros estadísticos estimados anualmente reflejan incrementos en su mayoría de ciclos de tiempo por lo que ha influido en la disminución de cobertura de los bosques de mangle, con base en esto se tiene que las parcelas presentan una tasa de crecimiento de -3 % que es un valor negativo en comparación a los primeros años evaluados, y un incremento de -2.88 %.

4.5 Discusión de los resultados

El estudio realizado sobre el índice de crecimiento y distribución horizontal del bosque manglar en el área protegida Manchón Guamuchal en los departamentos de Retalhuleu y San Marcos en el período de los años 2011 al 2020, se estimaron los volúmenes medios anuales por parcela y la distribución horizontal de la cobertura manglar, en los distintos períodos analizados.

Los resultados del estudio dan respuesta a los objetivos planteados del mismo, se calculó el volumen medio anual de las parcelas y se determinó el área del bosque manglar en las distintas temporalidades. Ambas variables presentaron incrementos y pérdidas, es decir cuando una variable aumenta o disminuye la otra también lo hace.

En el año 2012 se estimó un volumen medio anual en las parcelas permanentes de medición de 125.80 metros cúbicos por hectárea, muestras que para el año 2020 se calculó un volumen medio anual de 95.47 metros cúbicos por hectárea, basándose en esto se tiene que las parcelas presentan una tasa de crecimiento de -3 % que es un valor negativo en comparación a los primeros años evaluados, y un incremento de -2.88 %.

En la distribución horizontal se calculó para el año 2011 una extensión de 6,904 hectáreas y para el año 2020 presenta una extensión de 7,066 hectáreas, con una tasa de crecimiento de 0.23 % sin embargo la dinámica muestra una tendencia negativa para el bosque de manglar.

Finalmente se realizó ponderación de los datos de las parcelas permanentes de medición con el hectareaje calculado para cada año donde se obtuvo para el 2012 el bosque de mangle mostraba un volumen total de 897,607.17 metros cúbicos y para el año 2020 muestra un volumen de 674,597.60 metros cúbicos. Para la masa arbórea manglar se tiene una tasa de crecimiento de -0.03% y un incremento de -20,864.88 metros cúbicos respectivamente.

Conclusiones

Para el año 2011 se estimó una extensión de 6,904 hectáreas sobre la base de las imágenes satelitales que representan en 27.62 % del área de estudio mientras que para 2012 muestra una extensión de 7,135 hectáreas equivalentes al 28.54 % del área, el 2013 muestra 7,418 hectáreas equivalentes al 29.67% de total, 2014 posee 7,392 hectáreas siendo el 29.57% de área, 2015 fue de 7,108 hectáreas que representa el 28.43%, 2016 muestra 7,160 hectáreas equivalentes al 28.64%, 2017 con 7,168 hectáreas correspondiendo al 28.67% año 2018 tiene 7,332 hectáreas iguales al 29.33%, año 2019 muestra 7,104 hectáreas siendo el 28.42 % y finalmente para 2020 con 7,066 hectáreas equivalentes al 28.26% del área de estudio

El Índice de crecimiento medio anual está representado por el incremento anual teniendo así los siguientes datos para el año 2011 los cálculos quedan nulos las parcelas de este año no incluyen el área protegida Manchón Guamuchal. El año 2012 se tomó como año inicial y a partir del año 2013 se muestran los incrementos correspondientes iniciando con 20.83 m³/ha, año 2014 muestra 30.35 m³/ha, año 2015 22.61 m³/ha, año 2016 tiene 26.61 m³/ha, año 2017 con 7.03 m³/ha, año 2018 con 6.85 m³/ha, año 2019 con -24.21 m³/ha y el año 2020 con -120.74 m³/ha.

El índice de vegetación estimado para cada año analizado corresponde a los siguientes datos, para el año 2011 se calculó un NDVI de 0.59, año 2012 de 0.56, el año 2013 de 0.55, año 2014 de 0.64, para el año 2015 0.63, año 2016 con 0.60, el año 2017 fue de 0.62, para el 2018 de 0.64, para 2019 de 0.60 y para el año 2020 con un NDVI de 0.69. se puede notar que los rangos de índice de vegetación para el bosque de mangle del área protegida Manchón Guamuchal se mantienen en un rango de 0.55 a 0.69 en los años calculados.

La distribución del bosque manglar a lo largo de la línea costera ha variado, observándose mayores cambios en las áreas que tenían menor cantidad de este bosque. De igual forma ha desaparecido la masa arbórea de acompañamiento del manglar pues ha sido explotado severamente juntamente con el mangle.

Las causas como el cambio de uso del suelo, la tala inmoderada de árboles, el uso de la madera de forma ilegal, han dado cambios en la cobertura del bosque manglar, estos son modificaciones dentro de la distribución de las aguas de las mareas, la poca facilidad de acceso a este bosque y la pérdida de la masa arbórea por acciones de los pobladores que hacen del mangle una especie que se está perdiendo aceleradamente.

Recomendaciones

Luego de los análisis realizados en los datos de la investigación, es de vital importancia realizar recomendaciones enfocadas a los resultados obtenidos del estudio, que contribuyen a la restauración del ecosistema manglar.

- Desarrollar actividades de restauración y mantenimiento en las áreas degradadas de mangle. Estas zonas generalmente están cerca de los caminos, canales de navegación y límites de la reserva con los poblados vecinos al mangle. El área para restaurar estará de acuerdo con los objetivos de las comunidades y apoyo del Instituto Nacional de Bosque INAB. Gestionar con los municipios de Ocos, Retalhuleu y dependencias estatales para que cumplan con los aprovechamientos del bosque de manglar.

- Es necesario fortalecer las investigaciones que se realizan en el área incrementando el número de parcelas permanentes de medición forestal ubicadas en la cobertura manglar del área protegida Manchón Guamuchal. Para conservar el bosque de mangle en la unidad de conservación, una forma de hacerlo amparada en la Ley Forestal del país es concesionando la tierra de la reserva a los comunitarios, que estén organizados en Comités de vecinos. Esto tiene fundamento al no tener los comunitarios, legitimidad del uso la de la tierra, no se ven obligados a proteger el ecosistema del mangle, y que las instituciones encargadas de esta zona refuercen las actividades que realizan por el resguardo de la masa arbórea.

- Para mejorar la estimación del NDVI del ecosistema manglar es necesario la instalación de más parcelas de medición permanente que estén ubicadas en zonas que no tengan intervención humana, y así de esta manera poder hacer un mejor análisis del índice de Vegetación de los bosques de los manglares no solo

en los esteros del Manchón Guamuchal si no a nivel nacional. Esto permitirá obtener un rango de NDVI más homogéneo para la especie.

- Cuantificar el cambio en la cobertura del bosque manglar en las áreas fuera del humedal Manchón Guamuchal y emplear imágenes de mayor resolución espacial y espectral para diferenciar especies de mangle y los individuos vegetales asociadas a este ecosistema manglar de suma importancia para los seres humanos y para el mantenimiento de la biodiversidad marino-costera, al proporcionar un hábitat crítico para especies terrestres, marinas, costeras y servir de zonas de cría para muchas de ellas, así como para la pesca.

Referencias bibliográficas

Álvarez, R.P. (2005). *Cartografía de la cobertura de Manglares mediante imágenes satelitales*. Cuba.

Bense, T. (05 de noviembre de 2007). Obtenido de Sociedad Latinoamericana de Percepción Remota y Sistemas de información espacial.: <http://selper.org.uy>

CICEANA. (10 de mayo de 2019). Obtenido de Centro de información y comunicación ambiental de Norte América: <http://www.ciceana.org.mx/recursos/percepcion%20remota.pdf>

CONAP. (2010). *Ficha informativa de los Humedales de Ramsar (FIR)*. Guatemala: Consejo nacional de áreas protegidas.

Corredor, J. (2012). *Análisis espectral de imagen del sensor LANDSAT 8, como herramienta para la definición de tipos de bosque de mangle, en la ciénaga de la caimanera, departamento de Sucre*. Bogotá.

Encinas, J. i. (2008). *Epidometría forestal*. Venezuela: facultad de ciencias forestales y ambientales.

Esa. (07 de mayo de 2019). Obtenido de Europa Space Agency: <http://eduspace.esa.int/subtopic/default.asp?document=295&language=es>

Espinoza, F. (2011). *Determinación de la dinámica del bosque manglar del departamento de Retalhuleu y el municipio de Ocos San Marcos*. Guatemala.

FAO. (2005). *Evaluación de los recursos forestales mundiales, estudio temático sobre manglares Guatemala*. Guatemala: FAO.

Gómez, M. (1995). *Vulnerabilidad de la costa del pacífico de Guatemala ante posible ascenso del nivel del mar*. Guatemala.

Naturales, I. n. (2007). *Plan maestro del Santuario Nacional los Manglares de Tumbes*. Lima, Perú: IRENA.

Glosario

Árbol

Vegetal que posee más de 5 m de altura con tronco y forma definida.

Bosque

Comunidad biológica donde predominan los árboles en extensión de una misma o distinta especie.

Bosque natural

Es un bosque donde el hombre no ha intervenido en su nacimiento o repoblación
sinónimo: bosque nativo.

Desecho forestal

Todo material vegetal que queda luego de realizada la cosecha del bosque.

Especie

Nivel de clasificación vegetal. La especie posee una denominación común y otra científica. La científica va subrayada y acompañada con el nombre de la primera persona que la investigó.

Forestación

Acción de poblar con especies arbóreas o que carezcan de ella, o que teniéndola ésta no se pueda cosechar en forma económica.

Hectárea

Unidad de medida de superficie equivalente a 10.000 m², o un cuadrado de 100 metros por sus 4 costados.

Manejo forestal

Técnica silvícola aplicada a las plantaciones o bosques, con el objetivo de mejorar la calidad de éstos. ej. mayor volumen, protección de agua y suelo.

Plan de manejo

Programa realizado por algún especialista que regula el uso y aprovechamiento racional de los recursos naturales renovables de un terreno determinado, con el fin de obtener el máximo beneficio de ellos, asegurando al mismo tiempo la conservación, mejoramiento y acrecentamiento de dichos recursos.

Recurso

Bienes o medios de subsistencia, a los que se recurre o accede para satisfacer necesidades. ej. ríos para energía, bosques para madera.

Reforestación

acción de poblar con especies arbóreas o arbustivas mediante plantación de terrenos que han sido cosechados

Silvicultura

Ciencia que trata del cultivo de montes y bosques.

Altitud

Es la distancia vertical entre un punto situado sobre la superficie terrestre o la atmósfera y el nivel medio del mar.

Atmósfera

La porción gaseosa o de aire del medio ambiente físico que rodea al planeta. En el caso de la tierra, se mantiene más o menos cerca de la superficie gracias a la atracción de la fuerza de gravedad de la tierra. La atmósfera se divide en: troposfera, estratosfera, mesosfera, ionosfera y exosfera.

Banda espectral

Es una selección de longitudes de onda con comportamientos electromagnéticos similares.

Biosfera

Zona de transición entre la tierra y la atmósfera dentro de la que se encuentran casi todas las formas de vida terrestre. Se considera como la porción externa de la geosfera y la porción interna o inferior de la atmósfera

Cambio climático

Son las variaciones en los promedios de los valores de los elementos meteorológicos (temperatura, precipitación, humedad) de una amplia región, a lo largo de un período de tiempo, las cuales provocan alteraciones en el clima original de esa zona.

Capa de ozono

Capa atmosférica situada entre la troposfera y la estratosfera entre 15 y 25 kilómetros sobre la superficie de la tierra. Actúa como un mecanismo de filtro de la radiación ultravioleta.

Coordenadas

Cualquier sistema donde los puntos son definidos como una dirección o distancia específica de un punto de referencia medido con respecto a ejes definidos.

Detector

Es el dispositivo de un sensor que registra radiación electromagnética.

Efecto invernadero

Es el calentamiento global de la atmósfera debido a la presencia de dióxido de carbono y de vapor de agua. Estos dos gases permiten que no todos los rayos del sol que calientan la tierra escapen y se reintegren al espacio.

Equinoccio

Cualquiera de los dos puntos de intersección de la trayectoria anual aparente del Sol y el plano del ecuador de la Tierra, es decir, un punto de intersección de la eclíptica y el ecuador celeste. Popularmente, el tiempo en el que el Sol pasa directamente por encima del Ecuador.

Espectro electromagnético

El espectro electromagnético es la organización de bandas de longitudes de onda o frecuencia desde las más cortas a las más largas. En Teledetección sólo se utilizan algunas de estas bandas, para obtener información de la superficie de la Tierra o de la atmósfera. Entre las bandas más utilizadas están: La luz visible, el Infrarrojo cercano, el Infrarrojo medio, el Infrarrojo lejano o térmico y las Microondas.

Estratósfera

Región de la atmósfera superior, entre la troposfera y la mesosfera, situada aproximadamente a 15-55 kilómetros por encima de la superficie terrestre. Cerca del 90% del ozono atmosférico está situado en la estratosfera, donde alcanza su máxima concentración entre los 15 y 23 kilómetros de altitud.

Firma espectral

Es la forma peculiar de reflejar o emitir energía de un determinado objeto o cubierta. Depende de las características físicas o químicas del objeto que interacciona con la energía electromagnética, y varía según las longitudes de onda.

Fotografía aérea

La fotografía es un sistema de percepción remota que utiliza la reflexión natural del sol, obtenidas desde un avión o un satélite, presentan variaciones de tono, textura, forma y patrones que corresponden a diferencias en rasgos y estructuras en la superficie. De estos elementos, las variaciones de tono que se observan en las fotografías aéreas convencionales son las mismas que se ven con los ojos. La fotografía está limitada a longitudes de ondas ópticas compuestas de las porciones ultravioleta (UV), visible e infrarrojo cercano del espectro electromagnético. La primera y la última de estas porciones son recuperables bajo condiciones especiales de películas y filtros.

Fotointerpretación

Interpretación realizada sobre fotos aéreas verticales y ortofotomapas, con el propósito de obtener información confiable de los objetos físicos y el medio ambiente con ayuda de los procesos de registro y medición.

Imagen de satélite

Es una representación pictórica de la medición de energía electromagnética registrada por un sensor; y no por medios fotográficos. Una fotografía se toma generalmente dentro de un cierto rango del espectro (luz visible). Los satélites toman imágenes más allá de este rango limitado. Las imágenes de satélite son ficheros ráster, formadas por una matriz regular o rejilla de celdas, a cada una de las cuales, denominada píxel (Picture Element, Elemento de Imagen), se le asigna un valor digital, que corresponde a la reflectividad recogida por el sensor.

Imagen multiespectral

O multibanda es un conjunto de imágenes, con las mismas propiedades geométricas, cada una de las cuales recoge el valor de reflectancia en un determinado intervalo de longitud de onda del espectro electromagnético.

Latitud

Líneas imaginarias paralelas que circundan el globo tanto al norte como al sur del ecuador. Los polos están ubicados a 90 grados de latitud Norte y Sur y el ecuador a cero grados (0) de latitud.

Longitud

Lugar al este u oeste al que se le asigna cero (0) grados de longitud en referencia al meridiano de origen (Greenwich). La distancia entre las líneas imaginarias de longitud es mayor en el ecuador y menor en las latitudes altas, interpretándose todas en los polos.

Pancromática

Imagen de una sola banda que cubre gran parte del espectro visual. Las imágenes convencionales en blanco y negro son pancromáticas.

Píxel

Un píxel (picture element) es la menor unidad en la que se descompone una imagen digital. El píxel es el elemento pictórico más pequeño de las imágenes que es susceptible de ser procesado.

Ráster

Modelo de datos de un SIG basado en las localizaciones espaciales sobre una retícula regular de puntos a los cuales se le asigna el valor de elevación.

Reflectancia o reflectividad

La longitud de los cuerpos varía según la longitud de onda que incide sobre ellos, normalmente la reflectividad aumenta a medida que la longitud de onda disminuye, no obstante, existen cuerpos donde esta relación es inversa (nieve) o irregular (vegetación). También la reflectividad está influenciada por la textura del cuerpo, para una misma longitud de onda, la reflectividad más baja se

encuentra en el agua, aumenta para el suelo, vegetación enferma, vegetación sana y es máxima para la nieve.

Resolución

La resolución de un sensor es su habilidad para registrar información en detalle de las distintas cubiertas. La resolución depende de la capacidad de los sensores para distinguir variaciones de la energía electromagnética, del detalle espacial que captura y del número y ancho de las bandas que alberga.

Respuesta Espectral

Cada tipo de material radia una combinación de frecuencias característica (respuesta espectral) como consecuencia de su composición, estructura y actividad.

Satélite

Cualquier objeto que recorre una órbita alrededor de un cuerpo celeste como la luna. El término se usa normalmente para designar las plataformas artificiales que orbitan la Tierra.

Sensores activos

Los sensores pasivos de teledetección reciben la señal de una fuente de luz o energía externa reflejada por la superficie de los cuerpos. Estos sensores están incluidos sobre la mayoría de los satélites que manejan las bandas del espectro visible.

Sensores pasivos

Los sensores activos, se basan en que proveen su propia fuente de energía que emiten hacia los cuerpos y reciben la señal de retorno. Entre los sensores activos más comunes están los radares, que pueden trabajar bajo cualquier condición atmosférica, tanto de día como de noche. Estos sensores trabajan principalmente en la región del microondas.

Sistemas de Información Geográfica

(SIG) Programas informáticos que proporcionan herramientas para el procesamiento, gestión, análisis y representación de datos con una componente cartográfica.

Teledetección

Técnica mediante la cual se obtiene información sobre la superficie de la Tierra, a través del análisis de los datos adquiridos por un sensor o dispositivo situado a cierta distancia, apoyándose en medidas de energía electromagnética reflejadas o emitidas.

Trabajo de campo

Consiste en identificar y describir las zonas caracterizadas previamente por los métodos de procesamiento digital y fotointerpretación. La observación en el campo de características de detalle no observables en las imágenes de satélite ni en las fotografías aéreas, permite verificar la información obtenida y acabar de delimitar y caracterizar estas zonas de acuerdo a los requerimientos técnicos de los estudios. Las descripciones de paisaje y de los elementos característicos se consignan en un formulario para luego ser utilizadas en la corroboración de la información y posterior incorporación a una base de datos.

Apéndice



Apéndice A. Boleta para la recolección de datos de campo.

Responsable _____ Fecha de levantamiento

Nombre del sitio en donde se encuentra las parcelas

Observaciones.

No.	Altitud	Coordenada GTM (X)	Coordenada GTM (Y)	Tamaño en m ²	Observaciones
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					



Apéndice

B. **Boleta**

para la recolección de datos de campo.

Responsable _____ Fecha de levantamiento _____ Altitud (msnm)

Parcela No. _____ Coordenadas: X _____ Y

Observaciones en la parcela

No	Especie	DAP (cm)	Altura total en metros	Altura de raíces (m)	Observaciones
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					

Apéndice C. Fotografías.



Figura 30. Parcelas de medición, realizados en el bosque manglar en Retalhuleu.

Fuente: Elaboración propia, septiembre de 2021

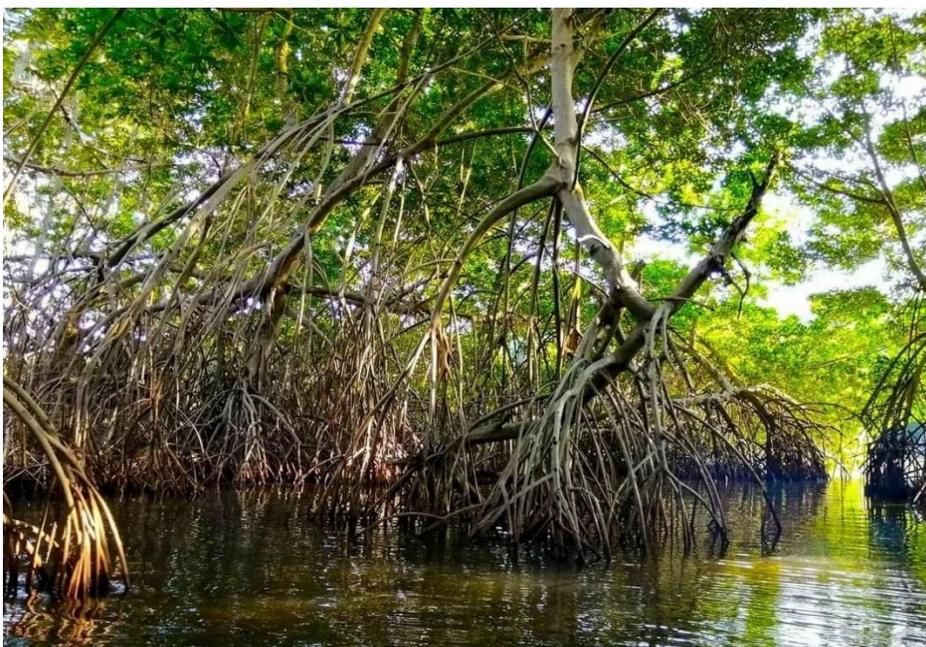


Figura 31. Parcelas de medición, realizados en el bosque manglar en San Marcos.

Fuente: Elaboración propia, septiembre de 2021



Figura 32. Raíces aéreas del bosque manglar.

Fuente. Elaboración propia, septiembre de 2021.



Figura 33. César Zacarías encargado de manglar INAB.

Fuente. Elaboración propia, septiembre de 2021.



Figura 34. Medición de parcelas permanentes, Retalhuleu.

Fuente. Elaboración propia, septiembre de 2021



Figura 35. Manglar muerto, Retalhuleu.

Fuente. Elaboración propia, septiembre de 2021