

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

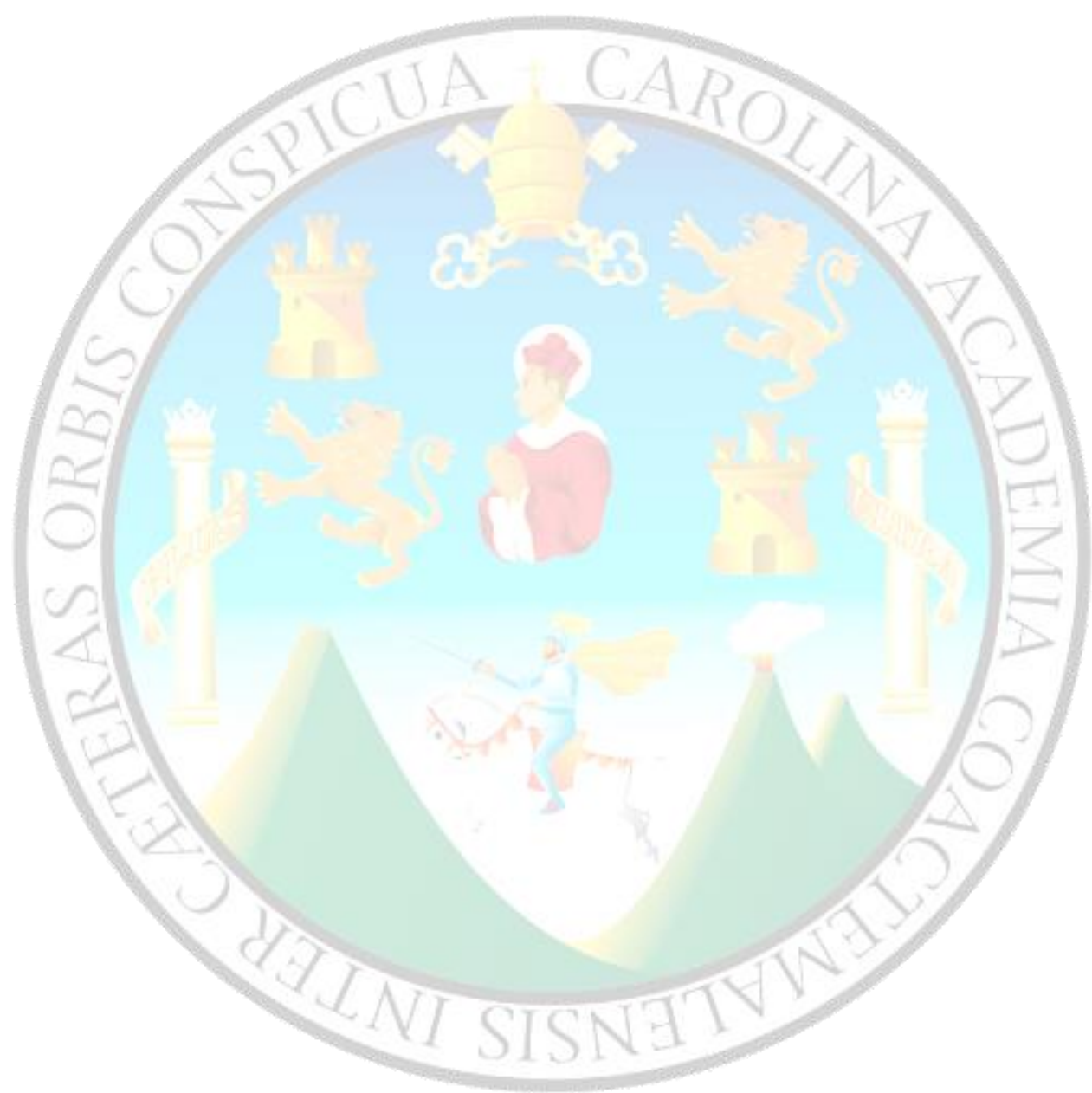
TRABAJO DE GRADUACIÓN

**ESTIMACIÓN DE CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA Y DE LAS RAÍCES DEL ECOSISTEMA DE
MANGLAR UTILIZANDO SENSORES REMOTOS EN EL ÁREA PROTEGIDA REFUGIO DE VIDA SILVESTRE
PUNTA DE MANABIQUE, IZABAL, GUATEMALA, C.A.**

**DIAGNÓSTICO DEL ECOSISTEMA MANGLAR DEL ÁREA PROTEGIDA REFUGIO DE VIDA SILVESTRE PUNTA DE
MANABIQUE Y SERVICIOS PRESTADOS EN LA UNIDAD TÉCNICA COADMINISTRATIVA, PUERTO BARRIOS,
IZABAL, GUATEMALA, C.A.**

VIRGINIA MARISOL ESTRADA RODAS

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**ESTIMACIÓN DE CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA Y DE LAS RAÍCES DEL ECOSISTEMA
MANGLAR UTILIZANDO SENSORES REMOTOS EN EL ÁREA PROTEGIDA REFUGIO DE VIDA SILVESTRE
PUNTA DE MANABIQUE, IZABAL, GUATEMALA, C.A.**

**DIAGNÓSTICO DEL ECOSISTEMA MANGLAR DEL ÁREA PROTEGIDA REFUGIO DE VIDA SILVESTRE PUNTA DE
MANABIQUE Y SERVICIOS PRESTADOS EN LA UNIDAD TÉCNICA COADMINISTRATIVA, PUERTO BARRIOS,
IZABAL, GUATEMALA, C.A.**

**PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD
DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

POR

VIRGINIA MARISOL ESTRADA RODAS

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERA AGRÓNOMA**

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

M.A. WALTER RAMIRO MAZARIEGOS BIOLIS

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
VOCAL I	Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
VOCAL II	Dra. Gricelda Lily Gutiérrez Álvarez
VOCAL III	Ing. Agr. M.A. Jorge Mario Cabrera Madrid
VOCAL IV	Br. Carmen Aracely García Pirique
VOCAL V	Ing. Agr. Maynor Fernando Almengor Órenos
SECRETARIO	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2022

Guatemala, septiembre 2022

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación titulado: **“Estimación de carbono almacenado en la biomasa aérea y de las raíces del ecosistema manglar utilizando sensores remotos en el área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, Izabal, Guatemala, C.A. Diagnóstico del ecosistema manglar del área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique y servicios prestados en la Unidad Técnica Coadministrativa, Puerto Barrios, Izabal, Guatemala, C.A.”**, como requisito previo a optar al título de Ingeniera Agrónoma en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Virginia Marisol Estrada Rodas

ACTO QUE DEDICO

A:

- | | |
|-------------------|--|
| DIOS | Por las bendiciones recibidas, por cuidarme, ser mi guía en cada paso y permitirme vivir este momento. |
| MIS PADRES | Héctor Enrique Estrada Gómez y Erika Marisol Rodas Velázquez de Estrada por su apoyo incondicional en todo momento, esfuerzos y sacrificios para lograr mis metas. Por su amor, educación y formación moral para ser la persona que hoy en día soy. |
| HERMANOS | Amanda Marilyn Estrada Rodas con quien compartí todo el proceso de la época universitaria y el EPS gracias por todo tu apoyo, y Héctor Eladio Estrada Rodas mi hermanito menor gracias por tus mensajes a pesar de la distancia. Cuentan con mi apoyo. |
| AMIGOS | Con quienes he compartido en cada etapa de mi vida, gracias por la amistad y su apoyo. |

AGRADECIMIENTOS

A:

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Mi querida alma máter, USAC tricentenaria grande entre las del mundo, es un orgullo ser parte de ti.

FACULTA DE AGRONOMÍA

Casa de estudios de educación superior de mi formación como profesional.

ASESORES Y SUPERVISOR

Ing. Agr. David Elías Mendieta Jiménez, Ing. Forestal Danger Danilo Gómez Xutuc, Ing. Agr. Juan José Castillo Mont e Ing. Agr César Linneo García por todo su apoyo incondicional, enseñanzas y ayuda para la investigación realizada. Por sus consejos en no desistir y culminar con éxito esta etapa.

CONAP

Por permitirme desarrollar mi Ejercicio Profesional Supervisado. Al personal técnico y a los guardarecursos por su apoyo en la gira de campo.

ÍNDICE GENERAL

	PÁGINA
1. CAPÍTULO I.....	1
DIAGNÓSTICO DEL ECOSISTEMA MANGLAR DEL ÁREA PROTEGIDA	
REFUGIO DE VIDA SILVESTRE PUNTA DE MANABIQUE Y LA	
UNIDAD TÉCNICA COADMINISTRATIVA, PUERTO BARRIOS, IZABAL.	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo general	3
1.2.1 Objetivos específicos	3
1.3 METODOLOGÍA	3
1.3.1 Reconocimiento de la unidad técnica RVSPM	4
A. Recopilación y revisión de información a través de fuentes primarias	4
1.3.2 Recopilación de información biofísica y determinación de las	
características socioeconómicas.....	4
A. Recopilación y revisión de información a través de fuentes	
secundarias	4
B. Delimitación del área.....	5
1.3.3 Desarrollo y análisis de la información	5
A. Integración de información.....	5
B. Arreglo de mapas temáticos.....	5
C. Problemas identificados	5
D. Priorización de los problemas.....	6
E. Análisis de soluciones	6
1.4 RESULTADOS	7
1.4.1 Ubicación de la unidad técnica RVSPM.....	8
A. Situación actual de la unidad técnica	8
B. Estructura organizativa.....	8
C. Atribuciones y/o actividades de la unidad técnica RVSPM	11
D. Análisis FODA de la unidad técnica RVSPM	12

	PÁGINA
E. Ubicación geográfica del ecosistema manglar	13
F. Situación legal del área.....	13
1.4.2 Características biofísicas	14
A. Clima	14
B. Zonas de vida	15
C. Fisiografía	15
D. Hidrología e hidrografía	16
E. Vegetación	17
F. Distribución de mangle	18
G. Fauna asociada.....	19
H. Aspectos oceanográficos	19
I. Mareas	20
J. Geología.....	20
K. Suelos	21
L. Fenómenos naturales	21
1.4.3 Características socioeconómicas	21
A. Población	21
B. Densidad poblacional.....	23
C. Infraestructura y servicios	23
1.4.4 Problemas identificados	24
A. Pérdida de la cobertura del bosque manglar	24
B. Avance de la frontera agrícola y ganadera	25
D. Falta de protección del bosque manglar	25
E. Cambio de uso de la tierra en áreas del bosque manglar	25
1.4.5 Priorización de los problemas identificados	25
1.4.6 Análisis de solución de problemas	26
1.5 BIBLIOGRAFÍA.....	28
1.6 ANEXOS.....	30
CAPÍTULO II.....	41

ESTIMACIÓN DE CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA Y DE LAS RAÍCES DEL ECOSISTEMA MANGLAR UTILIZANDO SENSORES REMOTOS EN EL ÁREA PROTEGIDA REFUGIO DE VIDA SILVESTRE PUNTA DE MANABIQUE, IZABAL, GUATEMALA, C.A.	41
2.1 INTRODUCCIÓN	42
2.2 MARCO TEÓRICO	44
2.2.1 Marco conceptual	44
2.2.2. Marco referencial	60
2.3 OBJETIVOS	64
2.3.1 Objetivo general	64
2.3.2 Objetivos específicos	64
2.4. METODOLOGÍA	65
2.4.1 Etapa inicial de gabinete	65
2.4.2 Etapa de campo	67
2.4.3 Etapa final de gabinete	68
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	76
2.5.1 Delimitación del área de estudio	76
2.5.2 Relación distribución del manglar	78
2.5.3 Relación distribución del manglar con los niveles de profundidad	78
2.5.4 Relación distribución del ecosistema manglar con la salinidad	79
2.5.5 Especies de mangle presentes	80
2.5.6 Análisis espectral del ecosistema manglar	82
2.5.7 Clasificación de la vegetación utilizando índices de vegetación	83
2.5.8 Mapa de cobertura forestal y uso de la tierra del año 2020	86
2.5.9 Mapa estimación de carbono en la biomasa aérea y de las raíces del ecosistema manglar	90
2.5.9.1 Estimación de carbono en la biomasa aérea y de las raíces del ecosistema manglar	90
2.5.9.2 Toneladas de biomasa en el ecosistema manglar	92
2.5.9.3 Dióxido de carbono equivalente	93

	PÁGINA
2.5.10 Mapa del ecosistema manglar a nivel de microcuencas	96
2.6. CONCLUSIONES	100
2.7. RECOMENDACIONES	101
2.8 BIBLIOGRAFÍA	102
2.9 ANEXOS.....	107
CAPÍTULO III.....	111
INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS EN LA UNIDAD TÉCNICA DEL ÁREA	
PROTEGIDA REFUGIO DE VIDA SILVESTRE PUNTA DE MANABIQUE	
(UTRVSPM) DURANTE LOS MESES DE FEBRERO A NOVIEMBRE	
DEL 2020.	111
3.1 INTRODUCCIÓN.....	112
3.2 SERVICIO 1. MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA EN LAS ÁREAS DE	
RECUPERACIÓN PESQUERAS DE BAHÍA LA GRACIOSA Y LAGUNA	
SANTA ISABEL, ÁREA PROTEGIDA REFUGIO DE VIDA SILVESTRE	
PUNTA DE MANABIQUE.	114
3.2.1 OBJETIVOS.....	114
A. Objetivo general	114
B. Objetivos específicos.....	114
3.2.2 METODOLOGÍA	115
A. Ubicación de los puntos de muestreo	115
B. Parámetros medidos en el monitoreo de calidad de agua	117
C. Procedimiento para la toma de muestras	118
D. Análisis de laboratorio	119
E. Elaboración de base de datos digital e informe	120
3.2.3 RESULTADOS.....	121
3.2.4 CONCLUSIONES.....	126
3.2.5 RECOMENDACIONES	127
3.2.6 ANEXOS	128

3.3 SERVICIO 2. LEVANTAMIENTO DE PARCELAS DE TAMAÑO VARIABLE EN EL ECOSISTEMA MANGLAR DEL ÁREA PROTEGIDA REFUGIO DE VIDA SILVESTRE PUNTA DE MANABIQUE.	132
3.3.1 OBJETIVOS	132
A. Objetivo general	132
B. Objetivos específicos	132
3.3.2 METODOLOGÍA	132
A. Uso de la boleta digital	132
B. Llenado de la boleta Digital	134
a. Nombre	135
b. Fecha	135
c. Ubicación geográfica	136
d. Lugar o Sitio	137
e. Cobertura forestal	138
f. Suelo	138
g. Alteración	139
h. Parcelas de tamaño variable	140
i. Fotografías	142
j. Observaciones y envío de la información	142
C. Material y equipo	143
3.3.3 RESULTADOS	144
3.3.4 CONCLUSIONES	149
3.3.5 RECOMENDACIONES	150
3.3.6 ANEXOS	151
3.3.7 BIBLIOGRAFÍA	154

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Organigrama de la unidad técnica del APRVSPM.	8
Figura 2A. Mapa de delimitación del área protegida RVSPM, Puerto Barrios, Izabal.	30
Figura 3A. Mapa de cobertura de manglar en el área protegida RVSPM.	31
Figura 4A. Mapa de zonas de vida del ecosistema manglar RVSPM.	32
Figura 5A. Mapa de geología en el ecosistema manglar RVSPM.	33
Figura 6A. Mapa de fisiografía del ecosistema manglar RVSPM.	34
Figura 7A. Mapa taxonomía de suelos en ecosistema manglar RVSPM.	35
Figura 8A. Mapa de serie de suelos en ecosistema manglar RVSPM.	36
Figura 9A. Mapa de cuencas hidrográficas en ecosistema manglar RVSPM.	37
Figura 10A. Mapa de centros poblados del área protegida RVSPM.	38
Figura 11A. Gira de campo para la identificación del ecosistema manglar.	39
Figura 12A. Ecosistema manglar en el APRVSPM.	39
Figura 13A. Ecosistema manglar en el APRVSPM.	40
Figura 14A. Ecosistema manglar en el APRVSPM.	40
Figura 15. Mapa ubicación del ecosistema manglar en el APRVSPM.	63
Figura 16. Código del Script en la Plataforma Google Earth Engine (GEE).	69
Figura 17. Agrupación y eliminación de pixels en software ERDAS Imagine.	71
Figura 18. Promedio de las bandas y gráfica de campana valor Z.	72
Figura 19. Polígono en manglar trasladado a la clase de bosque.	73
Figura 20. Valor del estimador del estrato y tC/ha calculado.	74
Figura 21. Mapa de delimitación del ecosistema manglar en el área protegida RVSPM.	77
Figura 22. Mangle rojo o Colorado <i>Rhizophora mangle</i> (L.) situado en la zona de usos múltiples del APRVSPM.	81
Figura 23. Mangle blanco <i>Laguncularia racemosa</i> (L) situado en la zona de usos múltiples del APRVSPM.	82
Figura 24. Combinación de bandas para el infrarojo color en el área de estudio.	83
Figura 25. Mapa de cobertura forestal y uso de la tierra año 2020 en el APRVSPM.	89
Figura 26. Mapa estimación de carbono del ecosistema manglar en el RVSPM.	95

PÁGINA

Figura 27. Mangle detectado en la orilla de la costa y ríos.....	97
Figura 28. Mangle detectado en ríos que desembocan en el Golfo de Honduras.....	97
Figura 29. Mangle detectado en río Machacas.....	98
Figura 30. Mapa del ecosistema manglar a nivel de microcuencas.....	99
Figura 31A. Sonda multiparamétrica física HI98194.....	107
Figura 32A. Lectura de la salinidad obtenida con la sonda multiparamétrica en el punto de muestreo.	107
Figura 33A. Distribución de mangle rojo (flecha roja) y mangle blanco (flecha blanca) por su profundidad.	108
Figura 34A. Mangle rojo en orilla de laguna Santa Isabel.	108
Figura 35A. Mangle rojo y mangle blanco en orillas de bahía La Graciosa.	109
Figura 36A. Entrada bahía La Graciosa mangle menos desarrollado en altura y DAP por factores como las mareas.	109
Figura 37A. Árboles de mangle caídos por el paso del huracán Eta e Iota.....	110
Figura 38A. Observación de extracción de madera en la gira de campo.....	110
Figura 39. Mapa de puntos de muestreo en el monitoreo de calidad del agua.....	116
Figura 40. Diagrama de flujo del análisis de fosfato.	120
Figura 41. Avistamiento de delfines en Bahía La Graciosa, APRVSPM.	125
Figura 42A. Boleta de campo que se utilizó para control y registro de datos del monitoreo de calidad del agua RVSPM.....	128
Figura 43A. Toma de muestras para análisis.	129
Figura 44A. Muestra con reactivo.....	129
Figura 45A. Lectura de la muestra.	130
Figura 46A. Boleta con la información.....	130
Figura 47A. Boleta de avistamiento de delfines en el APRVSPM.....	131
Figura 48. Flecha indica la opción para abrir la boleta digital en la aplicación Survey 123.....	133
Figura 49. Opción de adquirir boleta virtual y registrar datos.....	134
Figura 50. Boleta digital 07_collectMANGLE.....	134
Figura 51. Casilla nombre del anotador.....	135

PÁGINA

Figura 52. Calendario en la boleta digital.	135
Figura 53. Ubicación geográfica por medio de la aplicación Survey 123.	136
Figura 54. Opción para agregar coordenadas y altitud de forma manual en la boleta virtual.....	137
Figura 55. Nombre del lugar del área de estudio.....	137
Figura 56. Identificación de la cobertura forestal.	138
Figura 57. Tipo de suelo presente en las parcelas de tamaño variable.	139
Figura 58. Alteración del bosque y que tipo de alteración.	140
Figura 59. Cuadrantes en la parcela de tamaño variable.	141
Figura 60. Información de variables dasométricas y físicas de los cuadrantes.....	141
Figura 61. Casilla donde se agregaron fotografías.	142
Figura 62. Observaciones y envío de boleta digital.	142
Figura 63. Puntos de las parcelas de tamaño variable en el manglar del RVSPM en la Plataforma virtual del INAB.....	145
Figura 64. <i>Rhizophora mangle</i> L. (a), <i>Laguncularia racemosa</i> (L.) (b).....	146
Figura 65. <i>Avicennia germinans</i> (c).	147
Figura 66A. Aplicación Survey 123 en el teléfono móvil.	151
Figura 67A. Mangle rojo (flecha roja) y mangle blanco (flecha blanca) identificados en una parcela de tamaño variable.	151
Figura 68A. Árboles de manglar caídos a consecuencia de la tormenta Eta e Iota.	152
Figura 69A. Ecosistema manglar predominado por la especie de mangle rojo.	152
Figura 70A. Medición de DAP, altura y distanciamiento en las parcelas de tamaño variado.	153
Figura 71A. Identificación de las especies de mangle.	153

ÍNDICE DE CUADROS

	PÁGINA
Cuadro 1. Análisis FODA de la unidad técnica RVSPM.	12
Cuadro 2. Descripción de las especies de mangle presentes en el APRVSPM.	18
Cuadro 3. Superficie total del bosque de manglar en el APRVSPM.	18
Cuadro 4. Número de habitantes por sexo y grupo étnico.	22
Cuadro 5. Priorización de los problemas identificados.	26
Cuadro 6. Posibles soluciones a los problemas priorizados.	27
Cuadro 7. Especificaciones técnicas de imágenes satelitales de Sentinel-2	56
Cuadro 8. Descripción de bandas imágenes SAR.....	58
Cuadro 9. Fecha y características de la imagen satelital Sentinel-2 utilizadas.	65
Cuadro 10. Características de la imagen satelital Sentinel-1.....	67
Cuadro 11. Cálculo de índices de vegetación.	70
Cuadro 12. Profundidad y salinidad tomada en los 21 puntos.	78
Cuadro 13. Productos de la clasificación de los índices de vegetación normalizados.	85
Cuadro 14. Uso de la tierra en el APRVSPM 2020.	86
Cuadro 15. Ecuaciones alométricas para manglar utilizadas por GIMBUT.....	91
Cuadro 16. Toneladas de carbono acumulado total aéreo y de las raíces.	92
Cuadro 17. Toneladas por biomasa del ecosistema manglar.	92
Cuadro 18. Dióxido de carbono equivalente del ecosistema manglar.	94
Cuadro 19. Georreferenciación de los puntos de muestreo para el análisis de calidad del agua.	115
Cuadro 20. Parámetros de calidad del agua físicos.	117
Cuadro 21. Parámetros de calidad del agua químicos.	118
Cuadro 22. Registro de los puntos muestreados para los parámetros físicos en las áreas de recuperación pesquera y laguna Santa Isabel.	121
Cuadro 23. Lecturas de las concentraciones de fosfato en las áreas de recuperación pesqueras de bahía La Graciosa y laguna Santa Isabel.	122
Cuadro 24. Datos de las parcelas de tamaño variable en el APRVSPM.	144

PÁGINA

Cuadro 25. Número de árboles por especie de mangle en las parcelas de tamaño variable.	147
--	-----

RESUMEN GENERAL

El presente documento, es el producto realizado en el Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP- durante el Ejercicio Profesional Supervisado -EPS- en el período de febrero a noviembre del año 2020. Se inició con el diagnóstico en el ecosistema manglar del área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, Puerto Barrios, Izabal. En dicho diagnóstico se recabó información biofísica y socioeconómica y los principales problemas que presenta el ecosistema manglar. Conociendo esta información se realizó un cuadro de priorización de problemas donde se seleccionó estimación de las reservas de carbono del ecosistema manglar.

Con el fin de resolver el problema de la falta de información de las reservas de carbono en el ecosistema manglar, se desarrolló la investigación: Estimación de carbono almacenado en la biomasa aérea y de las raíces del ecosistema manglar utilizando sensores remotos en el área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, Izabal, Guatemala, C.A.

En la investigación se estimó el contenido de carbono en el ecosistema manglar con datos obtenidos de forma indirecta, utilizando puntos georreferenciados, imágenes satelitales sentinel-2 e índices de vegetación, donde el índice de reconocimiento combinado de manglares (CMRI) dio mejores resultados en la identificación de manglares dando como resultado 194.34 ha equivalente a 71,022.43 tCO_{2e}. para el año 2020, así mismo se identificaron las especies de manglar que se encuentran en el área protegida, su relación con las variables de salinidad y profundidad.

Además de la investigación como parte de los servicios, se realizó el monitoreo de calidad del agua en el área protegida con el fin de disponer información relevante para el manejo del área protegida, siendo el recurso hidrobiológico, uno de los principales a considerar, ya que de él dependen muchas especies de peces de importancia comercial para las comunidades y que es utilizado por otras especies de interés en conservación como tortugas marinas, manatíes. (CONAP, 2014)

El segundo servicio es el levantamiento de parcelas de tamaño variable en el ecosistema manglar del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, el cual permitió la creación de una base de datos del caribe guatemalteco con información de diámetro, altura, especie, estado fitosanitario y su estado físico para futuros estudios.

1. CAPÍTULO I

**DIAGNÓSTICO DEL ECOSISTEMA MANGLAR DEL ÁREA PROTEGIDA REFUGIO DE
VIDA SILVESTRE PUNTA DE MANABIQUE Y LA UNIDAD TÉCNICA
COADMINISTRATIVA, PUERTO BARRIOS, IZABAL.**

1.1 INTRODUCCIÓN

El Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), creado mediante el Decreto Legislativo 4-89 Ley de Áreas Protegidas que lo designa como una entidad gubernamental con personalidad jurídica, encargada de la dirección y coordinación del sistema guatemalteco de áreas protegidas (SIGAP). Una de sus funciones es propiciar y fomentar la conservación y el manejo sostenible del patrimonio natural de todos los guatemaltecos, a través de la coordinación interinstitucional, con entidades gubernamentales y no gubernamentales, con quienes se trabaja fomentando y sensibilizando sobre la importancia del SIGAP. (CONAP, 2013)

Bajo la responsabilidad de la Dirección Regional Nororiente se encuentran las áreas protegidas comprendidas dentro del territorio de Izabal, creada por la necesidad del CONAP de contar con una unidad administrativa, específica para dicho departamento, por la cantidad de áreas protegidas establecidas, así también por la extensión que cubren las mismas y la importancia ecológica que generan. Para continuar con el fomento y creación de áreas protegidas, así como para el debido cumplimiento de lo establecido en el Decreto número 23-2005 del Congreso de la República de Guatemala, ley que declara área protegida el Refugio de Vida Silvestre “Punta de Manabique”, se crea la unidad técnica Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique –UTRVSPM-. (CONAP, 2020)

El presente diagnóstico se realizó como parte del Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía (EPSA), realizado en el ecosistema manglar del área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, para ser posible la identificación de los principales problemas que afectan al ecosistema y de esta manera desarrollar una solución a través de un proyecto de investigación durante el tiempo de febrero-noviembre del EPS en la unidad técnica del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, actualmente no cuenta con un diagnóstico, por tal razón el presente documento tiene como propósito dar a conocer la situación de los principales aspectos de funcionamiento y estructura organizacional en que se encuentra la unidad técnica y el ecosistema manglar del área protegida.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Realizar un diagnóstico de reconocimiento del ecosistema manglar en el área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique y describir los principales aspectos de funcionamiento y estructura organizacional de la unidad técnica coadministradora del área protegida, Puerto Barrios, Izabal.

1.2.1 Objetivos específicos

1. Describir la estructura organizacional y el funcionamiento de la unidad técnica del área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique.
2. Recopilar información de las características biofísicas del área protegida RVSPM.
3. Determinar las características socioeconómicas del área protegida RVSPM.
4. Identificar y priorizar los problemas principales en el ecosistema manglar del RVSPM.

1.3 METODOLOGÍA

Para la elaboración del diagnóstico en el ecosistema manglar del área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique y la unidad técnica coadministradora del APRVSPM se

plantearon las siguientes actividades para desarrollar y cumplir cada uno de los objetivos antes mencionados.

1.3.1 Reconocimiento de la unidad técnica RVSPM

Reconocimiento de las unidades que conforman la unidad técnica Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique esto con el fin de conocer cada una de las unidades, sus funciones, personal y tener un panorama del funcionamiento integral de la dirección.

A. Recopilación y revisión de información a través de fuentes primarias

Se realizaron entrevistas dirigidas al director de la unidad, personal técnico, guarda recursos y secretaria administrativa de la unidad técnica, con el objetivo de recopilar información sobre la situación actual del ecosistema manglar y la unidad coadministrativa del área protegida desde la perspectiva de varias opiniones del personal.

1.3.2 Recopilación de información biofísica y determinación de las características socioeconómicas

La información de las características biofísicas y socioeconómicas principales del área de estudio se obtuvieron por medio de la información secundaria descrita en el siguiente inciso.

A. Recopilación y revisión de información a través de fuentes secundarias

Recopilación de información bibliográfica de documentos como el plan maestro 2007-2011, legislación del área protegida RVSPM, investigaciones realizadas en años anteriores referentes al área de estudio, shapes del área protegida RVSPM para la realización de

mapas temáticos, y estudios de censos realizados por el INE, con el fin de contar con instrumentos indispensables para la realización del diagnóstico.

B. Delimitación del área

Se realizó la delimitación del área protegida RVSPM y la cobertura del ecosistema manglar presente, esto por medio del programa ArcGIS.

1.3.3 Desarrollo y análisis de la información

A. Integración de información

Con la información obtenida de fuentes primarias por medio de las entrevistas al personal de la unidad técnica y la información recopilada de fuentes secundarias se realizó la integración de toda la información.

B. Arreglo de mapas temáticos

Para los mapas temáticos del diagnóstico en el ecosistema manglar del área protegida RVSPM se utilizó el programa ArcGIS.

C. Problemas identificados

Los principales problemas que se identificaron son los que se encuentran en el ecosistema manglar del área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique y se identificaron desde la perspectiva por medio de entrevistas del personal de la unidad técnica del

coordinador, analista de control y protección, analista marino costero, guardarrecursos y revisión del plan maestro 2007-2011 analizando la información existente sobre el ecosistema manglar.

D. Priorización de los problemas

Se realizó la priorización de los principales problemas identificados en el ecosistema manglar del área protegida RVSPM, considerando dos aspectos: tiempo de ejecución corto plazo (3 meses a 12 meses), mediano plazo (1 año - 2 años), largo plazo (2 años o más) y la amenaza que presenta a la conservación del ecosistema manglar clasificándolo en baja, media y alta. Este punto es definitivo para la toma de un proyecto de investigación para el desarrollo de durante del Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía (EPSA).

E. Análisis de soluciones

De la priorización de problemas se tomaron únicamente los principales dos problemas considerando los aspectos de ejecución y amenaza al ecosistema manglar, y se propusieron posibles soluciones que resuelvan la problemática. Con base a esta información se seleccionó el tema de investigación a desarrollar durante el EPSA y el análisis de los servicios para la unidad técnica RVSPM.

1.4 RESULTADOS

En 1989 por el Decreto 4-89 (Ley de Áreas Protegidas) en el artículo 59 se crea el Consejo Nacional de Áreas Protegidas, con personalidad jurídica que depende directamente de la presidencia de la república, cuya dominación abreviada en esta ley es “CONAP” o simplemente el consejo, como el órgano máximo de dirección y coordinación del sistema guatemalteco de áreas protegidas (SIGAP) creado por esta misma ley, con jurisdicción en todo el territorio nacional, sus costas marítimas y su espacio aéreo. Tiene autonomía funcional y su presupuesto está integrado por una asignación anual del estado y el producto de las donaciones específicas particulares, países amigos, organismos y entidades internacionales (CONAP, 1989).

De acuerdo al artículo 47 de la Ley de Áreas Protegidas, el CONAP, autorizará o generará las investigaciones de todo tipo y categoría que se realicen en áreas protegidas, de acuerdo a las normas que se establezcan para tal efecto (CONAP, 1989).

En 2005 por el Decreto 23-2005 (Ley que declara área protegida el Refugio de Vida Silvestre “Punta de Manabique”) en el artículo 1 se declara área protegida “Punta de Manabique”, ubicada al noroeste de Guatemala, en el departamento de Izabal, con una superficie terrestre de cuatros cuarenta y nueve kilómetros cuadrados (449 km²), una zona de aguas interiores de doscientos veinte kilómetros cuadrados (220 km²) y una zona marina definida hacia el mar caribe, con una superficie equivalente a la extensión de la zona considerada como mar territorial de Guatemala (Congreso de la República de Guatemala, 2005).

De acuerdo al artículo 3 de la Ley que declara área protegida el Refugio de Vida Silvestre “Punta de Manabique” en el objetivo 4 dice que se debe fomentar y apoyar el conocimiento científico sobre la ecología del área, principalmente del sistema marino-costero y el objetivo 5 proveer oportunidades para el desarrollo de actividades de investigación, educativas, recreativas y turísticas controladas y de bajo impacto. (Congreso de la República de Guatemala, 2005)

1.4.1 Ubicación de la unidad técnica RVSPM

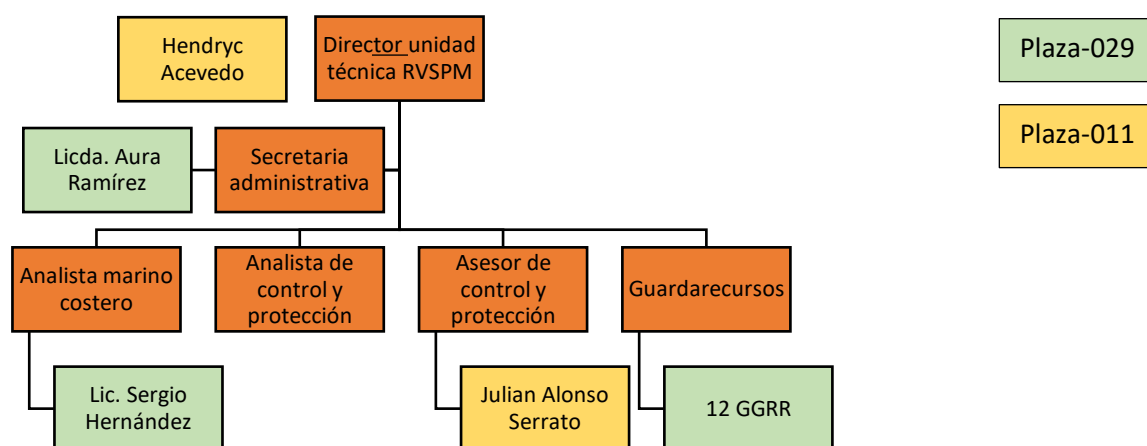
Para la correcta administración, manejo y conservación del área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, la unidad técnica del RVSPM, quien es la encargada de velar por la misma posee las oficinas físicas en 17 calle entre 5ta y 6ta Avenida, Puerto Barrios, Izabal.

A. Situación actual de la unidad técnica

La unidad técnica del área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique se encuentra organizado de la manera siguiente.

B. Estructura organizativa

La unidad técnica del área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique se encuentra conformado de la siguiente manera:



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 1. Organigrama de la unidad técnica del APRVSPM.

a. Director unidad técnica RVSPM

El director de la unidad técnica del área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique realiza las siguientes funciones:

- Apoyar con todas las instituciones estatales y no estatales que tengan competencia en realizar actividades dentro del RVSPM; sujeten sus políticas, estrategias y directrices aprobadas por el CONAP y realizar las disposiciones que este emita.
- Apoyar en la elaboración de informes y planificaciones de actividades semanales a la dirección regional de CONAP nororiente y otros que sean requeridos.
- Apoyar en la revisión de los asuntos técnicos sometidos al referendo del despacho superior.
- Apoyar en la actualización y capacitación permanente del personal en materia de conservación, usos sostenibles y mejoramiento de los bienes y servicios naturales, así como ecosistemas marino costeros.
- Apoyar en la realización de reglamentos, manuales programas que fortalezcan el buen funcionamiento de la unidad técnica –RVSPM-.

b. Secretaria administrativa

La secretaria administrativa de la unidad técnica del área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique realiza las siguientes funciones:

- Informar cuando sea requerido por la dirección regional nororiente sobre el desarrollo de sus actividades.
- Realizar la recepción y distribución de la correspondencia que llega a la regional.
- Atender personalmente o por vía telefónica a las personas de la institución y proporcionar información para la cual está autorizada.
- Realizar la toma de dictados de los documentos requeridos a la regional.
- Elaboración de requisición de materiales y útiles de oficina para la regional.

- Realizar procesos competentes al puesto, manejo de sistemas contables, administrativos o técnicos afines al cargo, administración y manejo de fondos públicos según las actividades que requiere el puesto; efectuar las liquidaciones presupuestarias y conciliaciones bancarias del CONAP.

c. Analista marino costero

El analista marino costero de la unidad técnica del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique es la persona que vela en la realización de monitoreo de calidad del agua, tortugas marinas, delfines y manatí.

d. Asesor y analista de control y protección

El asesor de la unidad técnica del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique es la persona que se encarga en la educación ambiental y sensibilización ambiental que se dirige principalmente a niños y jóvenes de las escuelas que se encuentran en el área protegida, y el analista cubre las actividades en las cuales el asesor no puede impartir.

e. Guarda recursos

Los guardas recursos diariamente vigilan, resguardan y protegen la diversidad biológica, el patrimonio natural y cultural del área protegida, las funciones del guarda recursos se dividen en dos partes, los cuales son:

- Planificar junto con el encargado del área, las actividades a ejecutar durante su plan de trabajo.
- Mantenimiento de áreas protegidas (limpieza de caminos, senderos, limpieza del área, linderos de infraestructura administrativa y de uso público).

- Patrullajes de control y vigilancia.
- Atender requerimientos específicos en su ámbito de competencia, que realicen los administradores del área protegida.
- Apoyo en informar y concientizar a la población sobre áreas protegidas, diversidad biológica y servicios ecosistémicos.
- Sensibilización a la población en materia de áreas protegidas y biodiversidad.
- Elaboración de informe de actividades.
- Coordinación de actividades y reuniones con la dirección regional en donde se encuentre asignado.

C. Atribuciones y/o actividades de la unidad técnica RVSPM

- Monitoreo de calidad del agua, recurso pesquero, aves, manatís y tortugas marinas dentro del área protegida RVSPM.
- Acompañamiento a investigaciones.
- Educación ambiental y sensibilización ambiental a las escuelas de las comunidades del área protegida con base a un calendario ambiental.
- Implementación de pequeños proyectos de subsidios a las comunidades/asociaciones del APRVSPM para el desarrollo local y preservación de los recursos naturales del área, en conjunto con ONG'S y CONAP.
- Incorporación con potencial turístico a la red de turismo comunitario de Izabal.
- Elaboración y actualización de planes de uso sostenible de recursos marino-costeros en comunidades.
- Promover el intercambio de trabajo entre el grupo de mujeres organizado de El Quetzalito.
- Capacitación en buenas prácticas pesqueras a las comunidades que realizan pesca en el RVSPM.
- Inspecciones de campo para la emisión de licencias de consumo familiares.
- Participar en la elaboración del Plan Operativo Anual –POA- y el Plan Anual Mensual –PAM-.

D. Análisis FODA de la unidad técnica RVSPM

En el cuadro uno, se muestra el análisis FODA realizado en la unidad técnica del área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, esto con el fin de identificar los principales problemas que presenta dicha unidad.

Cuadro 1. Análisis FODA de la unidad técnica RVSPM.

Fortalezas	Debilidades
• Apoyo económico de parte de ONG'S. • Los técnicos se encuentran capacitados, adecuada condición física, conocimiento en los temas y disponibilidad de horario. • A pesar de contar con poco personal, se trabaja en equipo y existe buena gestión para la realización de las actividades de campo. • La unidad técnica cuenta con su propio vivero forestal. • Los guardarecursos apoyan en las distintas actividades a realizarse en campo.	• La disponibilidad del recurso económico es reducida. • La falta de personal técnico, hace que se tomen decisiones de priorizar actividades por el poco personal. • Falta de equipo personal para los guardas recursos como machete, limas, botas, lámpara, GPS, cinta diamétrica, cinta métrica, uniformes y mochila para ser utilizado en las distintas actividades a realizarse en campo. • Sobrecargo laboral para el personal técnico. • Únicamente cuentan con un carro para las distintas actividades a realizarse en campo.
Oportunidades	Amenazas

Continuación cuadro 1.

• La unidad técnica RVSPM cuenta con 12 guardarecursos. • Se realizan capacitaciones sobre diversos temas al guarda recursos. • Oportunidad de estudiantes universitarios de realizar su Ejercicio Profesional Supervisado –EPS-. • Realizan diplomados. • Educación ambiental una o dos veces al mes a las comunidades del área protegida RVSPM.	• DIPRONA y PNC difícilmente apoyan en las actividades de patrullaje. • Representa peligro para el personal técnico, guarda recursos y epesistas participar en actividades de campo debido a la insuficiente presencia de miembros de DIPRONA Y PNC. • Inestabilidad laboral por cambios de periodos políticos.
---	---

Fuente: Elaboración propia, 2020.

E. Ubicación geográfica del ecosistema manglar

El ecosistema manglar a estudiar se encuentra en el área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique del municipio Puerto Barrios en el departamento de Izabal. Presenta un área total de 416.46 ha según CATHALAC para el año (2012).

F. Situación legal del área

b. Disposición legal de creación del Refugio de Vida Silvestre

Decreto 23-2005 ley que declara área protegida el Refugio de Vida Silvestre “Punta de Manabique”.

c. Situación legal actual

Según el plan maestro del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique elaborado en (2006). El Refugio de Vida Silvestre fue declarado el 17 de marzo de 2005 en el Diario de Centro América No. 36. El decreto fue firmado por el presidente de la República, Oscar Berger Perdomo, el 8 de marzo.

El consejo nacional de áreas protegidas es el ente rector para el manejo del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique. CONAP, a través del decreto 4-89, es declarado administrador de todas las áreas protegidas en todo el territorio nacional, pero tiene la potestad de delegar las actividades a entidades de servicio o contratar su manejo. Es además la autoridad administrativa de la convención sobre los humedales (Ramsar, Irán, 1971) citado por (Fundación Mario Dary Rivera (FUNDARY) et al., 2006) siendo Punta de Manabique un sitio RAMSAR desde el 28 de enero del año 2000.

“Artículo 7. Administración. La administración del área protegida Refugio de Vida Silvestre “Punta de Manabique”, estará a cargo del CONAP, quien de conformidad con el artículo 12 de la ley de áreas protegidas, a través de su secretario ejecutivo, podrá delegarla mediante un proceso de licitación pública, en una entidad organizada legalmente establecida y orientada al manejo, conservación de los recursos naturales y al desarrollo sostenible”.(Congreso de la República de Guatemala, 2005)

1.4.2 Características biofísicas

A. Clima

En el Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, las condiciones climáticas son variables por la influencia de los vientos, que predominante entran desde el noroeste y están cargados de humedad, proveniente del golfo de Honduras, según el modelo de Thornthwaite, el clima corresponde a régimen mega térmico híper-húmedo, de tipo ArA 'a' (cálido, húmedo, sin estación seca bien definida) afirma Sánchez (1992) . El gradiente de

humedad de norte a sur va, respectivamente, de mayor a menor. La lluvia es de moderada a intensa y bien distribuida a lo largo del año, aunque se reconoce como “meses secos” a febrero, marzo y abril. (CECON & CDC, 1992)

B. Zonas de vida

Según De la Cruz, (1982), basado en el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge, el área se encuentra dentro de la zona de vida Bosque muy Húmedo subtropical (cálido), bmh S (c). La particularidad del área se debe a la configuración, posición geográfica, relaciones orográficas, naturaleza del sustrato y nivel freático muy alto. Por lo anterior se han establecido ecosistemas con características diferentes a las otras zonas bajas de Guatemala, con especies de flora y fauna altamente adaptadas a dichas condiciones.

C. Fisiografía

De acuerdo con Gonzales 1990 citado por (Fundación Mario Dary Rivera (FUNDARY) et al., 2006) para el litoral caribe del país se ha establecido que existen 4 diferentes provincias fisiográficas las cuales se describen a continuación.

a. Planicie costera del caribe

Esta región pertenece a la cuenca baja del río Sarstún. Es parte de una planicie formada por materiales aluviales del cuaternario. Existen también un número de islotes localizados enfrente de la costa y conectados a formaciones coralinas.

b. Depresión de Izabal

Esta es una depresión que no excede los 100 m.s.n.m, entre el río Sarstún y la parte baja de las montañas del Mico. El sistema del río Dulce golfete es el rasgo geográfico sobresaliente en esta provincia, conectado con el lago de Izabal. La región se caracteriza por malos drenajes con suelos típicos de áreas inundables. También se presentan lagunas interiores, particularmente en la región del golfete.

c. Tierras altas sedimentarias

Esta es una pequeña región al sur de la bahía de Amatique localizada en las montañas del Mico. La región es conocida por sus suelos kársticos, fallas y pendientes bajo procesos de erosión

d. Depresión del Motagua

Es una planicie de inundación (de los 0 m.s.n.m - 40 m.s.n.m) está formada por materiales aluviales del cuaternario. La fisiografía es marcada por lechos de ríos fosilizados. Existen también canales y marismas. Los depósitos sedimentarios transportados por el río Motagua forman una larga barrera arenosa llamada Punta de Manabique.

D. Hidrología e hidrografía

La hidrología es muy compleja en el RVS Punta de Manabique, por las características del área y por contener la parte más baja y final del curso del río Motagua. El Motagua es el río de mayor caudal en el área, con un caudal medio de 530 m³/s, aunque está confinado al límite oriental, es grande el efecto de su desembocadura sobre el litoral del golfo de Honduras.(CECON & CDC, 1992)

Los ríos más importantes del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique son: Motagua, San Francisco y Piteros, que desembocan en el golfo de Honduras y en el sector occidental descarga a la bahía de Amatique el río Machacas. Existen corrientes pequeñas, de entre uno a cinco km de longitud, tales como el río Chiquito (afluente del Motagua), estero Motagüilla, estero Guineo, San Francisco del Mar (desemboca unido a los ríos Piteros y San Francisco), Creek Grande (desemboca en el Canal Inglés) y los ríos Pioquinto y Creek Negro, que recorren la zona pantanosa occidental al sur del Machacas. (CECON & CDC, 1992)

Dos terceras partes del área (67 %) corresponden a ambientes marinos, tanto del golfo de Honduras como de la bahía de Amatique y bahía La Graciosa. Tres ámbitos definen las características costeras marinas del humedal: la bahía de Amatique, el golfo de Honduras y los pantanos interiores. A la bahía se descargan las corrientes de mayor caudal del país, por la vía de río Dulce, lo que la transforma en una laguna estuarina. Esta bahía atrapa enormes cantidades de sedimentos, posee abundantes pastos marinos, particularmente de *Thalassia*, tiene alta productividad y diversidad biológica acuática. (CECON & CDC, 1992)

E. Vegetación

El plan maestro del área protegida Refugio de Vida silvestre Punta de manabique (2006) reporta la especie de mangle rojo *Rhizophora mangle* L únicamente, no obstante, en el estudio realizado por el MARN en el año (2013) reporta para el área la especie mencionando anteriormente y también la especie de mangle blanco *Laguncularia racemosa* (L).

La zonificación indica que el mangle rojo se encuentra en las orillas de los esteros en lugares donde hay influencia de las mareas, con salinidades cercanas o inferiores a la del agua de mar. El mangle blanco se encuentra a las orillas de los estuarios, canales y partes internas del bosque de manglar, en substrato más o menos compactado en sitios de influencia de agua dulce.(IARNA, 2003)

Cuadro 2. Descripción de las especies de mangle presentes en el APRVSPM.

Familia	Descripción
Rhizophoraceae	Representada por el género <i>Rhizophora</i> , se reconoce fácilmente por las raíces en zanco y embriones alargados en forma de cigarro. Se reconoce la especie <i>Rhizophora mangle</i> L.
Combretaceae	Los manglares de esta familia se reconocen generalmente por presentar un par de glándulas cerca de la base de las hojas. Se reconocen la especie de <i>Laguncularia racemosa</i> (L).

Fuente: (Salas, 1993)

F. Distribución de mangle

CATHALAC en el año (2012) reporta en su estudio que el total de mangle en el Atlántico es de 1,169 ha, y que el 88.23 % se encuentra dentro de áreas protegidas. De las 1,169 ha, el Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique cuenta con 416.46 ha lo que equivale a un 35.50 % del total

Cuadro 3. Superficie total del bosque de manglar en el APRVSPM.

Zonificación RVSPM	Área ha	Manglar ha
Zona de amortiguamiento	9,546.07	1.36
Zona de conservación marina	17,102.18	32.84
Zona de conservación terrestre	7,484.22	133.31

Continuación cuadro 3.

Zona de recuperación y manejo	16,427.82	5.00
Zona de uso especial de la tierra	930.06	19.81
Zona de uso intensivo	85,357.78	127.41
Zonas de usos múltiples	2,478.27	96.37
Zona de uso especial marítima	12,718.73	0.36
TOTAL	152,045.13	416.46

Fuente: Elaboración propia con base a (CATHALAC, 2012).

G. Fauna asociada

Muchos organismos acuáticos se encuentran asociados a los bosques de manglar, muchos de los cuales son de importancia comercial como camarones de mar y de río, cangrejos y peces. (IARNA, 2003)

H. Aspectos oceanográficos

En el caso de la vertiente del atlántico, la longitud de los ríos es mucho mayor que la vertiente del pacífico ya que incluye el río más largo del país, el río Motagua, que en su desembocadura forma la frontera con Honduras, con 486.55 km las pendientes son más suaves y su desarrollo es menos brusco, ya que en la parte montañosa los ríos hacen su recorrido en grandes barrancas o cañones. Las crecidas son de mayor duración y los tiempos de propagación son también mayores. Los caudales son más constantes durante todo el año. Parte del área dentro de esta vertiente tiene muy baja pluviosidad, 500 mm anuales, mientras que, en la zona de Puerto Barrios y Morales, la pluviosidad alcanza hasta 3,500 mm anuales. (IARNA, 2003)

Por las características geográficas y oceanográficas cuenta con puertos naturales como lo es el Puerto Santo Tomás de Castilla y Puerto Barrios. (IARNA, 2003)

I. Mareas

El tipo de mareas en la costa atlántica de Guatemala es semi-diurna mixta, con un rango micro mareal de 0.1 m - 0.5 m en promedio en bajamar y pleamar respectivamente (IGM, 1984). En la bahía de Santo Tomas de Castilla el comportamiento de las mareas tiene una oscilación máxima de 0.54 m sobre el nivel medio del mar (Teniente Ixcotoyac-Pérez, 2002, Base Naval del Pacífico, Comunicación personal) citado por (IARNA, 2003)

Observaciones de la descarga de los ríos, la geomorfología, los vientos dominantes y el efecto de las mareas, indican que la circulación en la costa Atlántica sigue un patrón anticiclónico principiando alrededor de la desembocadura del río Sarstún y cerrando el circuito en Punta de Manabique como resultado de la presencia de esta barrera arenosa (Yáñez-Arancibia et al. 1999) citado por (IARNA, 2003)

J. Geología

De acuerdo con CECON & CDC, (1992) las costas orientales de la bahía de Amatique tienen origen sedimentario. Parte de los materiales de deposición que contiene son volcánicos, arrastrados en su mayoría por el río Motagua; otros son coralinos, movidos por corrientes marinas. Entre los arrastres y deposiciones fluviales y los movimientos marinos, la península Punta de Manabique y la mitad continental oriental tienen una intensa dinámica de playas, con litorales en permanente transformación.

Según Cajas, (2004) el trabajo erosivo y la acumulación de aluviones son elementos clave en la interpretación de la Punta de Manabique como una gran llanura de inundación. En el extremo nororiental hay intensa deposición de sedimentos y en el paisaje son típicos los recovecos o sinuosidades de ríos bien desarrollados, tanto como los abandonados: lagunas en herradura y recovecos fósiles.

K. Suelos

En el RVS Punta de Manabique, los suelos constan de dos tipos básicos: los suelos de las tierras bajas Petén-Caribe y los suelos misceláneos, según la clasificación de Simmons. Los primeros son profundos, depositados sobre materiales no consolidados y suelos aluviales. Los suelos misceláneos son mezclas de arena y turba, que es generada por los pantanos de palma de concha (*Manicaria saccifera*). Los suelos misceláneos tienen drenaje interno malo, permanecen inundados gran parte del año y la turba ocasiona una reacción fuertemente ácida (CECON 2005). En general, los suelos de Punta de Manabique son poco productivos y debe manejarse el drenaje. (Sánchez, 1992)

L. Fenómenos naturales

Los principales fenómenos naturales que se dan en el RVS Punta de Manabique son inundaciones causadas por desbordamientos de los cuerpos de agua al darse depresiones tropicales. Dichos eventos al igual que las “mangueras o trombas de agua”, generalmente se presentan de junio a noviembre, al acentuarse la época de lluvia. (Fundación Mario Dary Rivera (FUNDARY) et al., 2006)

1.4.3 Características socioeconómicas

A. Población

En el RVSPM se encuentran 17 comunidades, siendo éstos los que se encuentran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Número de habitantes por sexo y grupo étnico.

CENTRO POBLADO	MUJERES	HOMBRES	NO. DE HABITANTES	GRUPOS ÉTNICOS
Machaquitas Chiclero	378	411	789	Q'eqchi's
Las Vegas	247	236	483	Ladinos
Cabo Tres Puntas	241	217	458	Ladinos
Quetzalito	197	181	378	Ladinos
San Francisco del Mar	191	176	367	Ladinos
Creek Negro del Mar	145	129	274	Ladinos y Q'eqchi's
Machacas del Mar	114	158	273	Ladinos/Q'eqchi's
Creek Grande del Mar	116	145	260	Ladinos/Q'eqchi's
Punte de Manabique	101	95	196	Ladinos
Piteros II	86	93	179	Ladinos y mam
Media Luna	101	68	169	Ladinos/Q'eqchi's
La Graciosa	69	59	128	Ladinos
Estero Lagarto	62	48	110	Ladinos
Jaloe	50	59	108	Ladinos
Santa Isabel	39	50	89	Ladinos/Q'eqchi's
Quineles	32	21	53	ND
Suiche III	ND	ND	ND	Ladinos/Q'eqchi's
TOTAL	2,168	2,146	4,314	

Fuente: Elaboración propia con base a los datos proporcionados al XI Censo de la población del INE (2002), proyección para el año 2020 con una tasa de crecimiento poblacional de 2.30 %.

Con base a los datos del Instituto Nacional de Estadística del INE realizado en el año (2002), se estimó la población actual correspondiente a 4,314 habitantes según la proyección para el año 2020 considerando una tasa de crecimiento del 2.30 %; tomando en cuenta los

centros poblados que se encuentran en el cuadro 4. Su distribución por género es de 50.25 % mujeres y 49.75 % hombres.

B. Densidad poblacional

El Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique posee un área de 1,222.24 km² sin contar el área marítima, en los cuales se distribuye una población de 4,314 habitantes, donde la densidad poblacional para el año 2020 es de 3.53 % hab/km².

C. Infraestructura y servicios

a. Centros o puestos de salud

De acuerdo al plan maestro del área protegida RVSPM (2006) no cuenta con ningún centro o puesto de salud solo cuenta con 10 comadronas, 25 promotoras de salud, que son las personas encargadas de atender eventualmente las emergencias que surgen y la prevención de enfermedades.

b. Escuelas

El RVS Punta de Manabique no cuenta con un adecuado soporte para el desarrollo de la educación primaria en el área, siendo las condiciones precarias para el desarrollo de la educación de los niños. No cuentan con un centro educativo a nivel medio o diversificado por lo que los interesados en continuar con su formación estudiantil deben trasladarse hacia Puerto Barrios. (Fundación Mario Dary Rivera (FUNDARY) et al., 2006)

De los 17 centros poblados únicamente 12 cuentan con centros educativos donde imparten únicamente educación a nivel primaria y según el Instituto Nacional de Estadística en el (2002) se reporta que el 55 % son alfabetos.

c. Servicios básicos

En el área protegida RVSPM de acuerdo con el plan maestro (2006) únicamente los centros poblados de San Francisco y Cabo Tres Puntas tienen agua entubada pero no es para uso doméstico debido a que contiene mucho hierro, lo cual le proporciona un color anaranjado, los pobladores principalmente van a Honduras a traer agua lo cual incrementa el costo por el combustible que se utiliza en las lanchas o recolectan agua de lluvia, los centros poblados cercanos al río Motagua utilizan esta agua para el servicio sanitario principalmente ya que esta agua se encuentra bastante contaminada; respecto a la energía eléctrica, en la mayoría de los centros poblados cuenta con paneles solares.

1.4.4 Problemas identificados

Los problemas identificados que afectan al ecosistema manglar del área protegida Refugio de Vida silvestre Punta de Manabique, siguiendo la metodología descrita con anterioridad son los siguientes:

A. Pérdida de la cobertura del bosque manglar

Es uno de los principales problemas que afecta al bosque manglar en el área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, desaprovechando los beneficios que presentan los bosques de manglar como la protección, conservación y biodiversidad del ecosistema.

B. Avance de la frontera agrícola y ganadera

Principalmente para convertir el área en una zona agrícola para maíz y frijol principalmente o avance de la frontera ganadera para pasto y forrajeo con el objetivo de crianza y engorde principalmente de la raza Cebú. afectando los recursos naturales del área protegida.

C. Aprovechamiento ilegal de los recursos

Problema que ha causado la extracción ilegal de los bosques de manglar para diferentes usos domésticos de este recurso.

D. Falta de protección del bosque manglar

Actualmente las comunidades del área protegida no cuentan con áreas de protección del bosque manglar incentivadas, por lo tanto, no se están aprovechando los beneficios que presenta el bosque como lo es la reducción de las emisiones de gas de efecto invernadero a través de las reservas de carbono que estos almacenan.

E. Cambio de uso de la tierra en áreas del bosque manglar

La tala del bosque manglar provocada por el cambio de uso de la tierra para construcción de viviendas o ranchos y áreas recreativas para el turismo en algunas zonificaciones, ha provocado.

1.4.5 Priorización de los problemas identificados

En el cuadro 5 se presentan los principales problemas identificados y su priorización tomando en cuenta el tiempo y la amenaza que representa en el ecosistema manglar del área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique.

Cuadro 5. Priorización de los problemas identificados.

No	Problema	Tiempo	Amenaza	Total
1	Pérdida de la cobertura del bosque manglar	C	A	C-A
2	Avance de la frontera agrícola y ganadera	L	M	L-M
3	Aprovechamiento ilegal de los recursos	M	M	M-M
4	Falta de protección del bosque manglar	C	A	C-A
5	Cambio de uso de la tierra en áreas del bosque manglar	C	M	C-M

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Tiempo: (L) largo plazo, (M) mediano plazo y (C) Corto Plazo

Amenaza a la conservación del bosque manglar: (A) alta, (M) media y (B) baja.

1.4.6 Análisis de solución de problemas

Se realizó un análisis de las posibles soluciones con los principales dos problemas identificados, considerando los aspectos de tiempo, recursos económicos y el interés de la Unidad Técnica RVSPM.

Cuadro 6. Posibles soluciones a los problemas priorizados.

No	Problema Priorizado	Posibles soluciones
1	Pérdida de la cobertura del bosque manglar	Charlas sobre la importancia de la conservación y protección del bosque manglar.
		Reforestación del bosque manglar.
		Manual técnico para el establecimiento de un vivero de manglar.
2	Falta de protección del bosque manglar	Charlas sobre proyectos de incentivos del bosque manglar a los comunitarios del área protegida.
		Estimación de las reservas de carbono del ecosistema manglar

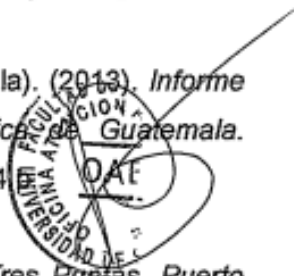
Fuente: Elaboración propia, 2020.

1.5. BIBLIOGRAFÍA

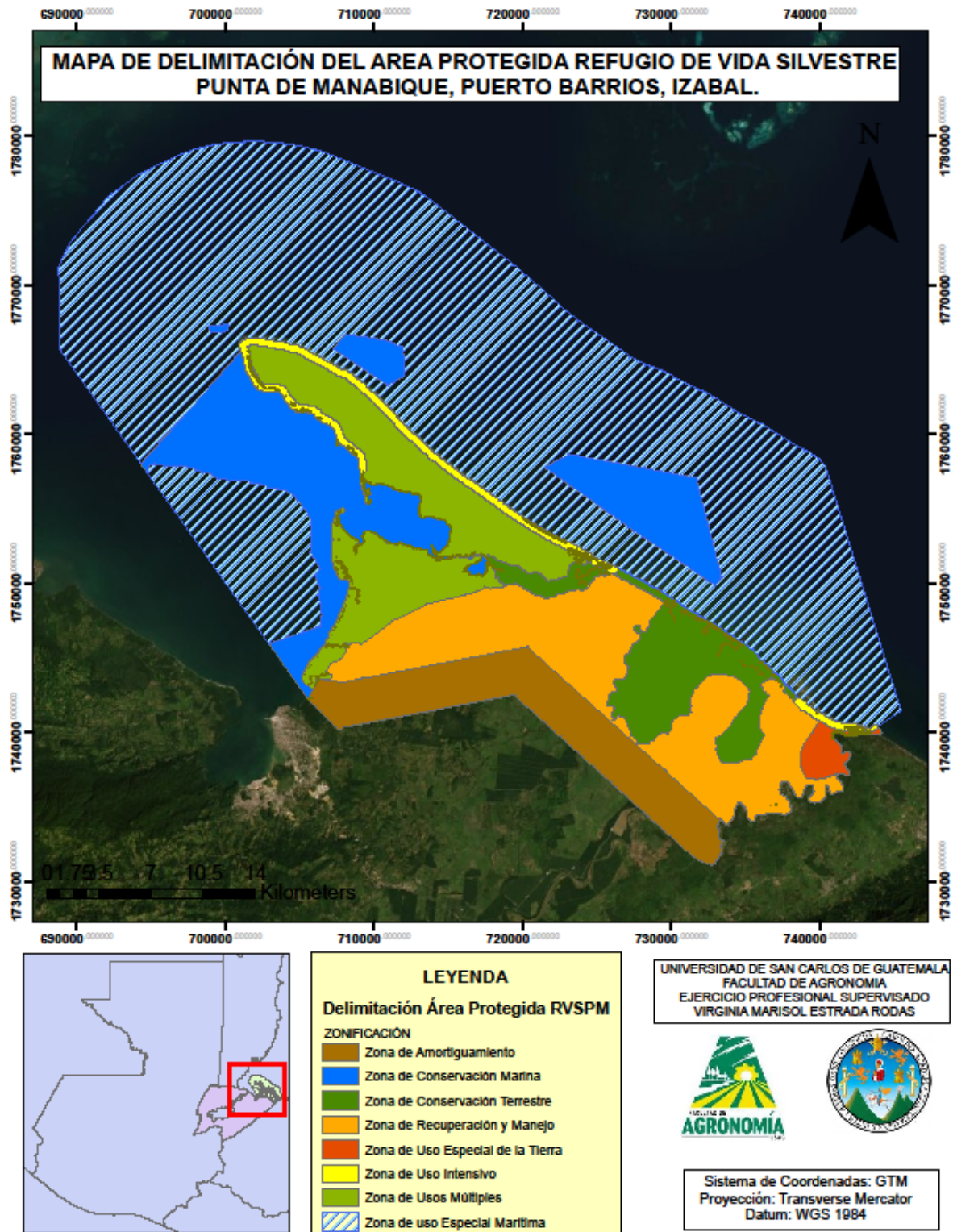
1. Cajas, J. (2004). *Informe Final del Ejercicio Profesional Supervisado -EPS- Realizado en Escuela de Biología Fac. CC. QQ. y Farmacia de la USAC. Durante el periodo comprendido del 3 de febrero al 3 de agosto de 2003*. Guatemala: USAC, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Escuela de Biología.
2. CATHALAC (Centro de Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe, Panamá). (2012). *Cobertura actual de mangle en Guatemala, a través de técnicas de percepción remota*.
3. CECON, & CDC (Centro de estudios conservacionistas y Centro de datos para la conservación, Guatemala). (1992). *Estudio Técnico de Punta de Manabique*. Guatemala: USAC, Centro de estudios conservacionistas (CECON) y Centro de datos para la conservación (CDC), 79 p.
4. CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Guatemala). (1989). *Ley de áreas protegidas, Decreto 4-89*.
5. _____. (2013). *¿Qué es el Consejo Nacional de Áreas Protegidas?* 2 edición, 24.
6. _____. (2020). *Departamentos, Subregional (es) y/o Unidad (es) Técnica (s) que conforman la Estructura Orgánica de la Dirección Regional Nororiente*.
7. CRG (Congreso de la República de Guatemala, Guatemala). (2005). *Ley que declara área protegida el Refugio de Vida Silvestre "Punta de Manabique."* Guatemala
8. De la Cruz, R. (1982). *Clasificación de las zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento*. Guatemala: MAGA, Inafor, Unidad de Evaluación y Promoción, Digesa, 42 p.
9. FUNDARY, CONAP & TNC (Fundación Mario Dary Rivera, Consejo Nacional de Areas Protegidas, & The Nature Conservancy, Guatemala). (2006). *Plan Maestro 2007-2011 Refugio de Vida Silvestre Punta De Manabique*. Guatemala: FUNDARY-PROARCA-TNC, 155 p. + Anexos.
10. IARNA (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Guatemala). (2005). *Diagnóstico del Estado actual de los recursos marinos y costeros de Guatemala*. Guatemala: URL.



11. INE (Instituto Nacional de Estadística, Guatemala). (2002). *Estimaciones y proyecciones de población para el periodo 1950-2050. análisis y divulgación de censos nacional XI de población y VI de habitación*. Guatemala.
12. MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Guatemala). (2013). *Informe técnico: Estudio de la cobertura de mangle en la República de Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. vi + 54.
13. Salas, J. (1993). *Arboles de Nicaragua*. Nicaragua: IRENA.
14. Sánchez, G. (1992). *Diagnóstico General de la aldea Cabo Tres Puntas, Puerto Barrios, Izabal*. Guatemala: USAC, FAUSAC.

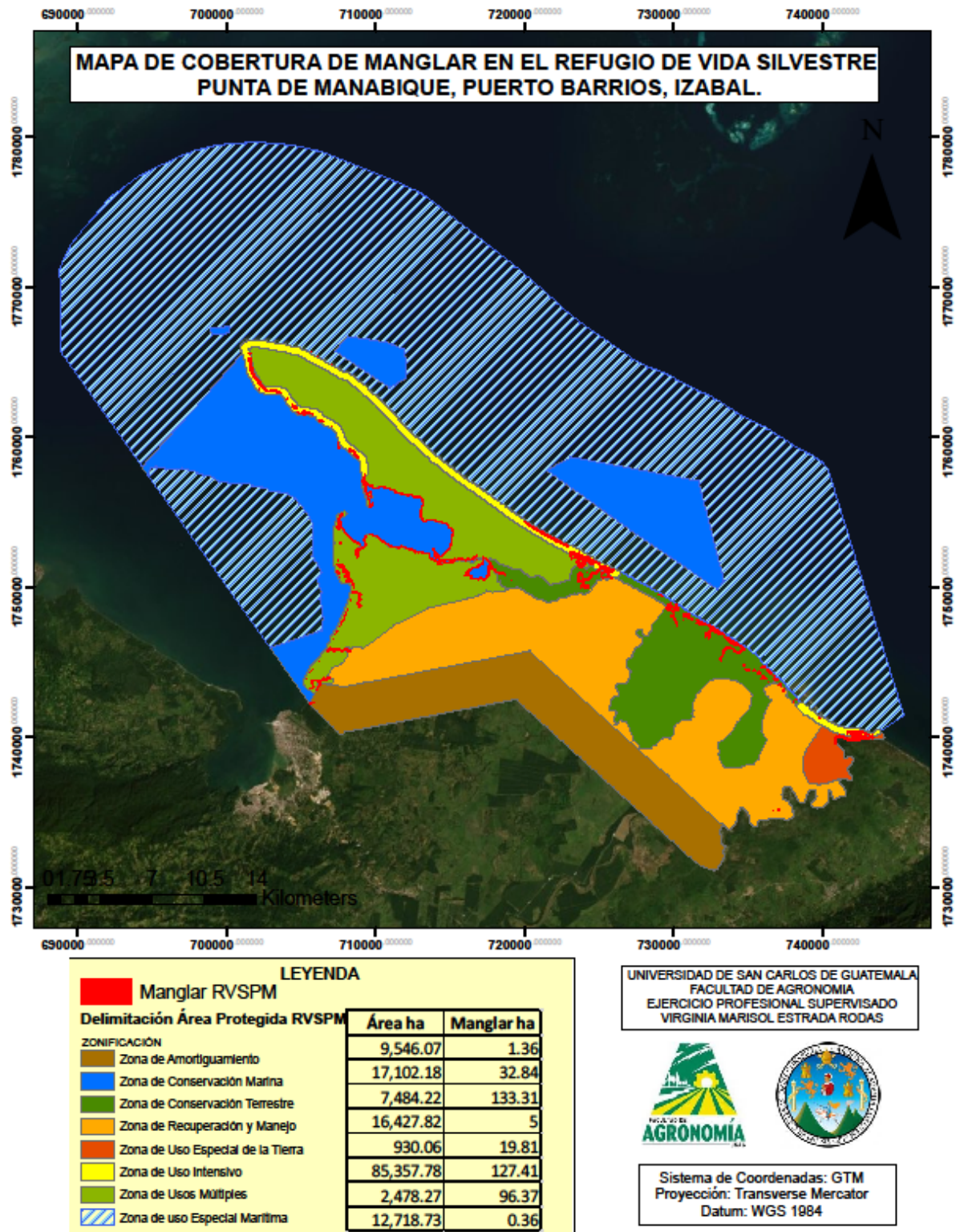


1.6 ANEXOS



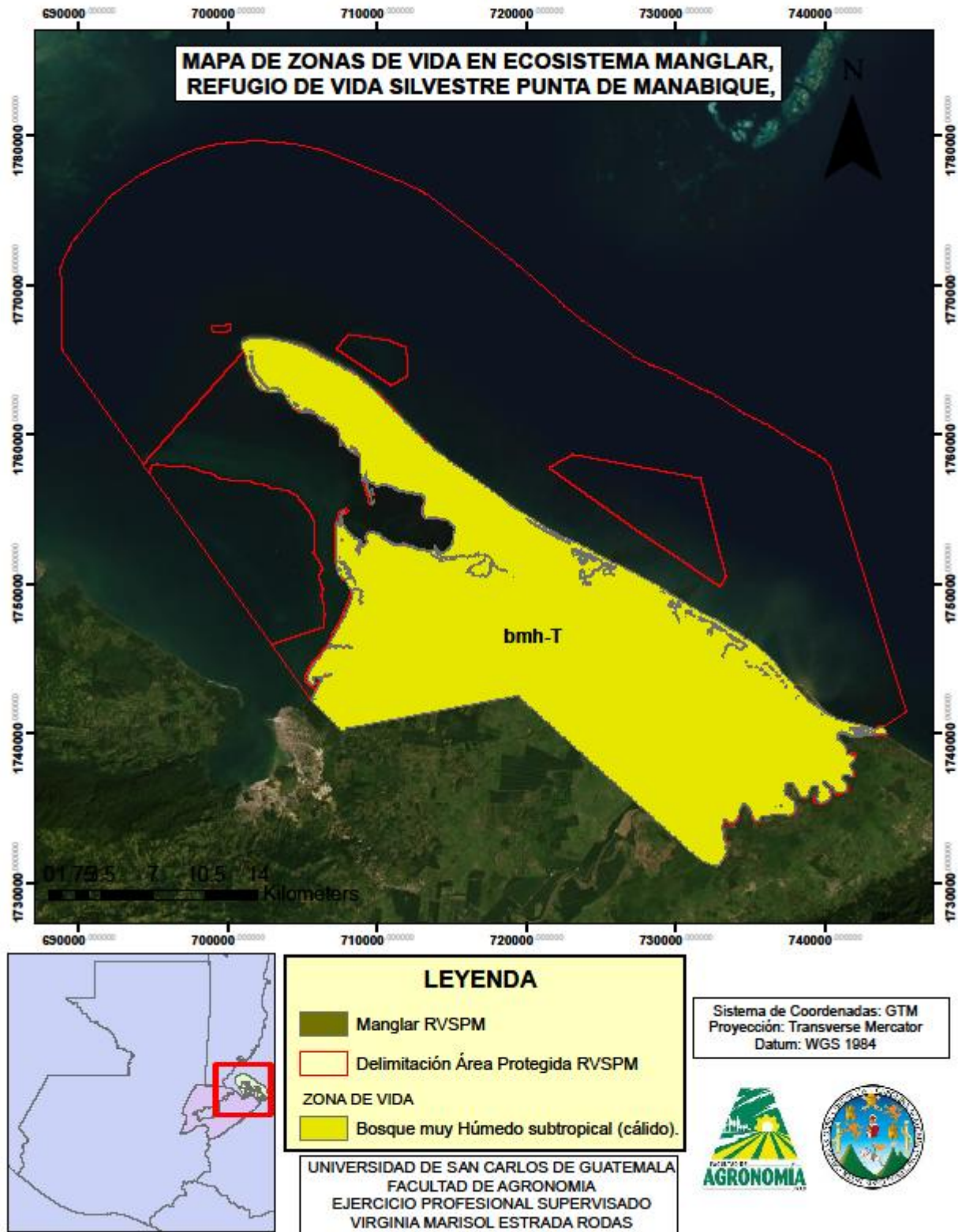
Fuente: Elaboración propia con base al shape de SIGAP, 2020.

Figura 2A. Mapa de delimitación del área protegida RVSPM, Puerto Barrios, Izabal.



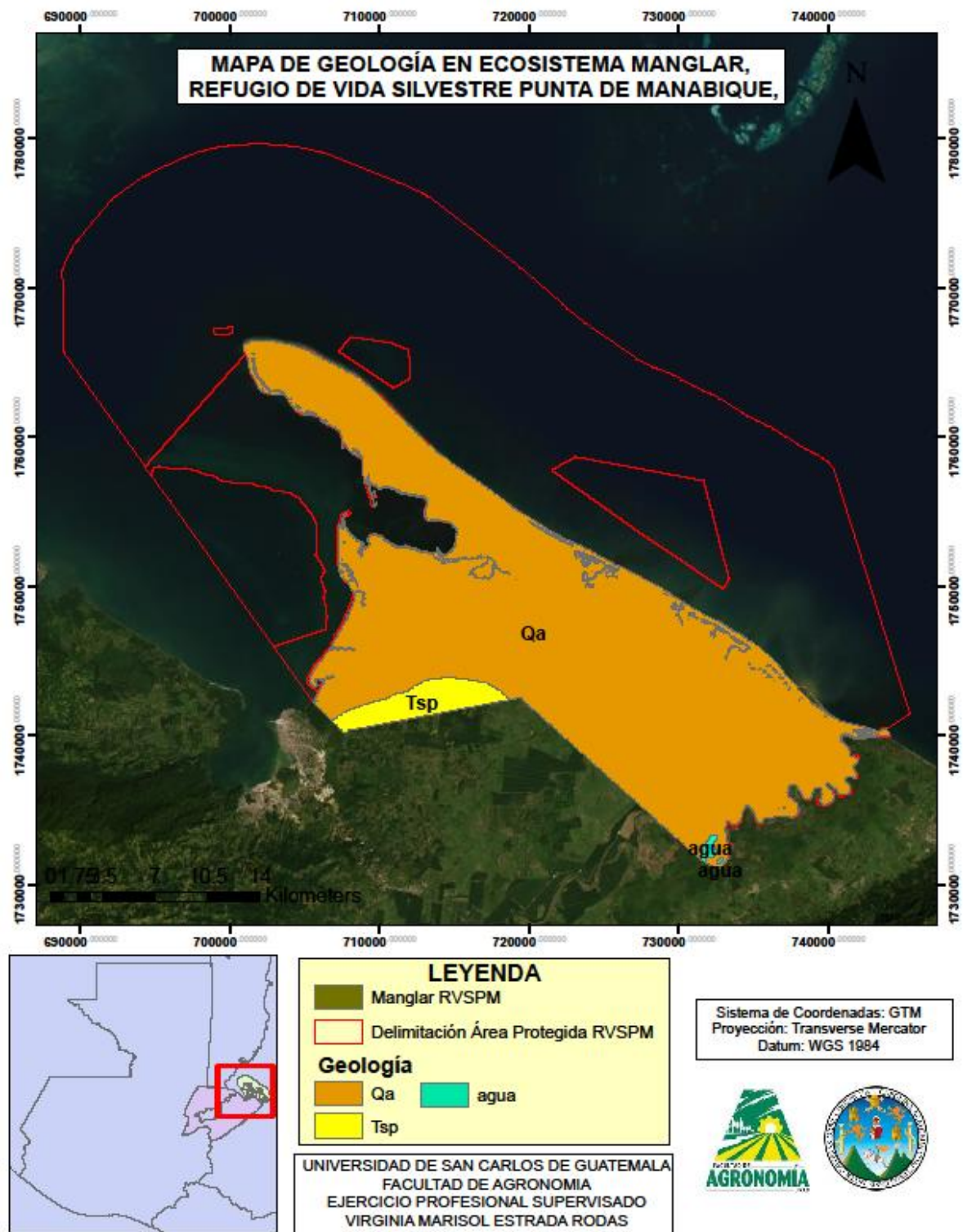
Fuente: Elaboración propia con base al shape de (CATHALAC, 2012).

Figura 3A. Mapa de cobertura de manglar en el área protegida RVSPM.



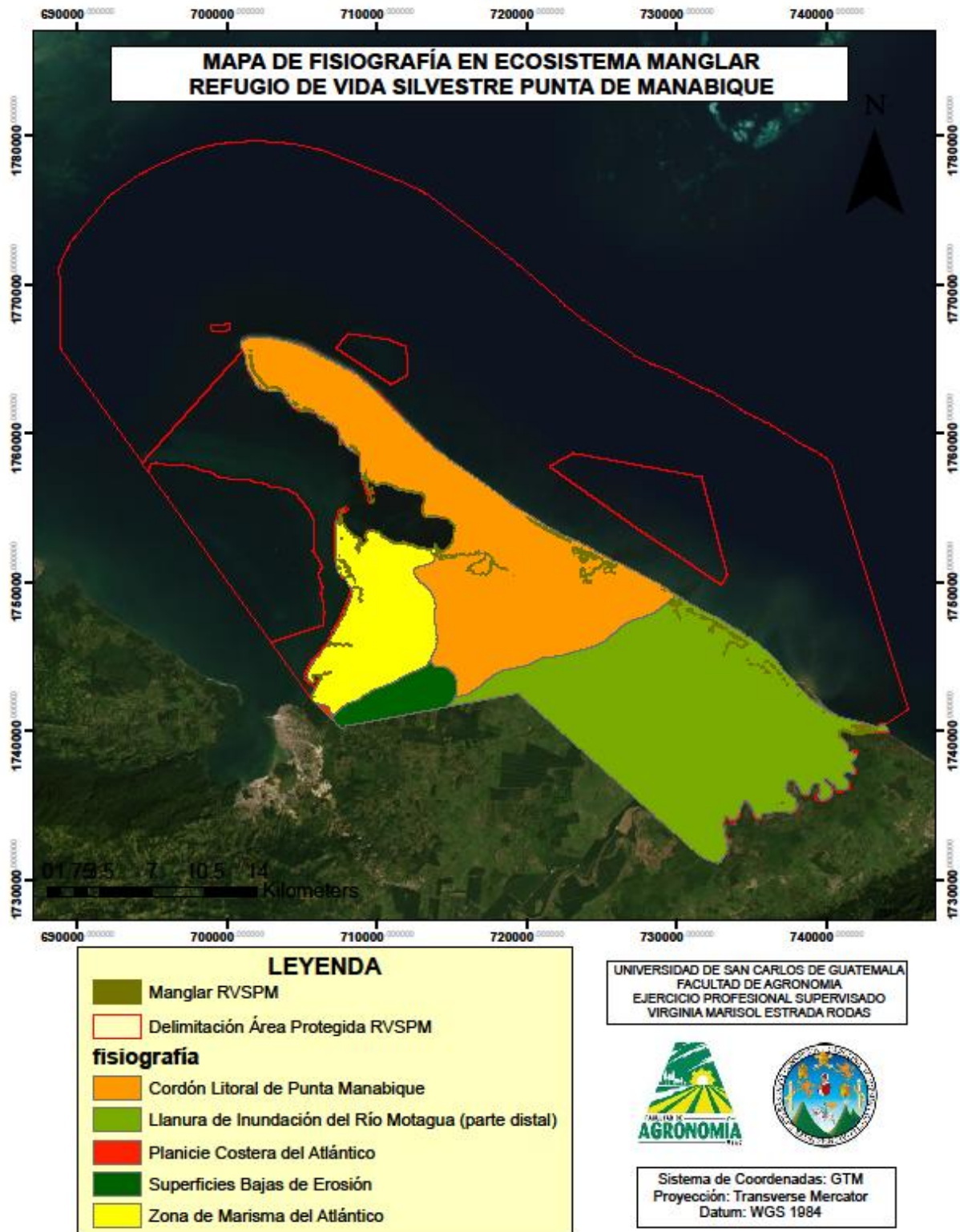
Fuente: Elaboración propia con base al shape de zonas de vida, 2020.

Figura 4A. Mapa de zonas de vida del ecosistema manglar RVSPM.



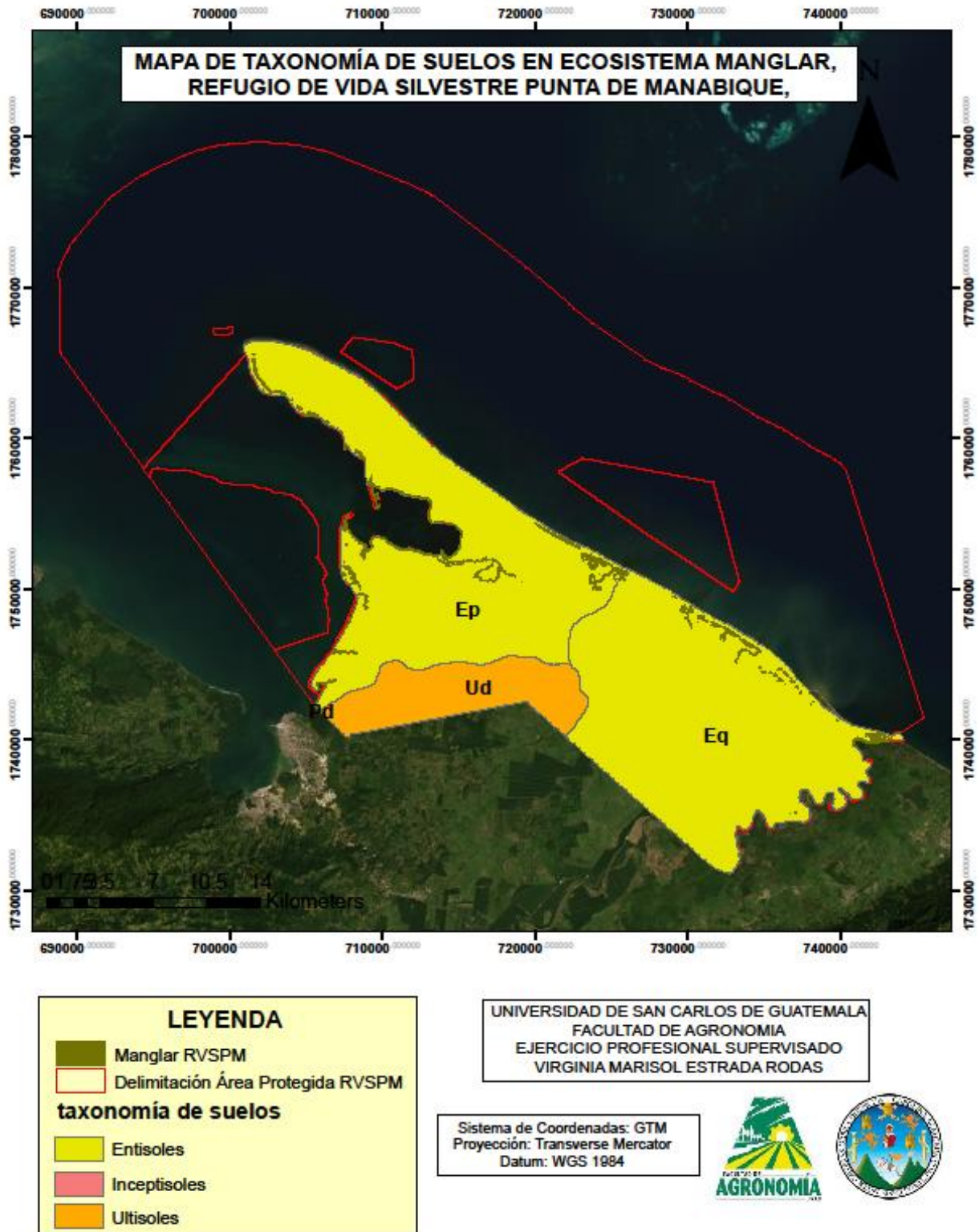
Fuente: Elaboración propia con base al shape de geología, 2020.

Figura 5A. Mapa de geología en el ecosistema manglar RVSPM.



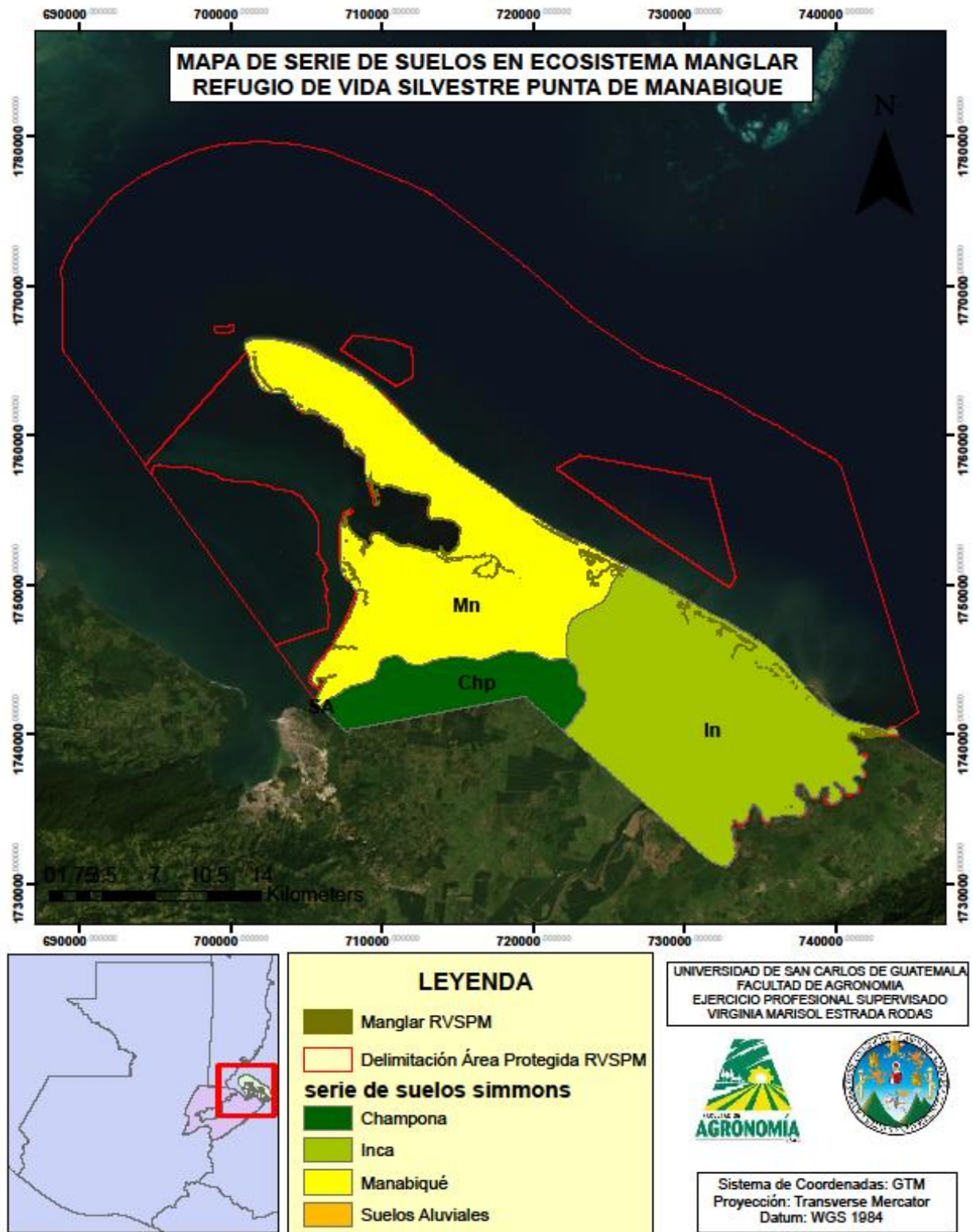
Fuente: Elaboración propia con base al shape fisiografía, 2020.

Figura 6A. Mapa de fisiografía del ecosistema manglar RVSPM.



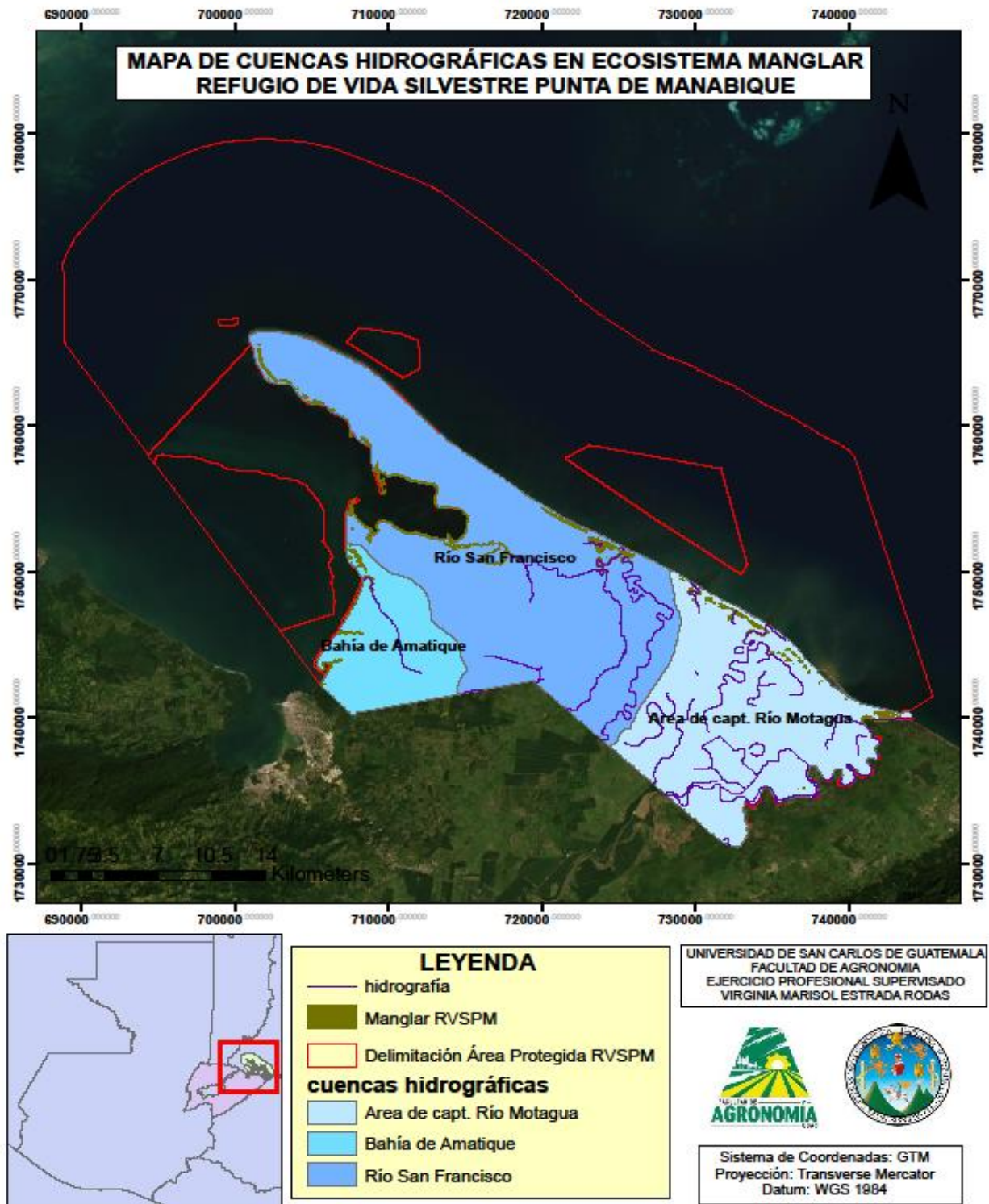
Fuente: Elaboración propia con base al shape de taxonomía de suelos, 2020.

Figura 7A. Mapa taxonomía de suelos en ecosistema manglar RVSPM.



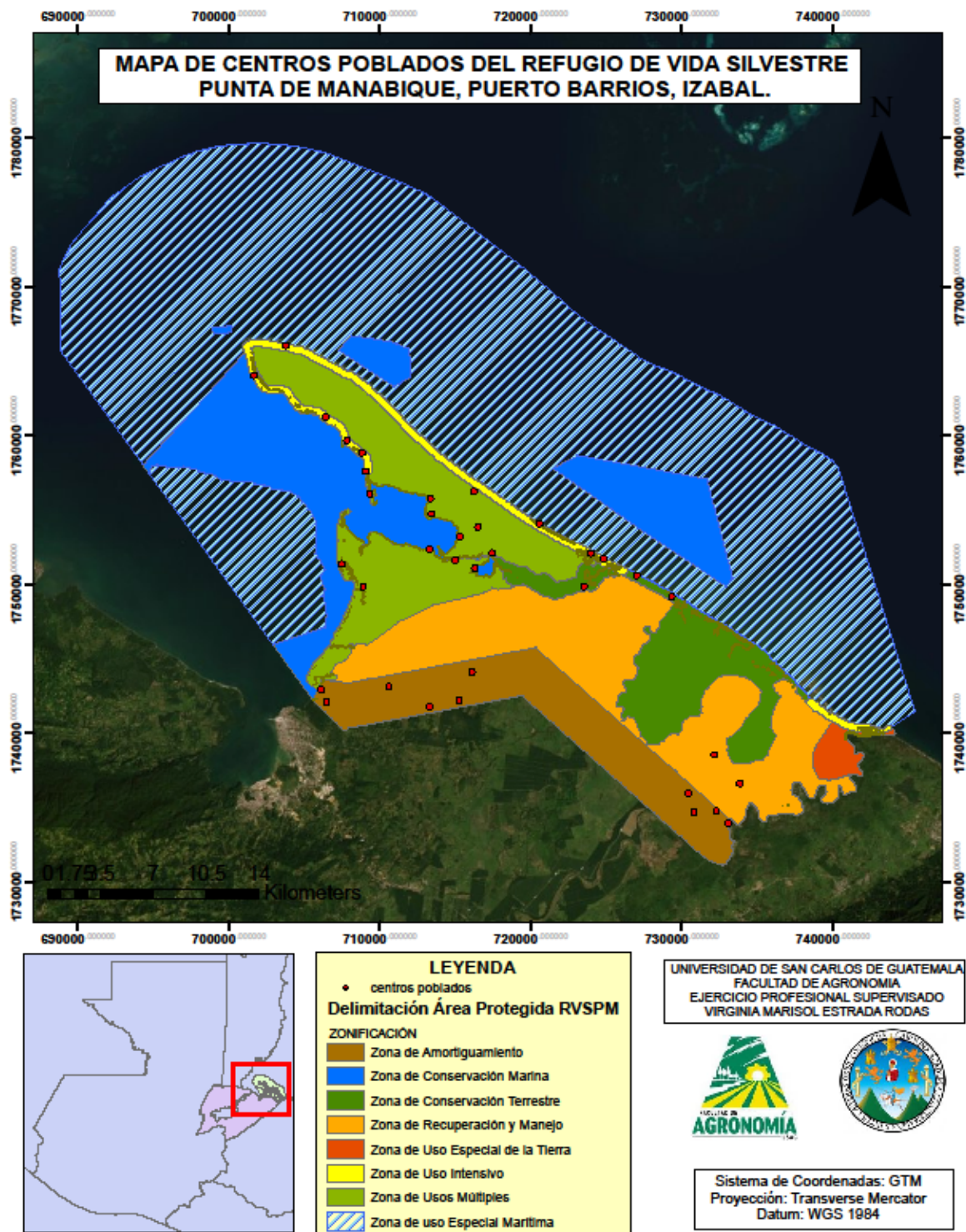
Fuente: Elaboración propia con base al shape de serie de suelos, 2020.

Figura 8A. Mapa de serie de suelos en ecosistema manglar RVSPM.



Fuente: Elaboración propia con base al shape de cuencas hidrográficas, 2020.

Figura 9A. Mapa de cuencas hidrográficas en ecosistema manglar RVSPM.



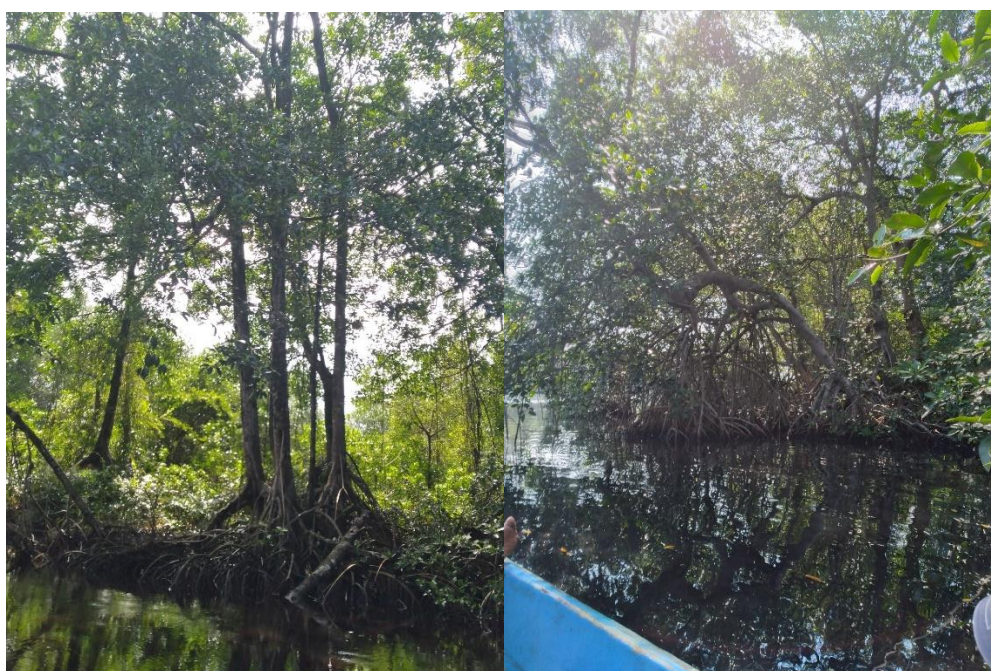
Fuente: Elaboración propia con base al shape de centros poblados, 2020.

Figura 10A. Mapa de centros poblados del área protegida RVSPM.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 11A. Gira de campo para la identificación del ecosistema manglar.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 12A. Ecosistema manglar en el APRVSPM.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 13A. Ecosistema manglar en el APRVSPM.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 14A. Ecosistema manglar en el APRVSPM.

CAPÍTULO II

**ESTIMACIÓN DE CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA Y DE LAS
RAÍCES DEL ECOSISTEMA MANGLAR UTILIZANDO SENSORES REMOTOS EN EL
ÁREA PROTEGIDA REFUGIO DE VIDA SILVESTRE PUNTA DE MANABIQUE,
IZABAL, GUATEMALA, C.A.**

2.1 INTRODUCCIÓN

Los manglares son un ecosistema que se encuentran en las zonas costeras, mantienen procesos fundamentales en el funcionamiento del régimen de soporte de la tierra y para el bienestar humano. (Dittmar et al., 2006)

De acuerdo con Dittmar et al. (2006) la conversión y manejo no planificado del ecosistema manglar están provocando enormes pérdidas de los bienes y servicios que proporcionan; uno de estos servicios y posiblemente el menos estudiado es la estimación de carbono capturado en la biomasa, ya que los manglares son ecosistemas conocidos por sus funciones como almacenadores, transformadores y exportadores de materia orgánica, con lo que contribuyen significativamente a los ciclos biogeoquímicos de diversos elementos.

Nature Sustainability (2022) menciona que, a nivel mundial, la mitad del carbono irrecuperable del mundo se encuentra en solo el 3.30 % de su superficie terrestre, lo que destaca las oportunidades para esfuerzos específicos para aumentar la seguridad climática global. Ya que, la pérdida de estas reservas de carbono irrecuperables no podría recuperarse para el 2050 si se pierden hoy.

Los sensores remotos permiten utilizar la reflectancia e índices de vegetación para relacionarlo con la estimación de carbono. Ya que Foody et al. (2001) menciona que, existen diversos métodos para estimar el carbono a partir de datos de sensores remotos, afirma que los índices de vegetación son ampliamente utilizados y pueden ser aplicados a las imágenes de satélite.

Además algunas de las imágenes de sensores remotos son distribuidas gratuitamente; a su vez Mohd & Abd (2017) menciona que existen múltiples imágenes de satélite de sensores remotos pasivos multiespectrales de mediana y baja resolución como imágenes Sentinel-2, sensores activos como RADAR (Radio Detection And Ranging) que proporcionan varios enfoques y posibilidades para la estimación de biomasa aérea, por consiguiente la cantidad de carbono almacenado.

La teledetección de múltiples fuentes ha sido elemental en la estimación carbono, con el objetivo de contar con información de uno de los principales servicios con los que cuentan

los manglares y considerar las diferentes estrategias de mitigación al cambio climático, se estimó el carbono en la biomasa aérea y las raíces del ecosistema manglar en el Área Protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, utilizando sensores remotos, puntos de control, y la clasificación supervisada validada en campo. También, se tomaron datos de salinidad y profundidad en laguna Santa Isabel, canal Inglés y bahía La Graciosa para establecer si hay una asociación entre las variables y la distribución del ecosistema manglar.

Conociendo esta información, permitirá establecer una línea base en la implementación de medidas de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático a través de la estimación de carbono del ecosistema manglar, así los resultados servirán para investigaciones futuras en el monitoreo, estimación de biomasa y carbono del ecosistema manglar en el Caribe guatemalteco.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Marco conceptual

A. El Cambio climático y el ecosistema manglar

La variabilidad climática determina los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas. Por eso, los manglares como hábitat crítico de la zona costera presentan respuestas frente a la variabilidad climática que induce el cambio global, desarrollando un papel estructural y funcional clave en la estabilidad de la línea de costa, la persistencia de hábitat y biodiversidad, el metabolismo del ecosistema, reduciendo riesgos e incertidumbre para el desarrollo sustentable del uso de sus recursos. (Gitay et al., 2002)

Los cambios tendrán consecuencias además sobre el secuestro de carbono en los ecosistemas. Muchos estudios de modelación del carbono de la biósfera muestran que es probable que la capacidad de los ecosistemas de secuestrar carbono podría degradarse severamente bajo los escenarios de cambio climático menciona Cramer et al. (2004) citado por (Martínez et al., 2010)

B. Ecosistema manglar

Los manglares son bosques pantanosos que viven donde se mezcla el agua dulce del río con el agua salada del mar. En estos lugares de encuentro relativamente tranquilos: estuarios, bahías, lagunas, canales y ensenadas viven estos árboles que muestran sus raíces aéreas. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2013)

Los manglares son capaces de adaptarse a distintos grados de salinidad según el estado de las mareas. En marea alta, las raíces aéreas de estos árboles captan el oxígeno y lo transportan a las raíces que se encuentran bajo el agua las encargadas de anclar cada árbol a la tierra inundada. A su vez, estas captan los nutrientes del agua del mar para que circulen

por la planta y se conviertan en alimento al mezclarse con el oxígeno, expulsando por sus hojas la sal. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2013)

C. Servicios ecosistémicos del manglar

Kauffman et al. (2013) mencionan que los manglares son ecosistemas costeros clave, pues proveen servicios ambientales y funciones ecológicas críticas para los recursos terrestres y marinos. Entre estos servicios están:

- La protección de la costa frente a tormentas y tsunamis.
- La depuración de agua.
- La provisión de recursos madereros.
- La biodiversidad y hábitat para varias especies en peligro de extinción y la provisión de zonas de reproducción y crianza para especies de importancia pesquera.
- El servicio ambiental más importante y menos estudiado de los manglares es su papel como reservas de carbono.

D. Almacenamiento de carbono en manglares

Las reservas de carbono de los manglares pueden dividirse en dos componentes principales: aéreo y subterráneo. Globalmente, el carbono azul representa más del 55 % del carbono verde (el almacenado en los bosques). Entre el 80 % y hasta el 97 % de esta reserva de carbono se encuentra en el subsuelo, ya que los manglares poseen suelos ricos en materia orgánica, que permanece almacenada no durante décadas o siglos (como en las selvas tropicales), sino más bien durante milenios. (Kauffman et al., 2013)

E. Potencial de captura de carbono en manglares y sitios de influencia

Los manglares son los ecosistemas de mayor contenido de carbono en los trópicos, llegando a almacenar hasta 1,023 tC/ha. Puede ser un ecosistema clave en las estrategias de mitigación de los cambios climáticos vía reforestación o restauración. (Kauffman et al., 2013)

A pesar de los bienes y los servicios ambientales que nos ofrece el ecosistema manglar, en Guatemala, estos bosques son poco conocidos y apreciados. De igual manera, se desconoce las alteraciones y amenazas a las cuales están expuestos. (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales MARN), 2016)

F. Dióxido de carbono equivalente

El CO_{2e} es una medida que fue creada por el Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas con el fin de hacer que los efectos de los diferentes gases de efecto invernadero sean comparables. El CO_{2e} describe esencialmente el potencial de calentamiento global de todos los gases de efecto invernadero. (Klima, 2021)

La compensación en la reducción de emisiones, no se basa en el carbono (C), sino en emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}). Se utiliza un factor de conversión de 3.67 para convertir carbono a dióxido de carbono equivalente. Por lo tanto, las potenciales emisiones generadas por el cambio en el uso del suelo. (White & Minang, 2011)

El gas de efecto invernadero más importante asociado con cambios en el uso del suelo es el dióxido de carbono (CO₂). Cuando una unidad de carbono forestal entra en combustión o se descompone de otro modo, el carbono se combina con dos unidades de oxígeno para producir una unidad de Co₂. Considerando el peso atómico del carbono (12) y del oxígeno (16), una unidad de C equivale a 3.67 unidades de Co₂ $((12+(2*16)) / 12) = 3.67$ (White & Minang, 2011)

a. Concentración de CO₂ equivalente (CO₂-eq)

La concentración de dióxido de carbono (CO₂) que causaría el mismo forzamiento radiactivo como una mezcla dada de CO₂ y otros componentes de forzamiento. Esos valores pueden considerar sólo los gases de efecto invernadero (GEI), o una combinación de GEI, aerosoles y cambio de albedo superficial. CO₂ equivalente concentración es una métrica para comparar el forzamiento radiactivo de una mezcla de diferentes componentes de forzamiento en un momento particular pero no implica equivalencia de las correspondientes respuestas al cambio climático ni futuras forzando por lo general, no hay conexión entre el equivalente de CO₂ emisiones y las concentraciones equivalentes de CO₂ resultante. (The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014)

b. Emisión de CO₂ equivalente (CO₂.eq)

La cantidad de emisión de dióxido de carbono (CO₂) que causaría el mismo forzamiento radiactivo integrado, sobre un horizonte de tiempo dado, como cantidad emitida de un gas de efecto invernadero (GEI) o una mezcla de GEI. La emisión de CO₂ equivalente se obtiene multiplicando la emisión de un GEI por su potencial de calentamiento Global (GWP) para el tiempo dado horizonte. Para una mezcla de GEI se obtiene sumando las emisiones de CO₂ equivalente de cada gas. La emisión de CO₂ equivalente es una escala común para comparar emisiones de diferentes GEI pero no implica la equivalencia de los correspondientes respuestas al cambio climático. Generalmente no hay conexión entre emisiones de CO₂ equivalente y concentraciones de CO₂ equivalente resultantes. (The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014)

G. Factores que influyen en la distribución de los manglares

Los principales factores que se describen a continuación son considerados como los que influyen en gran parte en la distribución de los manglares.

- Salinidad: Tomlinson (1986) destaca que el establecimiento de los manglares depende del grado de salinidad, que permite la distribución de las especies según su tolerancia.
- Fluctuación de mareas: las mareas juegan un importante rol; las inundaciones con la salinidad ayudan a excluir otras plantas vasculares y reduce la competencia, la marea lleva salinidad a los estuarios y la mezcla contra la salida del agua dulce. Lo que incrementa el desarrollo y la expansión del manglar y las mareas transportan sedimentos, nutrientes y agua limpia al manglar y exporta carbono orgánico y reduce los compuestos de azufre. (Tomlinson, 1986)
- Hidroperíodo: La distribución y desarrollo estructural de las especies de mangle es influenciado directamente por el hidroperíodo superficial y subterráneo que repercute en la dinámica de la salinidad. (Zaldívar et al., 2010)
- Profundidad: La tolerancia de las especies de mangle se ve influenciada por los diferentes niveles de inundación, mayor a 40 cm *Rhizophora mangle* L., 20 cm - 30 cm *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaerth, 10 cm - 20 cm *Avicennia germinans* (L.) L. y menor a 10 cm *Conocarpus erectus* L. (Instituto Nacional de Bosques (INAB) INAB & Consejo Nacional de Areas Protegidas (CONAP), 2019)

H. Ecología de los manglares

Cada especie de mangle posee preferencias ecológicas que le son propias. Los ecosistemas tienen una dinámica, influenciada por las condiciones locales del medio. Numerosas comunidades del mangle presentan tendencia a la zonación y muchas revelan un proceso de sucesión, es decir cambios de especies, y de estructura que aparecen con el paso del tiempo. (Schaefferr-Novell, 1990)

I. Distribución de ecosistemas de manglar del atlántico de Guatemala

La cobertura de bosque manglar del territorio de Guatemala es de 18,839 ha. El total de esta extensión equivale al 0.17 % del territorio nacional y aunque se considera un área relativamente pequeña, desempeña funciones vitales y de importancia para pobladores cercanos, pero también interviene en procesos naturales de otros ecosistemas como el marino-costero que está estrechamente ligado a éste y con repercusiones de mayor impacto para el país. (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), 2016)

Según CATHALAC (2012) reporta para el atlántico de Guatemala 1,169 ha de cobertura manglar, de las cuales el 88.23 % están ubicadas dentro de áreas protegidas.

J. Especies de manglar en Guatemala

a. *Rhizophora mangle* L.

Nombre común: mangle rojo, mangle colorado y mangle salado.

Familia: *Rhizophoraceae*

Árboles hasta 30 m o arbustos, muy ramificados. Hojas 5 cm - 20 cm × 2 cm - 10 cm, elípticas, el ápice agudo; pecíolo 1 cm - 4 cm; estípulas 3 cm - 7 cm. Inflorescencias ramificadas dicotómicamente, pedúnculo 1.50 cm - 8 cm, pedicelos 6 mm - 23 mm; 2 brácteas, 5 mm - 20 mm el ápice agudo; bractéolas 5 mm - 20 m, connatas, los márgenes escariosos, el ápice agudo a anchamente agudo. Yemas floríferas 8 mm - 14 mm, ovoides a piriformes; sépalos 6 mm – 8 mm × 2.50 mm - 3.50 mm en las flores, 12 mm – 15 mm × 5 mm - 7 mm en los frutos, triangulares; pétalos 6 mm – 8 mm × 1 mm - 2 mm, caducos, glabros abaxialmente, vilosos adaxialmente; 8 estambres, 4 mm - 6.5 mm, sésiles, apiculados; estilo c. Fruto 28 mm - 33 mm × 12 mm - 15 mm. Zonas de marea, lagunas estuarinas y costeras, de aguas salobres. (FLORA MESOAMERICANA, 1995)

b. *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn

Nombre común: mangle blanco, white mangrove.

Familia: Combretaceae

Arbustos o árboles hasta 12 m. Hojas 3 cm -12 cm × 2 cm - 6 cm, elípticas a oblongo-elípticas, glabras, la base y el ápice obtusos a redondeados; pecíolo 7 mm - 20 mm, con 2 glándulas sésiles distales. Espigas 2 cm - 20 cm (incluyendo el pedúnculo). Flores estaminadas c. 2 mm (incluyendo el cáliz); flores pistiladas y bisexuales hasta 6.50 mm (incluyendo el ovario y el cáliz). Frutos 12 mm – 20 mm × 4 mm -10 mm (incluyendo el ovario y el cáliz). (FLORA MESOAMERICANA, 1995)

c. *Avicennia germinans* (L.) L.

Nombre común: mangle negro.

Familia: Acanthaceae

Árboles o arbustos, 3 m – 10 m de alto. Hojas angostas, elíptico-oblongas, 6.50 cm – 10 cm de longitud y 1.50 cm – 3 cm de ancho, ápice agudo (agudo-redondeado), base cuneada. Inflorescencia panícula de espigas 1 (2)-compuesta, 9 cm de longitud y 2 cm – 5 cm de ancho, flores agrupadas en los extremos, bráctea floral ovada, 2.50 mm – 3 mm de longitud, bractéolas lanceoladas 2.50 mm – 4 mm de longitud; cáliz 3.50 mm – 4.50 mm de longitud; corola 4.50 mm – 8 mm de longitud; estambres con anteras exertas, filamentos 2.50 mm – 4 mm de longitud, todos similares y filiformes. Fruto ovado-oblicuo, apiculado, 1.50 cm – 2 cm de longitud y 1 cm – 1.50 cm de ancho, escasamente seríceo. Manglares, estuarios y playas. 0 m – 10 m; fl dic–jul, fr jul–oct. (FLORA DE NICARGUA, 1994)

d. *Conocarpus erectus* L.

Nombre común: mangle de Botoncillo, buttonwood, button mangrove.

Familia: *Combretaceae*

Arbustos o árboles hasta 10 m - 20 m. Hojas 3 cm – 12 cm × 1 cm - 3.50 cm (incluyendo el pecíolo), angostamente elípticas o algunas veces elípticas, con 2 glándulas sésiles en el pecíolo o la lámina decurrente, gradualmente atenuándose en la base y ápice. Cabezuelas de flores 3 mm - 5 mm de diámetro, agrandándose hasta 5 mm – 15 mm × 7 mm - 13 mm en el fruto. Manglares y suelos arenosos cerca del mar. 0 m - 30 m. (FLORA MESOAMERICANA, 1995)

K. Humedales de RAMSAR

Comprende un paisaje marino de aguas someras con poblaciones de organismos mayoritariamente juveniles, con aguas no muy cálidas y de baja salinidad; se complementa con una porción terrestre formada por un gran banco arenoso que resguarda una franja de pantanos de palmeras de Manicaria. Tierra adentro se desarrolla un paisaje de bosque lluvioso sobre terrenos anegadizos con agua dulce. Los valores relevantes radican en servir de resguardo a poblaciones de organismos marinos juveniles, actuar como barrera de retención de sólidos para la cuenca y conformar un paisaje de singular belleza escénica. El humedal es además un refugio muy importante para vida silvestre, particularmente para aves consideradas raras y mamíferos amenazados a nivel nacional. (Fundación Mario Dary (FUNDARY), 2000)

L. Categorías de manejo de las áreas protegidas de CONAP

Según la ley de áreas protegidas Decreto 4-89, en el artículo 8 categorías de manejo, “*Las áreas protegidas para su optima administración y manejo se clasifican en; parques naciones, biotopos, reservas de la biosfera, reservas de usos múltiples, reservas forestales, reservas biológicas, manantiales, reservas de recursos, monumentos naturales,*

monumentos culturales, rutas y vías escénicas, parques marinos, parques regionales, parques históricos, refugios de vida silvestre, áreas naturales recreativas, reservas naturales privadas, y otras que se establezcan en el futuro con fines similares” (Consejo Nacional de Areas Protegidas (CONAP), 1989)

a. Categoría de manejo tipo III “Refugio de vida Silvestre”

Los Refugios de vida Silvestre se encuentran en categoría de manejo III de las áreas protegidas. Según el artículo 8 del Reglamento de Áreas Protegidas Acuerdo Gubernativo No. 759-90, los refugios de vida silvestre *“son áreas relativamente grandes, generalmente con una cubierta de bosques. Pueden contener zonas apropiadas para la producción sostenible de productos forestales, agua, forraje, flora y fauna silvestre, sin afectar negativa y permanentemente los diversos ecosistemas dentro del área. Son áreas que pueden haber sufrido alteración por intervención del hombre, pero aún conservan una buena porción del paisaje natural. Estarán generalmente sometidas a un control, en función de las presiones que se ejerzan sobre ellas. Estas áreas contendrán terrenos públicos de preferencia, pero podrán contener terrenos de propiedad privada.”* (Consejo Nacional de Areas Protegidas (CONAP), 1989)

b. Punta de Manabique como área protegida

El consejo nacional de áreas protegidas es el ente rector para el manejo del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique. Es además la autoridad administrativa de la Convención sobre los Humedales siendo Punta de Manabique un sitio RAMSAR desde el 28 de enero del año 2000. (Congreso de la República de Guatemala, 2005)

En 2005 por el Decreto 23-2005 (Ley que declara área protegida el Refugio de Vida Silvestre “Punta de Manabique”) en el artículo 1 se declara Área Protegida “Punta de Manabique”, ubicada al noroeste de Guatemala, en el departamento de Izabal, con una superficie

terrestre de cuatro cuarenta y nueve kilómetros cuadrados (449 km^2), una zona de aguas interiores de doscientos veinte kilómetros cuadrados (220 km^2) y una zona marina definida hacia el Mar Caribe, con una superficie equivalente a la extensión de la zona considerada como mar territorial de Guatemala. (Congreso de la República de Guatemala, 2005)

M. Aplicación de sensores remotos en el manglar

Dada las complicaciones en el acceso que impone el trabajo de campo en zonas intermareales. La percepción remota y los sistemas de información geográfica son herramientas útiles para dar seguimiento a variables ambientales a diferentes escalas espaciales. (Howard et al., 2014)

Se ha ocurrido a la interpretación visual de imágenes y la clasificación digital como herramientas para análisis espaciales. Un atributo de la superficie terrestre se relaciona con un comportamiento espectral determinado como los valores de reflectancia o emisión de la superficie terrestre en distintas longitudes de onda. (Lizano et al., 2002)

N. Estimación de la biomasa basada en la teledetección

La teledetección presenta una técnica para adquirir imágenes de la superficie de la tierra a través de sensores remotos instalados en plataformas aéreas o espaciales; de igual manera define un sensor como el encargado de coleccionar la información recibida por las cubiertas terrestres en este sentido se puede hablar de sensores pasivos y activos, los primeros dependen de la energía proveniente de una fuente exterior como el sol, y los activos son capaces de emitir su propio haz de energía. (Chuvienco, 2010)

Esta técnica permite medir la cantidad de radiación del espectro electromagnético que se refleja o dispersa (Sharma & Chaudhry, 2015). Las imágenes de satélite tienen como característica la toma de datos continuos de la superficie terrestre en varias regiones del

espectro electromagnético, esta información proporciona los mecanismos para el estudio de ecosistemas forestales a gran escala y permite determinar las relaciones existentes con los ciclos globales del planeta. (González, 2008)

Los datos de sensores remotos se han convertido en una fuente primaria para la estimación de la biomasa aérea, las técnicas tradicionales para su estimación presentan dificultades cuando se requiere mostrar su distribución a grandes escalas; los datos colectados por sensores remotos presentan una ventaja con respecto a los métodos tradicionales ya que permiten el procesamiento rápido de grandes volúmenes de datos, su correlación entre bandas espectrales y mediciones en la vegetación lo que la convierten en un método primordial para la estimación de biomasa aérea en grandes áreas. (Lu, 2006)

O. Vegetation index (VI)

En el campo de la teledetección se han desarrollado diferentes índices de vegetación para evaluar las características de cubiertas vegetales a través de mediciones espectrales, la reflectancia espectral se utiliza para comprender la naturaleza de las características de la vegetación. (Das & Singh, 2012)

a. Normalized difference vegetation index (NDVI)

Es un índice de vegetación el cual es utilizado frecuentemente por investigadores en el campo medioambiental, Chuvieco (2010) dice que por la facilidad en su interpretación es muy utilizado para el seguimiento y la dinámica de la vegetación terrestre global; para Silleos et al. (2006) es un índice que separa la vegetación de otro tipo de coberturas y es calculado a partir de la relación entre la banda del infrarrojo cercano (NIR) y banda del rojo (Red).

Presenta una escala de medición entre 1 y -1, donde valores cercanos a cero (0) se entienden como superficies no vegetales y valores negativos a superficies sin ningún tipo

de vegetación, además de que minimiza los errores causados por la topografía sus valores indican el estado y la abundancia de la vegetación. Pudiéndose realizar comparaciones en diferentes épocas para determinar las dinámicas de la vegetación en un ecosistema. (Silleos et al., 2006)

b. Soil adjusted vegetation index (SAVI)

Rodríguez & Bullock (2013) explican que este índice tiene como objetivo medir el vigor y la estructura del dosel de la vegetación sin embargo se incorpora un ajuste para cubierta del suelo. Para Silleos et al. (2006), este índice permite minimizar los efectos que tiene el suelo agregando una variable L, donde para vegetación muy densa toma el valor de uno (1), para vegetación medio densa toma el valor de 0.50 y para escasa vegetación puede tomar un valor de 0.25 todo depende de las variaciones del terreno.

c. Normalized difference wáter index (NDWI)

Índice para la teledetección de la vegetación de agua líquida desde el espacio, donde representa el resplandor en las unidades de reflectancia. La absorción por vegetación de agua líquida cerca de 0.86 m es insignificante. Se presenta una absorción líquida débil a 1.24 m. La dispersión del dosel mejora la absorción de agua. Como resultado, NDWI es sensible a los cambios en el contenido de agua líquida de las marquesinas vegetales. NDWI es menos sensible a los efectos atmosféricos que NDVI, NDWI no elimina completamente los efectos de reflectancia del suelo de fondo, similares a NDVI. NDWI debe considerarse como un índice de vegetación independiente. Es complementario, no un sustituto de NDVI. (Gupta, 2018)

d. Combined mangrove recognition index (CMRI)

Utiliza la información del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y el índice de agua de diferencia normalizada (NDWI). Estos índices están correlacionados negativamente ($r = -0.988$; $p < 0.01$). Además, los valores de NDWI se restan de los valores de NDVI a nivel de pixel. (Gupta, 2018)

P. Imágenes sentinel multi-espectral

Sentinel-2 es una misión de imágenes multispectrales de alta resolución y amplia franja que respalda los estudios de monitoreo terrestre de Copernicus, incluido el monitoreo de la vegetación, el suelo y la cubierta de agua, así como la observación de vías navegables interiores y áreas costeras. Contiene 12 bandas espectrales, con diferentes resoluciones espaciales, cuatro bandas de 10 m, seis bandas de 20 m y dos bandas con resolución de 60 m. El tiempo de revisita, estando ambos satélites operativos, es de 5 días. En el cuadro 7 se encuentran las especificaciones de las imágenes sentinel-2. (COPERNICUS, 2021)

Los productos adquiridos por Sentinel-2 se encuentran divididos en tiles o teselas de 100 km x 100 km y son productos de:

- A. **Nivel 1 (S2_MSI_L1C):** las imágenes vienen con valores de reflectancias en el tope de la atmósfera (TOA) georreferenciadas.
- B. **Nivel 2 (S2_MSI_L2A):** las imágenes vienen con valores de reflectancias a nivel del suelo (BOA) georreferenciadas.

Cuadro 7. Especificaciones técnicas de imágenes satelitales de Sentinel-2

BANDAS DEL SENTINEL-2		LONGITUD CENTRAL DE ONDA (UM)	RESOLUCIÓN ESPACIAL
Banda 1	Aerosols	0.443	60
Banda 2	Blue	0.490	10
Banda 3	Green	0.560	10

Continuación cuadro 7.

Banda 4	Red	0.665	10
Banda 5	Vegetation red edge1	0.705	20
Banda 6	Vegetation red edge 2	0.740	20
Banda 7	Vegetation red edge 3	0.783	20
Banda 8	NIR	0.842	10
Banda 8A	Vegetation red edge 4	0.865	20
Banda 9	Water vapour	0.945	60
Banda 11	SWIR 1	1.610	20
Banda 12	SWIR 2	2.190	20

Fuente: (COPERNICUS, 2021).

Q. Synthetic Aperture RADAR (SAR)

Es un satélite de observación de la tierra cuyo instrumento principal es un radar de apertura sintética (SAR por sus siglas en inglés Synthetic Aperture Radar). Un SAR envía pulsos electromagnéticos a la tierra con el objetivo de grabar su retorno una vez reflejado por la superficie y obtener así imágenes del área que ilumina. Se trata por tanto de un sensor activo que no necesita otras fuentes de iluminación, como es el caso de los sensores ópticos que necesitan la energía solar. (Gimeno, 2019)

La misión Sentinel-1 proporciona datos de un instrumento (SAR) de banda C de doble polarización a 5.405 GHz (banda C) Esta colección incluye las escenas S1 Ground Range Detected (GRD), procesadas con la caja de herramientas Sentinel-1 para generar un producto calibrado y ortocorregido. La colección se actualiza diariamente. Los nuevos activos se ingieren dentro de los dos días posteriores a su disponibilidad. (COPERNICUS, 2021)

COPERNICUS (2021) menciona que esta colección contiene todas las escenas GRD, cada escena tiene una de 3 resoluciones (10 m, 25 m o 40 m), 4 combinaciones de bandas (correspondientes a la polarización de la escena) y 3 modos de instrumento. El uso de la

colección en un contexto de mosaico probablemente requerirá filtrar hasta un conjunto homogéneo de bandas y parámetros. Cada escena contiene 1 o 2 de las 4 posibles bandas de polarización, según la configuración de polarización del instrumento. Las combinaciones posibles son VV o HH de banda única y VV + VH y HH + HV de doble banda que se encuentran a continuación y descritas en el cuadro 8:

- VV: polarización única, transmisión vertical/recepción vertical
- HH: polarización única, transmisión horizontal/recepción horizontal.
- VV + VH: polarización cruzada de doble banda, transmisión vertical/recepción horizontal
- HH + HV: polarización cruzada de doble banda, transmisión horizontal/recepción vertical.

Cuadro 8. Descripción de bandas imágenes SAR

Nombre	Descripción	min	max	Resolución
HH	Polarización única, transmisión horizontal/recepción horizontal	-50	1	10 m
HV	Polarización cruzada de doble banda, transmisión horizontal/recepción vertical	-50	1	10 m
VV	Polarización única, transmisión vertical/recepción vertical	-50	1	10 m
VH	Polarización cruzada de doble banda, transmisión vertical/recepción horizontal	-50	1	10 m
Angulo	Angulo de incidencia aproximado desde el elipsoide	0	90	-1 m

Fuente: (COPERNICUS, 2021)

R. Google earth engine (GEE)

Nació a finales del 2010 como una forma para eliminar esa limitante computacional y permitir a los usuarios realizar análisis complejos, involucrando grandes cantidades de datos y expandiendo la frontera de la ciencia en percepción remota. Esta plataforma de análisis

permite procesar información geoespacial en la nube sin necesidad de ocupar la memoria de la computadora del usuario. (Gorelick et al., 2017)

GEE está ligado directamente a varios programas satelitales que permiten integrar en la base de datos las imágenes que acaban de ser tomadas. GEE es, por lo tanto, una solución innovadora para el manejo de los datos masivos “Big Data”, que permite afrontar problemas globales, dando resultados velozmente. De esta manera, permite proponer y actuar en soluciones para dichos problemas de forma ágil. GEE está compuesto por cuatro elementos principales. (Gorelick et al., 2017)

- El primer elemento menciona Moore (2017) que es la infraestructura de Google, la cual pone a disposición del usuario sus servidores, permitiendo así hacer análisis en paralelo con cerca de 10,000 procesadores.
- El segundo elemento es el acervo de datos (datasets). Google tiene almacenado todas las imágenes de varios sensores (Landsat, Sentinel, MODIS, entre otros). (Gorelick et al., 2017)
- Perilla & Mas (2020) menciona que el tercer elemento es la API (Application Program Interface), la cual consiste en una serie de comandos y funciones preestablecidas, escritos en lenguaje JAVA, que permite una programación sencilla al desarrollar algoritmos para las investigaciones.
- Perilla & Mas (2020) dicen que el cuarto elemento es el Code Editor, el cual es un entorno de desarrollo integrado en línea, donde se juntan todos los elementos. Aquí es donde el usuario puede, a través de código de trabajo “scripts”, llamar a los datos, procesar y visualizarlos de manera virtual con los servidores de Google, teniendo así sus resultados e información en la nube.

2.2.2. Marco referencial

A. Ubicación geográfica

El ecosistema manglar se encuentra en el área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique del municipio de Puerto Barrios en el departamento de Izabal. Presenta un área total de 416.46 ha según CATHALAC (2012). (figura 15)

B. Vías de acceso

Para llegar al ecosistema manglar del área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, se debe utilizar transporte marítimo, saliendo del muelle municipal de Puerto Barrios Izabal hacia punta de Manabique; al llegar al final de bahía La Graciosa se toma el canal Inglés que es una vía acuática y una unión natural de ésta con la laguna Santa Isabel.

C. Uso de la tierra

El ecosistema manglar se encuentra rodeado principalmente por bosques inundables en el canal Inglés y laguna Santa Isabel. Por la parte de bahía La Graciosa el manglar se encuentra a la orilla del mar en una franja de 5 m - 10 m máximo seguido de bosque latifoliado, en la parte Oeste el manglar se encuentra en ríos que desembocan con el mar Caribe (FRONTERA DE HONDURAS). También podemos encontrar tierras de cultivos como maíz y frijol, potreros, pastos naturales con matorral, vegetación arbustiva y fincas privadas.

D. Clima

Las condiciones climáticas son variables por la influencia de los vientos, que predominante entran desde el Noroeste y están cargados de humedad, proveniente del Golfo de Honduras. Según el modelo de Thornthwaite, el clima corresponde a régimen mega térmico híper-húmedo, de tipo ArA 'a ' (cálido, húmedo, sin estación seca bien definida) (Sánchez, 1992). El gradiente de humedad de norte a sur va, respectivamente, de mayor a menor. La lluvia es de moderada a intensa y bien distribuida a lo largo del año, aunque se reconoce como “meses secos” a febrero, marzo y abril. (Centro de Estudios Conservacionistas (CECON) & Centro de Datos para la Conservación (CDC), 1992)

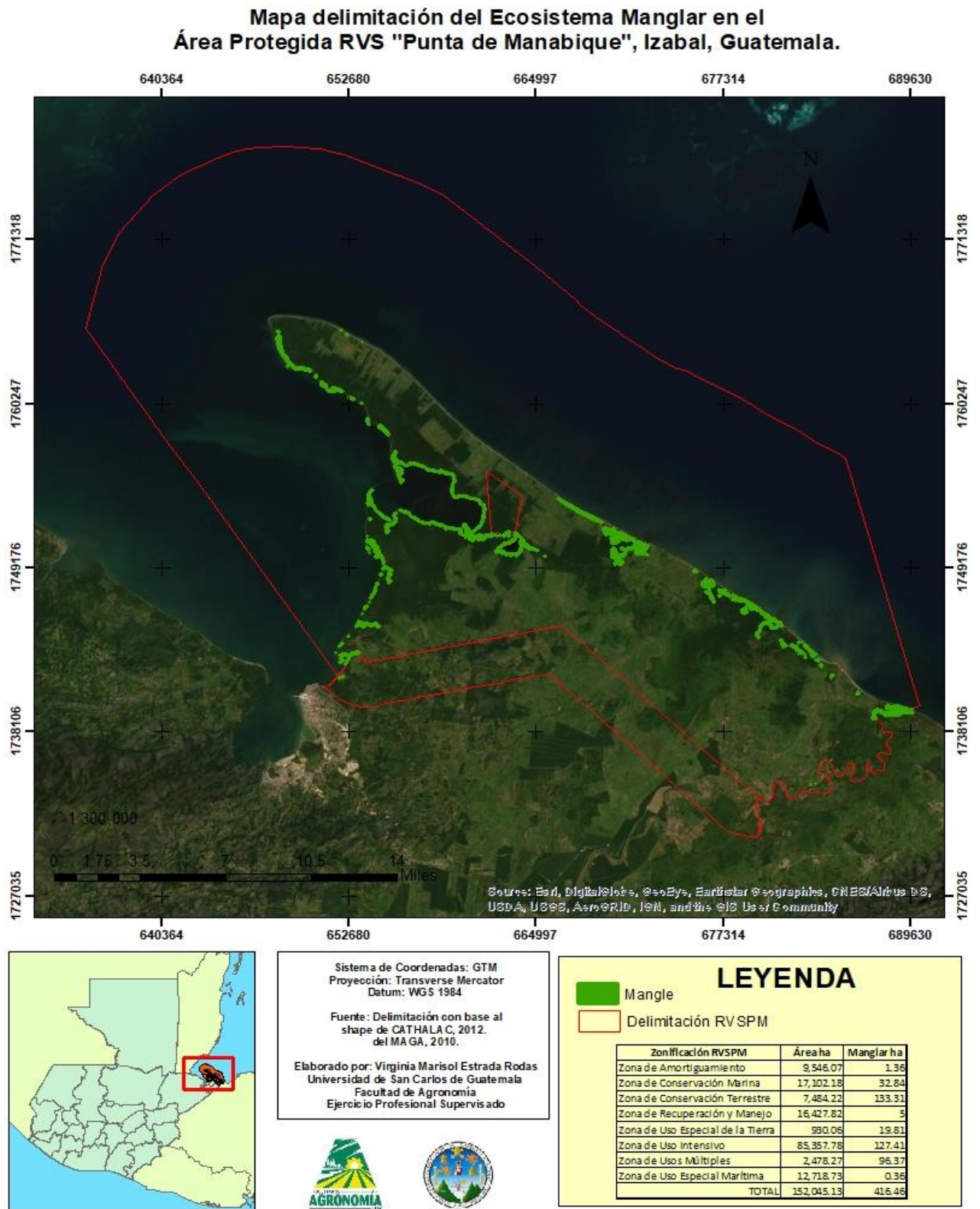
E. Hidrología e hidrografía

La hidrología es muy compleja en el RVS Punta de Manabique, por las características del área y por contener la parte más baja y final del curso del río Motagua. El Motagua es el río de mayor caudal en el área, con un caudal medio de 530 m³/s, aunque está confinado al límite oriental, es grande el efecto de su desembocadura sobre el litoral del Golfo de Honduras. (Centro de Estudios Conservacionistas (CECON) & Centro de Datos para la Conservación (CDC), 1992)

Los ríos más importantes del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique son: Motagua, San Francisco y Piteros, que desembocan en el Golfo de Honduras; Machacas, en el sector Occidental descarga a la bahía de Amatique. Existen corrientes pequeñas, de entre uno a cinco km de longitud, tales como el río Chiquito (afluente del Motagua), Estero Motagüilla, Estero Guineo, San Francisco del Mar (desemboca unido a los ríos Piteros y San Francisco), Creek Grande (desemboca en el canal Inglés) y los ríos Pioquinto y Creek Negro, que recorren la zona pantanosa Occidental al Sur del Machacas. (Centro de Estudios Conservacionistas (CECON) & Centro de Datos para la Conservación (CDC), 1992)

Dos terceras partes del área (67 %) corresponden a ambientes marinos, tanto del Golfo de Honduras como de bahía de Amatique y bahía La Graciosa. Tres ámbitos definen las características costeras marinas del humedal: la Bahía de Amatique, el Golfo de Honduras

y los pantanos interiores. A la bahía se descargan las corrientes de mayor caudal del país, por la vía de río Dulce, lo que la transforma en una laguna estuarina. Esta bahía atrapa enormes cantidades de sedimentos, posee abundantes pastos marinos, particularmente de *Thalassia*, tiene alta productividad y diversidad biológica acuática. (Centro de Estudios Conservacionistas (CECON) & Centro de Datos para la Conservación (CDC), 1992)



Fuente: delimitación con base al shape de CATHALAC, 2012.

Figura 15. Mapa ubicación del ecosistema manglar en el APRVSPM.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo general

Estimar el carbono almacenado en la biomasa aérea y de las raíces del ecosistema manglar utilizando sensores remotos en el área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, Izabal, Guatemala.

2.3.2 Objetivos específicos

1. Realizar la combinación de bandas espectrales y los índices de vegetación *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), *Normalized Difference Water Index* (NDWI) y *Combined Mangrove Recognition Index* (CMRI) en la imagen satelital para obtener la clasificación supervisada.
2. Cuantificar las hectáreas del ecosistema manglar con la información de la clasificación supervisada.
3. Estimar las toneladas de carbono total y dióxido de carbono equivalente.

2.4. METODOLOGÍA

2.4.1 Etapa inicial de gabinete

A. Delimitación del área de estudio

La delimitación del área de estudio se realizó por medio de sistema de información geográfica (SIG), complementado por el *shape* de “Cobertura Actual del Mangle en Guatemala” elaborado por CATHALAC en el 2012 y *baseMap*. Por medio de fotointerpretación, se delimitaron los límites de cobertura del ecosistema manglar abarcando el área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique y se tomó en cuenta las microcuencas que se encuentran dentro del área protegida.

B. Adquisición de imágenes de satélite

Se obtuvieron imágenes del satélite Sentinel-2 con fechas del año 2020, se encuentran de forma gratuita de la plataforma Copernicus, a través de *Google Earth Engine*. La colección de imágenes se seleccionó a partir del criterio de porcentaje de nubosidad en escena (40), percentil del pixel (50), porcentaje de la nube del pixel (10), profundidad de escenas (40) y escala visual (10). En el cuadro número 9 se encuentran las especificaciones de la colección de imágenes del satélite Sentinel-2.

Cuadro 9. Fecha y características de la imagen satelital Sentinel-2 utilizadas.

Sensor	Captura de imagen satelital	Referencia de imagen satelital	Plataforma	Ubicación

Continuación cuadro 9

Sentinel2	1. 2019/12/26	Id: COPERNICUS /S2_SR Image Collection Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A (15 elements)	Copernicus	Punta de Manabique, Izabal.
	2. 2020/01/02			
	3. 2020/01/12			
	4. 2020/01/15			
	5. 2020/02/04			
	6. 2020/02/06			
	7. 2020/02/11			
	8. 2020/02/24			
	9. 2020/02/26			
	10. 2020/03/02			
	11. 2020/03/05			
	12. 2020/03/05			
	13. 2020/03/05			
	14. 2020/03/20			
	15. 2020/02/27			

Fuente: (COPERNICUS, 2021)

También, se obtuvieron imágenes del satélite Sentinel-1 con fechas de los años 2017-2020, se encuentran de forma gratuita en la plataforma Copernicus, a través de *Google Earth Engine*. La colección de las imágenes de apertura sintética (SAR) se seleccionó a partir de resolución de 10 m y las bandas VV y VH.

Cada escena se procesó previamente con Sentinel-1 Toolbox a través de los siguientes pasos: Eliminación de ruido térmico, calibración radiométrica y corrección del terreno utilizando SRTM 30. En el cuadro número 10 se encuentran las especificaciones de la colección de imágenes del satélite Sentinel-1.

Cuadro 10. Características de la imagen satelital Sentinel-1.

Sensor	Captura de imagen satelital	Referencia de imagen satelital	Plataforma	Ubicación
Sentinel 1	2017-2020	Id: COPÉRNICO/S1_GRD <i>Image</i> <i>Collection</i> COPERNICUS/S1_GRD (332 elementos) colección VV	Copernicus	Punta de Manabique, Izabal.
	2017-2020	Id: COPÉRNICO/S1_GRD <i>Image</i> <i>Collection</i> COPERNICUS/S1_GRD (265 elementos) colección VH		

Fuente: (COPERNICUS, 2021)

C. Pre-procesamiento de imágenes de satélite utilizando ArcMap

Se utilizó la imagen sentinel-2 para la realización de la clasificación no supervisada en el área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, esto con el fin de conocer el resultado de la reclasificación por *clusters* definiendo 4 clases en la superficie del ecosistema mangar y no bosque. Se trabajó utilizando el software ArcGIS en la versión 10.3.

2.4.2 Etapa de campo

A. Reconocimiento del área de estudio

Se realizó un recorrido de campo con el fin de estimar el grado de exactitud del producto obtenido en el mapa de clasificación no supervisada y sus clases; con el apoyo del personal técnico de CONAP se identificaron las especies de manglar presentes en el área de estudio, se documentaron las coordenadas del recorrido por medio de la aplicación Avenza Maps y

GPS en la cobertura del ecosistema manglar. Además, estos puntos complementan a los puntos de entrenamiento que se utilizan en la clasificación supervisada.

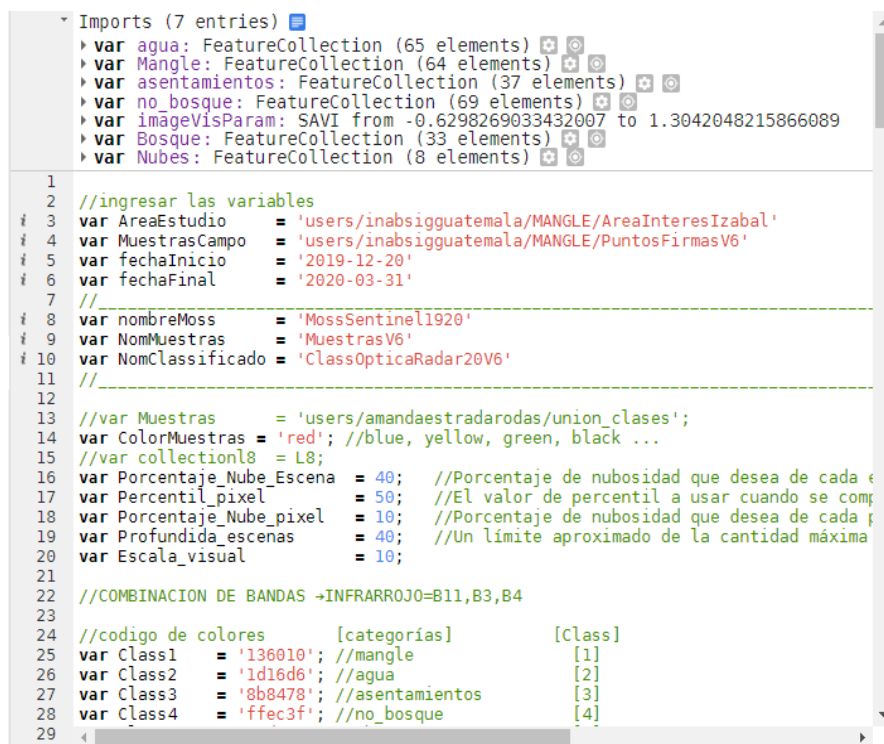
B. Toma de datos de profundidad y salinidad

En 21 puntos distribuidos principalmente en bahía La Graciosa, canal Inglés, laguna Santa Isabel y desembocadura en la laguna del río San Francisco se tomaron datos de profundidad con ayuda de una vara de aproximadamente 2 m, se ingresó al mar y se observó en donde llegaba el nivel del agua, seguidamente se midió con un metro en cm y se anotó el dato en la libreta de campo. Para la salinidad se utilizó una sonda multiparamétrica se ingresó al mar la sonda en aproximadamente 40 cm de profundidad, se tomó lectura de los datos obtenidos en cada punto y se anotó en la libreta de campo.

2.4.3 Etapa final de gabinete

A. Elaboración del script en GEE

Se creó una cuenta personal para el uso de la plataforma virtual gratuita *Google Earth Engine* <https://code.earthengine.google.com/>, se visualizó la interfaz de GEE y en el editor de *scripts* situado en la zona superior de la plataforma se planteó el código necesario donde se llamó la colección de imágenes del satélite de Sentinel 2 corregidas atmosféricamente utilizando la colección <<COPERNICUS/S2_SR>>, también se llamó las colecciones de imágenes radar de apertura sintética (SAR) utilizando la colección <<COPERNICUS/S1_GRD>>. Se aplicó filtros de búsqueda basados en fechas, límites geográficos de interés, cobertura de nubes y otros atributos específicos de la colección que se encuentran en la figura 16.



```

Imports (7 entries)
var agua: FeatureCollection (65 elements)
var Mangle: FeatureCollection (64 elements)
var asentamientos: FeatureCollection (37 elements)
var no_bosque: FeatureCollection (69 elements)
var imageVisParam: SAVI from -0.6298269033432007 to 1.3042048215866089
var Bosque: FeatureCollection (33 elements)
var Nubes: FeatureCollection (8 elements)

1
2 //ingresar las variables
3 var AreaEstudio = 'users/inabsigguatemala/MANGLE/AreaInteresIzabal'
4 var MuestrasCampo = 'users/inabsigguatemala/MANGLE/PuntosFirmasV6'
5 var fechaInicio = '2019-12-20'
6 var fechaFinal = '2020-03-31'
7 //
8 var nombreMoss = 'MossSentinel1920'
9 var NomMuestras = 'MuestrasV6'
10 var NomClassificado = 'ClassOpticaRadar20V6'
11 //
12
13 //var Muestras = 'users/amandaestradasunion_clases';
14 var ColorMuestras = 'red'; //blue, yellow, green, black ...
15 //var collectionL8 = L8;
16 var Porcentaje_Nube_Escena = 40; //Porcentaje de nubosidad que desea de cada
17 var Percentil_pixel = 50; //El valor de percentil a usar cuando se comp
18 var Porcentaje_Nube_pixel = 10; //Porcentaje de nubosidad que desea de cada
19 var Profundida_escenas = 40; //Un límite aproximado de la cantidad máxima
20 var Escala_visual = 10;
21
22 //COMBINACION DE BANDAS ->INFRARROJO=B11,B3,B4
23
24 //codigo de colores [categorías] [class]
25 var Class1 = '136010'; //mangle [1]
26 var Class2 = '1d16d6'; //agua [2]
27 var Class3 = '8b8478'; //asentamientos [3]
28 var Class4 = 'ffec3f'; //no_bosque [4]
29

```

Fuente: (GEE, 2020).

Figura 16. Código del Script en la Plataforma Google Earth Engine (GEE).

B. Cálculo de índices de vegetación (VI)

Con base a las imágenes satelitales, se calculó los índices de vegetación (VI), estos índices son medidas cuantitativas generadas a partir de los valores de los píxeles de la imagen relacionando las bandas espectrales y generando valores únicos para determinar aspectos de la vegetación en la superficie de la tierra. Existe una gran variedad de VI, en el cuadro 11 se muestran los índices que fueron utilizados. Se utilizaron las bandas espectrales de NIR (banda 8), red (banda 4), green (banda 3) y L que es un valor donde para la vegetación muy densa toma el valor de 1, para vegetación medio densa toma el valor de 0.50 y para escasa vegetación puede tomar un valor de 0.25 todo depende de las variaciones del terreno. Donde el NDWI solo se utilizó para determinar CMRI.

Cuadro 11. Cálculo de índices de vegetación.

ÍNDICE DE VEGETACIÓN	FORMULAS	REFERENCIA
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$\frac{(NIR-Red)}{(NIR+Red)}$	(Pearson, et al., 1972).
Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	$\frac{(NIR-Red)(1+L)}{(NIR+Red+L)}$	(Huete, 1988)
Normalized Difference Water Index (NDWI)	$\frac{(Green-NIR)}{(Green+NIR)}$	(Gao, 1996).
Combined Mangrove Recognition Index (CMRI)	$(NDVI-NDWI)$	Gupta et al., 2018).

Fuente: (Gupta, 2018)

C. Obtención de clasificación supervisada

Para la clasificación se generaron un total de 6,617 puntos de entrenamiento lo cual se complementó con los datos georeferenciados de campo. Estos puntos de entrenamiento se incorporaron del *script* dentro de la plataforma de *Google Earth Engine*, aplicando el algoritmo de clasificación de random forest el cual se posiciona entre los mejores de clasificación utilizando sensores remotos. Las categorías clasificadas son: 1) manglar, 2) agua, 3) centros poblados, 4) no bosque, 5) bosque y 6) nubes.

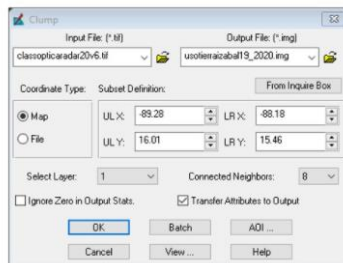
Se georeferenciaron los datos obtenidos en campo de las coordenadas tomadas en el ecosistema manglar. Esto permitió conocer la ubicación espacial del ecosistema manglar de las otras clases. Seguidamente, se descargó la clasificación en formato GEOTIFF para revisarla en el software ArcGIS. Se introdujeron más muestras en la categoría bosque, ya que GEE estaba clasificando manglar en dicha categoría. Se ingresaron nuevamente a GEE y se obtuvo la nueva clasificación supervisada del área de estudio.

D. Corrección de pixeles

Para la limpieza de la clasificación se agruparon 8 pixeles como mínimo y se eliminaron los grupos de 4 pixeles que están sueltos, no se utilizó 0.50 ha como área mínima que define como bosque, ya que el ecosistema manglar en el área protegida RVSPM se encuentran en pequeños parches. Se trabajó en el software ERDAS Imagine como se observa en la figura 17.

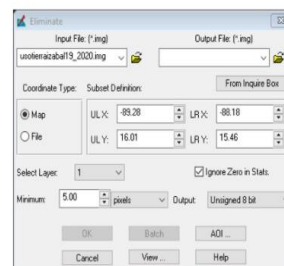
Agrupar pixeles

- Agrupación de 8 pixeles como mínimo



Eliminar pixeles sueltos

Mínimo de pixeles =4



Fuente: Elaboración propia 2020.

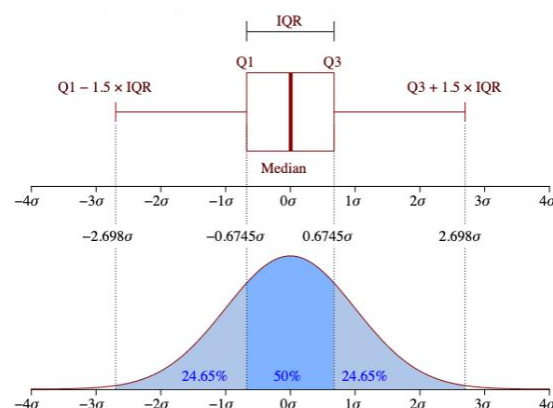
Figura 17. Agrupación y eliminación de pixels en software ERDAS Imagine.

E. Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico en el software ArcGIS en la versión 10.3. en las 6,617 muestras de la clasificación supervisada, se extrajo y se realizó un promedio en el valor de

cada uno de los pixeles y la banda 8, banda 11 y banda 12 (Infrarrojo) que se observa en la figura 18; seguidamente se identificaron las muestras atípicas, muestras que no se identificaron con el valor del pixel dentro del promedio de las 3 bandas y el valor de la tabla Z. Siendo de nuestro interés la clase 1 manglar únicamente se identificaron 5 valores atípicos, por lo tanto, no se realizó una nueva clasificación supervisada de muestras atípicas.

BL	BM	BN	BO	BP	BQ
b1_MossSen	b2_MossSen	b3_MossSen	b4_MossSen	b5_MossSen	MEDIA_B8B11B12
623	494	3130	2375	1145	2216,666667
791	497	3674	2308	1129	2370,333333
849	620	3790	2562	1270	2540,666667
729	433	3560	2484	1212	2418,666667
583	271	3476	1940	885	2100,333333
718	544	3586	2141	1083	2270
847	586	3802	2442	1210	2484,666667
703	379	3724	2140	1021	2295
856	528	3780	2221	1100	2367
832	570	4072	2332	1166	2523,333333
744	445	3372	2145	1040	2185,666667
760	584	3222	2312	1194	2242,666667
855	611	3708	2531	1244	2494,333333
712	396	4168	2024	931	2374,333333
792	596	3354	2130	1069	2184,333333

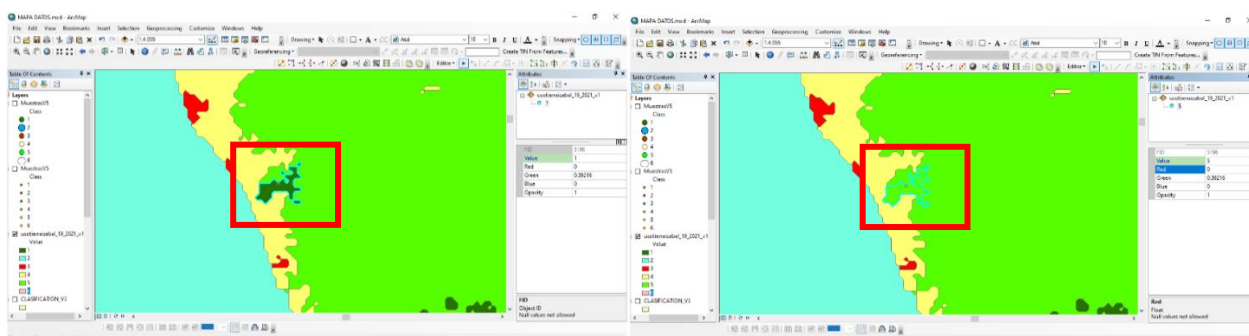


Fuente: Elaboración propia 2020.

Figura 18. Promedio de las bandas y gráfica de campana valor Z.

F. Clasificación supervisada a vector para edición manual de polígonos

En el software ArcGIS en la versión 10.3 con ayuda de la herramienta *conversion tools* se convirtió de *raster* a polígono la clasificación supervisada y se guardó en una geodatabase. Esto con el fin de la identificación de los últimos relictos que clasifica como manglar y pertenecen a otra clase. Estos polígonos identificados se trasladaron cambiando su valor en value de 1 a 5, se trabajó de forma manual como se observa en la figura 19.



Fuente: Elaboración propia 2020.

Figura 19. Polígono en manglar trasladado a la clase de bosque.

G. Mapa de cobertura forestal y uso de la tierra

El mapa de cobertura forestal y uso de la tierra se realizó en el software de sistemas de información ArcGIS 10.1 con ayuda de la herramienta *Geoprocessing* seguidamente de *intersect* y con el producto final de la clasificación supervisada validado en campo y la delimitación del área protegida RVSPM, se generó el *shape* para el cálculo de la sumatoria de hectáreas por cada categoría y su respectivo porcentaje del área de estudio.

H. Cálculo de la estimación del carbono almacenado del ecosistema manglar

Con en el mapa de cobertura forestal y uso de la tierra, se seleccionó y exporto únicamente la categoría “manglar” y se generó un nuevo *shape* del área de interés, seguidamente se sobrepuso sobre el Mapa de estratos de carbono generado por GIMBUT (2017) donde se verifico en que estrato se encuentra el ecosistema manglar del RVSPM, al *shape* de la categoría manglar se seleccionaron las hectáreas por cada estrato y se agregó una nueva casilla para agregar el valor del estimador y otra casilla para el cálculo del carbono en toneladas de carbono por hectárea (tC/ha) como se observa en la figura 20. Para el cálculo del carbono se multiplico la cantidad de hectáreas por el valor estimador del estrato.

Table

categoriamangleRVSPM

	CÓDIGO_1	NOMBRE_esp	Categor_12	(estimador) tCha	tCha_acumu
	156	Punta de Manabique	Refugio de Vida Silvestre	97.11	51.658641
	156	Punta de Manabique	Refugio de Vida Silvestre	97.11	17.413118
	156	Punta de Manabique	Refugio de Vida Silvestre	97.11	6.036581
	156	Punta de Manabique	Refugio de Vida Silvestre	97.11	23.682174
	156	Punta de Manabique	Refugio de Vida Silvestre	97.11	9.867691
	156	Punta de Manabique	Refugio de Vida Silvestre	97.11	9.983816
	156	Punta de Manabique	Refugio de Vida Silvestre	97.11	9.867854
	156	Punta de Manabique	Refugio de Vida Silvestre	97.11	36.45344
	156	Punta de Manabique	Refugio de Vida Silvestre	97.11	6.036925
	156	Punta de Manabique	Refugio de Vida Silvestre	97.11	20.897367

Fuente: Elaboración propia 2020.

Figura 20. Valor del estimador del estrato y tC/ha calculado.

I. Cálculo de la biomasa

Para el cálculo de la biomasa se utilizó la fracción de carbono 0.47, se debe a que en la literatura indica que en promedio la materia vegetal (biomasa), contiene un 47 % de carbono, una vez removida el agua quedando únicamente la materia seca. Por lo tanto, todos los valores obtenidos de carbono se dividieron por la fracción de carbono de 0.47. El resultado obtenido fue de toneladas por hectárea

J. Cálculo del dióxido carbono equivalente (CO₂e)

Para la estimación de dióxido de carbono equivalente, se hace por la conversión internacional de carga de gases de efecto invernadero, que se mide en términos de CO₂e (Dióxido de carbono equivalente). La compensación por reducción de emisiones, no se basa en el carbono (C), sino en emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) (White & Minang, 2011)

El CO₂e se estimó de acuerdo a la relación de pesos moleculares de los elementos (carbono y oxígeno). Considerando el peso atómico del carbono (12) y del oxígeno (16), una unidad

de carbono equivale a 3.67 unidades de dióxido de carbono equivalente $((12+(2*16))/12)=3.67$ (White & Minang, 2011). Donde los valores de carbono estimados se multiplicaron por 3.67 unidades de dióxido de carbono equivalente.

K. Mapa del ecosistema manglar a nivel de microcuenca

Se sobrepuso el *shape* de microcuencas del MAGA del año 2010 y se identificaron las microcuencas que se encuentran dentro del APRVSPM y el ecosistema manglar que se distribuye.

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1 Delimitación del área de estudio

La delimitación del ecosistema manglar en el área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique se determina por factores naturales como: a) la salinidad que según la tolerancia de cada especie de mangle define su distribución, b) el hidroperíodo, c) la profundidad factor determinante en la tolerancia de las especies de mangle a distintas profundidades y d) la fluctuación de mareas ya que transportan sedimentos y nutrientes.

Las tierras permanentemente inundadas de extensiones costeras que contienen cuerpos de agua tales como bahías, estuarios, marismas, pantanos y la laguna Santa Isabel que reciben flujo del mar y agua dulce de los ríos que desembocan, ya que debido a las inundaciones con la mezcla de salinidad ayudan a excluir el desarrollo de otro tipo de vegetación del mangle.

Entre los factores antrópicos, el ecosistema manglar se ve delimitado principalmente por el cambio de uso de la tierra donde se destaca el establecimiento de potreros, dejando únicamente los remanentes que se encuentran en las orillas de la laguna Santa Isabel y en algunas zonas de la bahía La Graciosa, la realización de varios quíneles con el fin de drenar sus terrenos reduciendo la cobertura de mangle y el establecimiento de las primeras comunidades costeras.

En el APRVSPM se cuantificaron 193.34 ha del ecosistema manglar por medio de la clasificación supervisada verificada en campo que se observa en la figura 21.

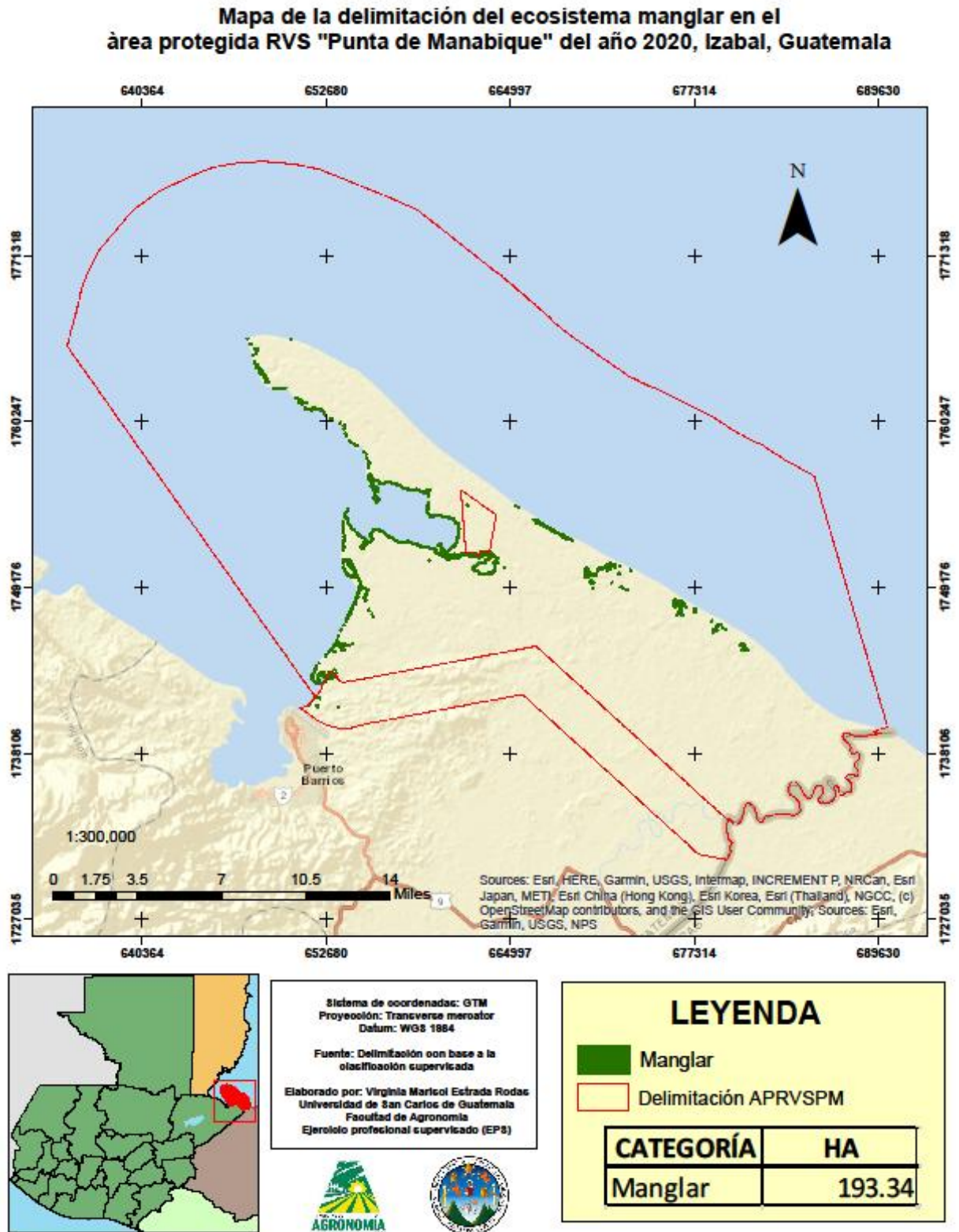


Figura 21. Mapa de delimitación del ecosistema manglar en el área protegida RVSPM.

2.5.2 Relación distribución del manglar

De los resultados de las muestras realizadas en los 21 puntos para obtener profundidad y salinidad con la finalidad de conocer la relación en la distribución del ecosistema manglar con estos factores; se detallan los datos obtenidos en campo en el cuadro número 12.

Cuadro 12. Profundidad y salinidad tomada en los 21 puntos.

PUNTO	PROFUNDIDAD(CM)	SALINIDAD (ups)
1	60	13.60
2	70	14.16
3	80	11.3
4	80	11.08
5	32	12.5
6	90	0.95
7	86	0.69
8	110	0.57
9	95	0.57
10	115	0.34
11	100	0.25
12	97	0.32
13	120	0.6
14	97	7.78
15	83	7.47
16	98	7.79
17	64	6.59
18	85	6.21
19	65	6.12
20	60	5.56
21	70	5.92

2.5.3 Relación distribución del manglar con los niveles de profundidad

De acuerdo con INAB et al (2016) el hidroperíodo es el factor ambiental que define como las especies de mangle se pueden establecer en determinadas áreas. También se tomó en cuenta que es un factor que ocurre cada doce horas en el día, dos veces diarias. Los resultados obtenidos en campo demuestran que las profundidades se encuentran en un

rango de 60 cm - 120 cm, en las profundidades mayores a 40 cm son toleradas por *Rhizophora mangle* L especie predominante en el área de estudio, mientras que *Laguncularia racemosa* (L). C.F. Gaertn se desarrolla mejor en profundidades menores a 40 cm.

2.5.4 Relación distribución del ecosistema manglar con la salinidad

Se tomaron muestras de salinidad en los alrededores de bahía La Graciosa, a lo largo del canal Inglés, en la laguna Santa Isabel y en el río San Francisco que desemboca en la laguna. La salinidad se encuentra en mayores concentraciones en los alrededores de la zona intermareal de bahía La Graciosa en donde los niveles de salinidad se encuentran entre 5.56 ups - 13.60 ups (unidades prácticas de salinidad), mientras que al adentrarse al canal inglés, laguna Santa Isabel y desembocadura del río San Francisco los niveles de salinidad disminuyen en un rango de 0.60 ups - 0.95 ups (unidades prácticas de salinidad) esto por la presencia de agua dulce.

De acuerdo con INAB (2017) los resultados obtenidos cumplen con el desarrollo de las especies identificadas en campo donde *Rhizophora mangle* L presenta un nivel de tolerancia aproximada entre un rango de 0 ups - 37 ups (unidades prácticas de salinidad) tolerancia mínima y 65 ups (unidades prácticas de salinidad) tolerancia máxima; y que *Laguncularia racemosa* (L). C.F. Gaertn 0 ups - 43 ups (unidades prácticas de salinidad) tolerancia mínima y 80 ups tolerancia máxima.

Se observó en campo, que los remanentes de mangles presentes en la entrada de bahía La Graciosa, al estar expuestos con la zona intermareal se ven afectados en su crecimiento por los vientos y mareas, ya que estos factores naturales han erosionado y disminuido el suelo arenoso donde se desarrollan los manglares.

(Camacho et al., 2021) mencionan que los almacenes y flujos de carbono en el ecosistema manglar pueden variar entre diferentes escenarios ambientales dependiendo, principalmente de su localización a lo largo de un gradiente de salinidad. Por lo que

(Camacho et al., 2021) afirman que las áreas expuestas a la influencia de las mareas presentan condiciones que aceleran la descomposición de la hojarasca disminuyendo la biomasa en mayores concentraciones de salinidad y por lo tanto los manglares presentan un menor almacén de carbono en comparación con las zonas donde desembocan los ríos ya que presentan menores concentraciones de salinidad favoreciendo la estructura de la vegetación, mayor cantidad de hojarasca y menores tasas de descomposición de este material dando como resultado mayor almacén de carbono en el ecosistema manglar.

2.5.5 Especies de mangle presentes

A. *Rhizophora mangle* L.

Rhizophora mangle L. se encontró en franjas de 2 m - 10 m de ancho en las orillas de zona de conservación terrestre que colinda con el canal Inglés, laguna Santa Isabel, desembocadura del río San Francisco y por toda la orilla de la zona de usos múltiples que colinda con la zona intermareal de bahía La Graciosa del área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique. Esta especie de manglar se le conoce por los habitantes del área con el nombre de mangle colorado o rojo. Dicha especie presenta mayor dominancia en el APRVSPM y consigo brinda beneficios como hábitat para aves, peces, cangrejos, leña, entre otros. En la figura 22 se presenta la especie de mangle *Rhizophora mangle* L.



Figura 22. Mangle rojo o Colorado *Rhizophora mangle* (L.) situado en la zona de usos múltiples del APRVSPM.

B. *Laguncularia racemosa* (L). C. F.Gaertn

Laguncularia racemosa (L). C. F.Gaertn no se encontró en parches o franjas entre 2 m - 10 m como es el caso de *Rhizophora mangle* L. Se presentaba en áreas donde el nivel de inundación del mar es menor a 40 cm y se desarrolla principalmente en la parte de atrás del mangle rojo de forma muy dispersa. Está especie de manglar se le conoce con el nombre de mangle blanco por los habitantes del área y se encontraba en menores cantidades en comparación del mangle rojo. Presenta beneficios como aprovechamiento de la madera, hábitat de algunas aves y fauna del APRVSPM. En la figura 23 se presenta la especie de mangle *Laguncularia racemosa* (L). C. F.Gaertn.



Figura 23. Mangle blanco *Laguncularia racemosa* (L) situado en la zona de usos múltiples del APRVSPM.

2.5.6 Análisis espectral del ecosistema manglar

La combinación de bandas espectrales es una técnica de análisis visual que permite la identificación de diferentes tipos de cobertura a través de sus características espectrales (Chuvieco, 1995), y su aplicación en el ecosistema manglar es válida en la medida que se empleen combinaciones que resalten esta cobertura, como el infrarrojo color.

Es importante tomar en cuenta que en el área de estudio del ecosistema manglar es una zona que presenta nubes y sombras, ya que se encuentra en una región de Guatemala donde se reportan mayores precipitaciones, para el análisis espectral se encontraron imágenes sentinel-2 con baja cobertura de nubes.

Se realizó la combinación espectral infrarrojo color utilizando la banda 3, banda 4 y banda 5 en el mosaico de la imagen satelital Sentinel-2, donde el ecosistema manglar presento

tonos de rojo más fuertes y oscuros a comparación de los otros, los tonos rojos más claros a rosas indican áreas vegetales menos densa o con vegetación menos desarrollada, los tonos azul oscuro o negro indican la presencia de agua, el tono marrón vegetación arbustiva muy variable y beige áreas de potreros asociados a matorral ralo en la figura 24 se observan las combinaciones.



Figura 24. Combinación de bandas para el infrarojo color en el área de estudio.

2.5.7 Clasificación de la vegetación utilizando índices de vegetación

Los índices de vegetación son ampliamente usados en imágenes multi-espectrales, para la clasificación de la vegetación se utilizaron cuatro índices de vegetación, índice de vegetación normalizada (NDVI), índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI), índice de clasificación de agua (NDWI) e índice de reconocimiento combinado de manglares (CMRI).

Para el índice (SAVI), toma en cuenta la estructura del dosel de la vegetación y agrega la cubierta del suelo presente, este índice se ajusta conforme a las condiciones de humedad

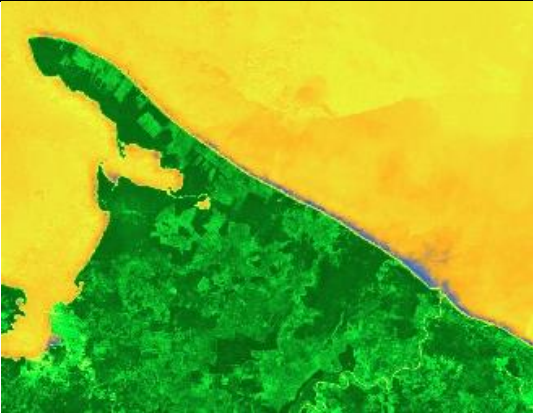
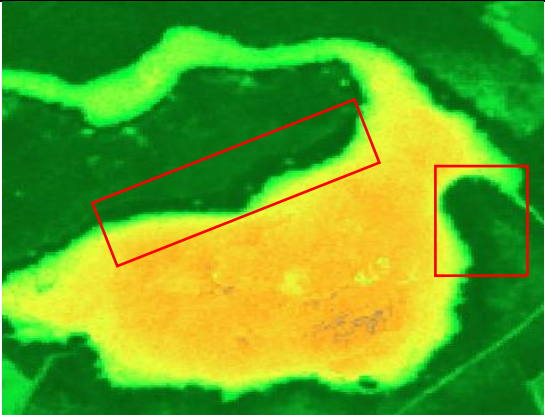
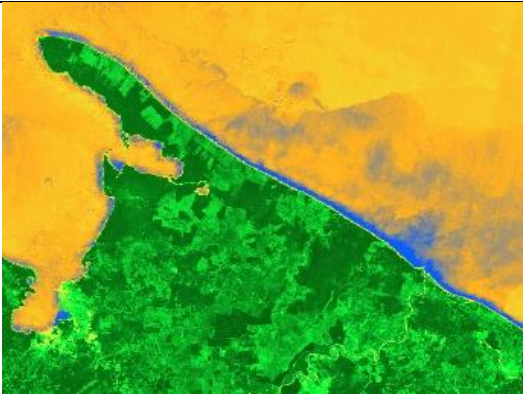
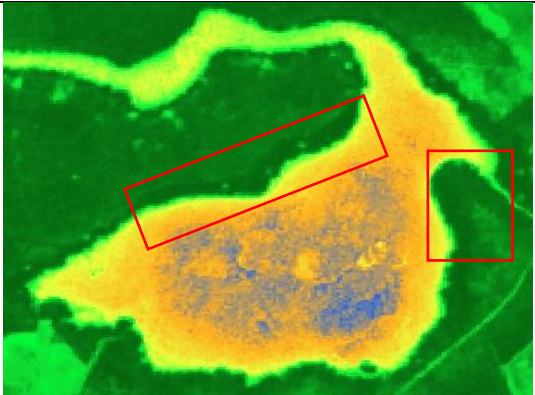
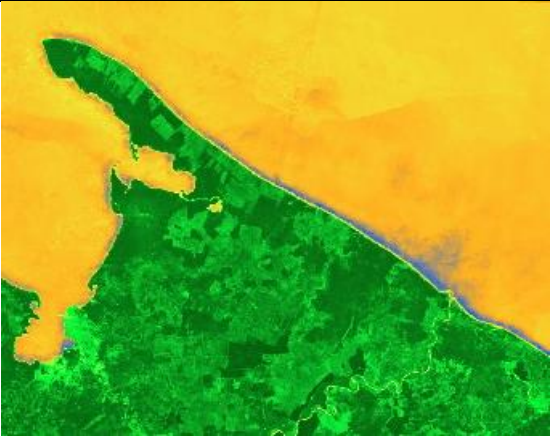
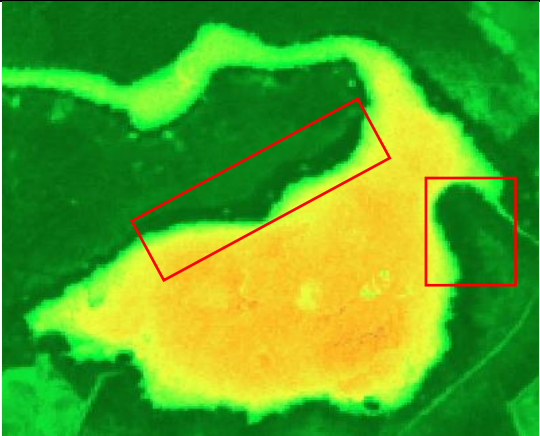
del suelo por la marea en el área de estudio. En el producto de este índice se puede observar que, a pesar del hidroperíodo donde la marea alta puede ser un factor en contra para detectar los manglares, realizó una buena clasificación.

Se aplicó el índice (NDWI) en las imágenes multi-espectrales sentinel-2 del área de estudio, se observó que el producto proporciona una diferencia en las firmas de áreas donde se encuentran los manglares, ya que los mangles presentan la característica de que sus hojas tienen un alto contenido de agua, y que este índice lo detecta. En cambio, con el índice (NDVI) uso el color verde de las hojas de mangle, su absorción, reflejo de la banda roja y banda NIR para la extracción de la información con base en el contenido de clorofila del mangle y los otros tipos de vegetación presentes.

Se utilizó el índice de reconocimiento combinado de manglares (CMRI) que realizó una clasificación con más precisión en comparación con los otros índices, debido a que el índice proviene de la relación entre los productos obtenidos de la clasificación de los índices NDVI y NDWI (el NDWI solo se utilizó para la determinación del CMRI) proporciona un producto donde se diferencia mejor el ecosistema manglar de otros tipos de vegetación.

En el cuadro 13 se observan las imágenes en donde las tonalidades que están representadas agua (amarillo y morado), vegetación sin manglares como potreros y arbustos (verde y verde claro) vegetación con manglares (verde fuerte). En los cuadros rojos se encuentran señalados el ecosistema manglar identificado por cada índice de vegetación.

Cuadro 13. Productos de la clasificación de los índices de vegetación normalizados.

ÍNDICE DE VEGETACIÓN	
Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	
	
índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI)	
	
índice de reconocimiento combinado de manglares (CMRI)	
	

2.5.8 Mapa de cobertura forestal y uso de la tierra del año 2020

Se realizó la clasificación no supervisada en imágenes multiespectrales sentinel-2 de 10 m de resolución del área de estudio, esto con el fin, de conocer una clasificación previa del ecosistema manglar. Se observó que con la reclasificación por *clusters* en la clasificación no supervisada no se puede diferenciar el ecosistema manglar de otro tipo de vegetación.

Basándose en la clasificación no supervisada, la información obtenida y verificada en campo, para la clasificación supervisada se diferencia las superficies del ecosistema manglar de otro tipo de vegetación, ya que los agrupa por las firmas espectrales propias de cada pixel. Los resultados de la clasificación supervisada muestran que el uso de la tierra del área protegida RVSPM para el año 2020 y se encuentran distribuidas en 6 categorías las cuales son: agua, centros poblados, cobertura forestal, manglar, no bosque y nubes. En el cuadro 14 se detallan las hectáreas y porcentaje por cada uso.

Cuadro 14. Uso de la tierra en el APRVSPM 2020.

CATEGORÍA	HÉCTAREAS (ha)	PORCENTAJE%
Agua	90,559.36	64.97
Centros poblados	84.32	0.06
Cobertura forestal	20,442.39	14.67
Manglar	193.34	0.14
No bosque	28,055.56	20.13
Nubes	46.84	0.03
TOTAL	139,381.82	100.00

La categoría de agua abarca el mayor porcentaje de 64.97 % ya que el APRVSPM cuenta con delimitaciones marítimas por ser un humedal de importancia RAMSAR, en el área terrestre la categoría de no bosque representa el 20.13 % del uso de la tierra en donde podemos encontrar actividades como ganadería, cultivos principalmente maíz y frijol para subsistencia de los habitantes del área, establecimiento de potreros, pastos naturales con matorral y vegetación arbustiva.

En la categoría de cobertura forestal se encuentra un porcentaje de 14.67 % del uso de la tierra, donde (Rosales, 2007) afirma que en la comunidad Creek Negro del Mar se realizan actividades agroforestales en 104.85 ha respectivamente del lado del río Motagua fronterizo con Honduras, en aproximadamente 450 ha se distribuyen los cultivos de palma africana y banano esto dentro del APRVSM.

También podemos encontrar en la cobertura forestal del APRVSPM el bosque latifoliado y bosques sometidos a inundaciones donde en campo y en el plan maestro del área protegida (Fundación Mario Dary Rivera (FUNDARY) et al., 2006) se observaron palma de concha (*Manicaria saccifera Gaertn*) acompañada de especies como palo sangre o cáhue (*Pterocarpus officinalis Jacq*), barillo (*Symphonia globulifera L.f*), zapote bobo (*Pachira aquatica Aubl*) y santa maría (*Calophyllum brasiliense var. rekoii (Standl.) Standl*).

Seguidamente, la categoría de interés manglar que representa 0.14 % del uso de la tierra distribuidos en las orillas de la zona intermareal de bahía La Graciosa, canal inglés, laguna Santa Isabel y ríos que desembocan en bahía Amatique y en el golfo de Honduras en total son 193.34 ha donde predomina la especie de mangle rojo *Rhizophora mangle* L. y menor cantidad la especie de mangle blanco *Laguncularia racemosa* (L.) C.F.Gaertn.

Para los centros poblados se encuentran en 84.32 ha y representa un 0.06 % del uso de la tierra distribuidas en 17 comunidades y con base a los datos del Instituto Nacional de Estadística del INE realizado en el año (2002), se estimó que la población para el año 2020 utilizando una tasa de crecimiento del 2.30 % corresponde a 4,314 habitantes y su distribución por género es de 50.25 % mujeres y 49.75 % hombres.

Se consideró la categoría de nubes ya que el área de estudio se encuentra en una región donde se reportan mayores precipitaciones en el territorio guatemalteco, a pesar de que se utilizó una imagen con el menor porcentaje de nubes se encontraron que representan un 0.03 % del uso de la tierra en el APRVSPM.

De acuerdo con NATURE CLIMATE CHANGE (2020) las decisiones sobre el uso de la tierra han sido el principal impulsor de los cambios en las reservas de carbono en el ecosistema manglar. Las actividades humanas directas y los riesgos por el cambio climático pueden disminuir las reservas de carbono a través de la conversión del uso de la tierra provocando la liberación de “carbono irrecuperable” que contienen los manglares; se estima que el tiempo para la recuperación total de carbono después de la conversión en los manglares es de 153 años.

Si bien algunas reservas de carbono de los ecosistemas pueden recuperarse relativamente rápido después de una perturbación, otras serían irrecuperables de al menos una o más generaciones de seres humanos, NATURE CLIMATE CHANGE (2020) menciona que pone en peligro nuestras posibilidades de permanecer dentro de los 1.50 °C del calentamiento global. Por esta razón, la pérdida del ecosistema manglar puede considerarse irrecuperable y deben protegerse para evitar los impactos más peligrosos del cambio climático, debido a que su densidad promedio de carbono irrecuperable es mucho más alta que la mayoría de los otros ecosistemas.

Es importante que se tomen estrategias de restauración y recuperación para proteger el carbono irrecuperable, y que se regulen las actividades extractivas de los recursos naturales y medidas ante los desastres naturales provocados por el cambio climático, ya que el área protegida Punta de Manabique, cerro San Gil y sierra Santa Cruz ubicadas en Izabal, se interconectan en el corredor biológico mesoamericano, estas áreas se encuentran en exposición de desaparecer por las razones mencionadas en la pérdida de cobertura forestal y el ecosistema manglar.

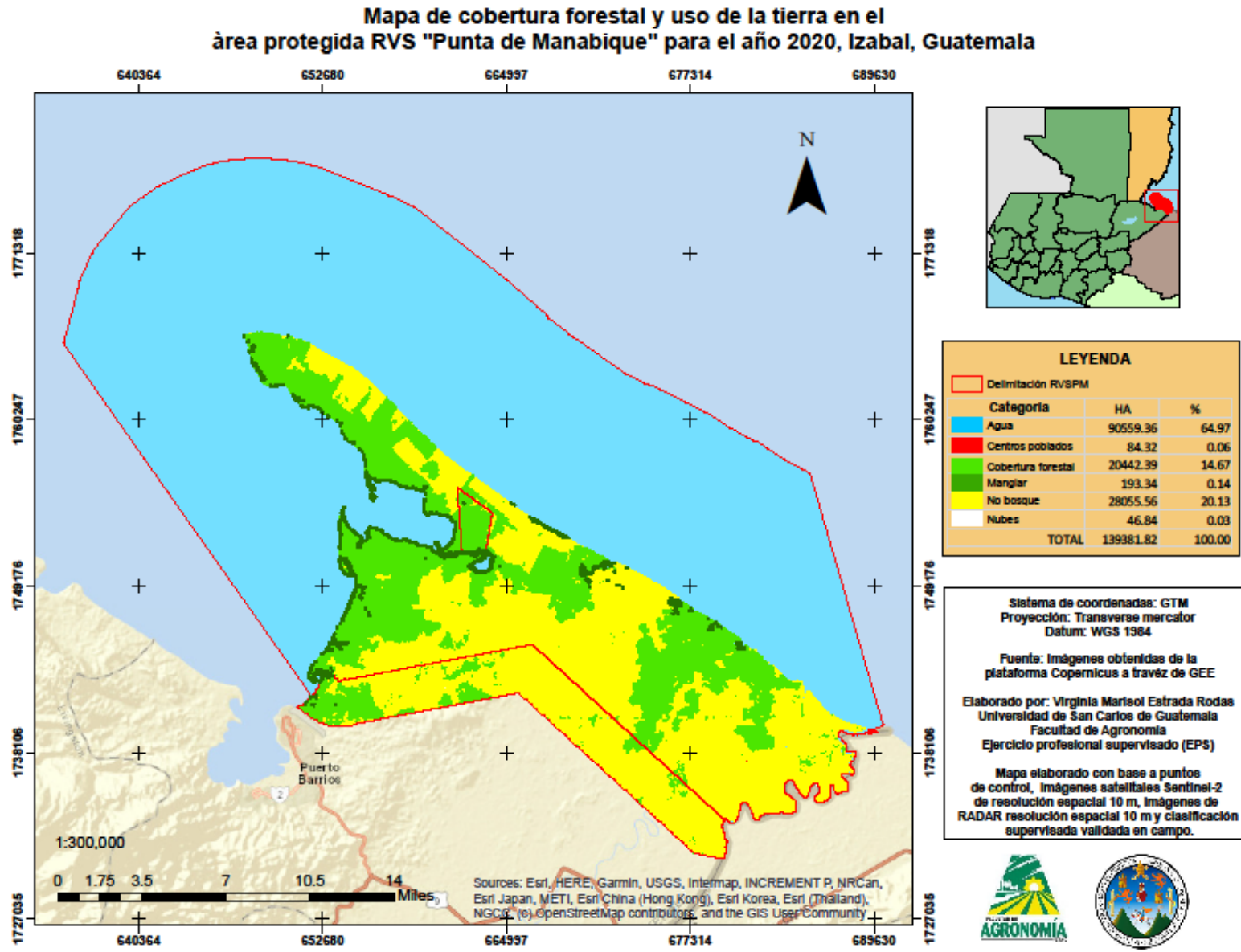


Figura 25. Mapa de cobertura forestal y uso de la tierra año 2020 en el APRVSPM.

2.5.9 Mapa estimación de carbono en la biomasa aérea y de las raíces del ecosistema manglar

2.5.9.1 Estimación de carbono en la biomasa aérea y de las raíces del ecosistema manglar

Para participar en los programas de REDD+, el IPCC ha establecido un sistema jerárquico que refleja el grado de certidumbre o exactitud de las estimaciones de las reservas de carbono por niveles de valoración. De acuerdo con el IPCC, (2006) y la metodología empleada para la estimación de carbono en la biomasa aérea y de las raíces del ecosistema manglar del RVSPM se encuentra en el nivel de valoración uno donde incluye datos obtenidos a partir de valores estándar del IPCC (biomasa aérea y de raíces), la estimación puede tener un rango de error de +/- 50 % para los componentes de carbono aéreos y +/- 90 % para el componente del subsuelo.

Para la estimación de carbono en la biomasa aérea y de las raíces del ecosistema manglar en el área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, se utilizó el mapa de estratos de carbono para Guatemala realizado por GIMBUT en el año (2017) y las hectáreas de la categoría de nuestro interés “manglar” calculadas en el mapa de uso de la tierra para el año 2020 del área de estudio.

Es importante mencionar que GIMBUT (2017) utilizó ecuaciones alométricas para el cálculo de la biomasa aérea por cada especie y para el cálculo de la biomasa de las raíces utilizó una ecuación alométrica general que se detalla en el cuadro 15, para la estratificación de las zonas con similar carbono a nivel nacional, generó la capa de índices ombrotermicos a partir de las variables de precipitación y temperatura mensuales en el país. Se concluye que existen cuatro estratos de carbono a los cuales se les aplicó el método de Monte Carlo para obtener el estimador final en toneladas de carbono por hectárea que van desde 97.11 tC/ha hasta 125.19 tC/ha.

Cuadro 15. Ecuaciones alométricas para manglar utilizadas por GIMBUT.

Ecuaciones para cálculo de biomasa área por especie		
Especie	Ecuación	Fuente
<i>Rhizophora mangle</i> L.	$0.178 \cdot \text{DAP}^{2.47}$	Imbert and Rollet (1989)
<i>Laguncularia racemosa</i> (L.) C.F. Gaertn.	$0.1023 \cdot \text{DAP}^{2.50}$	Fromard et al. (1998)
<i>Avicennia germinans</i> (L.) L.	$0.14 \cdot \text{DAP}^{2.4}$	Fromard et al. (1998)
<i>Conocarpus erectus</i> L.	$0.1023 \cdot \text{DAP}^{2.50}$	Fromard et al. (1998)
Ecuación general para el cálculo de la biomasa de las raíces		
$\text{BAS} = 0,199 \cdot r^{0.899} \cdot (\text{DAP})^{2.22}$		Komiyama et al. (2008)

Seguidamente, se sobrepusieron ambos mapas, se verificó en el área de estudio el tipo de estrato presente y las hectáreas correspondientes del ecosistema manglar. Se visualizó que el estrato de carbono II está ubicado en la parte más norte del APRVSPM se reportan 29.73 ha de mangle, el estrato de carbono III está ubicado en la zonificación de usos múltiples donde se encuentra bahía La Graciosa, canal inglés y laguna Santa Isabel y la zonificación de conservación terrestre acá se encuentra el río San Francisco y su desembocadura con laguna Santa Isabel y se encuentran distribuidas 147.96 ha de mangle, por último, el estrato de carbono IV que está ubicado en la zonificación de conservación terrestre por la presencia de ríos que desembocan en el golfo de Honduras y se encuentran distribuidas 15.65 ha de mangle.

Para el contenido de toneladas de carbono acumulado total en la biomasa aérea y de las raíces del ecosistema manglar, se multiplico el valor estimador (tC/ha) de cada estrato por las hectáreas de mangle distribuidas en cada estrato. Se estimó que en el estrato II la reserva de carbono es de 3,024.54 tC acumulado, el estrato III presenta 14,368.24 tC acumulado y el estrato IV presenta 1,959.38 tC acumulado; se obtuvo que en total en la biomasa aérea y de las raíces del ecosistema manglar en el APRVSPM se encuentran 19,352.16 tC acumulado total o también se puede expresar como 0.019 MtC acumulado

total. En el cuadro 16 se detallan los valores de los estratos de carbono, hectáreas de manglar y tC acumulado total.

Cuadro 16. Toneladas de carbono acumulado total aéreo y de las raíces.

Estrato	Estrato de carbono estimador (tC/ha)	Hectareas de manglar	tC acumulado total (aéreo y de las raíces)
II	101.73	29.73	3,024.54
III	97.11	147.96	14,368.24
IV	125.19	15.65	1,959.38
TOTAL		193.34	19,352.16

2.5.9.2 Toneladas de biomasa en el ecosistema manglar

Para el cálculo de la biomasa, la relación entre los diferentes componentes vegetales del ecosistema manglar, contiene una distribución del 47 % de carbono, esto se debe a que los valores de carbono se dividieron por la fracción de biomasa de 0.47. lo cual nos indica que por el 47 % de contenido de carbono equivale por cada tonelada de biomasa. Obteniendo los datos de 41,174.81 t de biomasa total en el manglar del APRVSPM. En el cuadro 17 se encuentran los datos de toneladas de biomasa por cada categoría.

Cuadro 17. Toneladas por biomasa del ecosistema manglar.

Estrato	Estrato de carbono estimador (tC/ha)	tC acumulado total (aéreo y de las raíces)	Toneladas por biomasa
II	101.73	3,024.54	6,435.19
III	97.11	14,368.24	30,570.72
IV	125.19	1,959.38	4,168.90
TOTAL		19,352.16	41,174.81

2.5.9.3 Dióxido de carbono equivalente

A fin de estandarizar el efecto de las emisiones de diversos gases, por convención internacional la carga de gases de efecto invernadero se mide en términos de CO₂ equivalente, representado como CO_{2e}. El dióxido de carbono equivalente se obtuvo de la multiplicación del carbono por la relación del peso molecular, entre el CO₂ y el carbono elemental donde la relación es 3.67. (White & Minang, 2011).

De acuerdo con los valores obtenidos podemos decir que el potencial de emisión del ecosistema manglar en el área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique es de 71,022.43 t de CO_{2e}. En el cuadro 18 se detallan los valores obtenidos de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}) por cada estrato en el APRVSPM.

CARBON STREAMING (2022) menciona que, para lograr los objetivos del acuerdo de París, los países se comprometieron con contribuciones determinadas a nivel nacional que se alinean con el tiempo con el objetivo final del acuerdo de mantener los aumentos de la temperatura promedio global a 2 °C, al mismo tiempo que continúan los esfuerzos para limitar la temperatura aumenta aún más a 1.50 °C. Para llegar allí el objetivo es lograr un equilibrio entre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), conocido como el objetivo “Net Zero”.

Se espera que el precio del carbono desempeñe un papel fundamental en los esfuerzos para pasar a emisiones netas cero al incentivar la innovación tecnológica y el progreso en las tecnologías de descarbonización. El precio del carbono esencialmente pone un precio a las emisiones de GEI, que a menudo se expresa como una unidad monetaria por tonelada de dióxido de carbono equivalente. (CARBON STREAMING, 2022)

CARBON FUND OF THE FOREST CARBON PARTNERSHIP FACILITY (2021) menciona que para Guatemala el precio de una tonelada de dióxido de carbono es de US\$ 5.00, el área protegida RVSPM cuenta con 71,022.43 t de CO_{2e} esto quiere decir que al conservar el ecosistema manglar y reducir las emisiones de GEI podría obtener US\$ 355,112.15

equivalente a Q. 2,698,852.34 tomando en cuenta el tipo de cambio de referencia del Banco de Guatemala de Q. 7.67 para marzo del 2022.

Cuadro 18. Dióxido de carbono equivalente del ecosistema manglar.

Estrato	Estrato de carbono estimador (tC/ha)	tC acumulado total (aéreo y de las raíces)	tCO_{2e}
II	101.73	3,024.54	11,100.05
III	97.11	14,368.24	52,731.43
IV	125.19	1,959.38	7,190.94
TOTAL		19,352.16	71,022.43

Con fines de entender las emisiones de dióxido de carbono en actividades cotidianas, se utilizó la calculadora de equivalencia de gases de efecto invernadero propuesta por la (United States Environmental Protection Agency (EPA), 2021) donde se ingresó el valor obtenido de 71,022.43 tCO_{2e}. Algunas equivalencias con actividades cotidianas que representan las toneladas de dióxido de carbono equivalente conservado en el ecosistema manglar del RVSPM es emisiones de CO₂ de 7,991,722 gal de gasolina consumidos por año, 6,976,663 gal de diésel consumidos por año, 78,499,920 libras de carbón quemado por año y emisiones de gases de efecto invernadero de 15,446 vehículos de pasajeros conducidos durante un año. En la figura 26 se observa los estratos de carbono presentes en el APRVSPM.

Mapa de la estimación de carbono en la biomasa aérea y de las raíces del ecosistema manglar en el área protegida RVS "Punta de Manabique" para el año 2020, Izabal, Guatemala

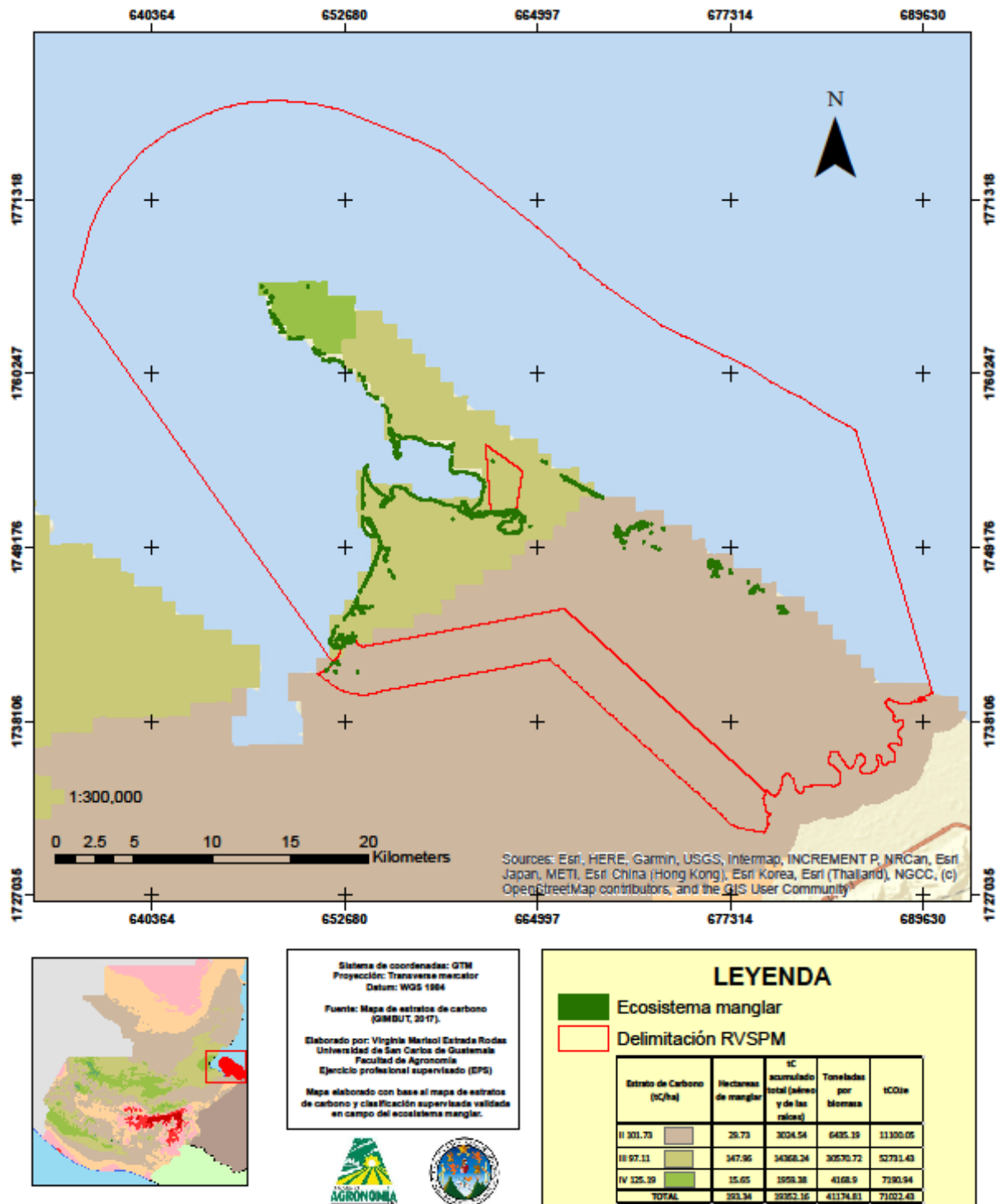


Figura 26. Mapa estimación de carbono del ecosistema manglar en el RVSPM.

2.5.10 Mapa del ecosistema manglar a nivel de microcuencas

Para conocer el desarrollo del ecosistema manglar en las zonas intermareales, se identificó el ecosistema manglar a nivel de microcuencas en el área protegida RVSPM, se registraron 7 microcuencas en el área de estudio. Se identificaron en números romanos ya que algunas no reportan nombre, las cuales son: I, II Pichilingo, III, IV Pioquinto, V Motagua, VI San Francisco y VII.

Las microcuencas I, II Pichilingo, III, y IV Pioquinto desembocan en bahía de Amatique al mar atlántico, los manglares que se encuentran en esta zona se consideran como manglares de borde por encontrarse en la línea costera y de las mareas, al recibir los cambios en las mareas la salinidad es mayor en estas áreas, es común encontrar en estos manglares las raíces fúlcreas características del mangle rojo y presentan una altura inferior. Los manglares de borde son importantes por ser una protección natural en la línea costera como barrera ante fenómenos naturales como huracanes y tormentas. En estas microcuencas se encuentran distribuidas 17.42 ha de mangle, lo cual representa 1,686.52 t de carbono acumulado total y 6,189.53 t de dióxido de carbono equivalente.

Las microcuencas V Motagua y VI San Francisco desembocan en el golfo de Honduras, acá se encuentran los manglares de borde característicos de los manglares que se desarrollan en las orillas de las costas y manglares de ribera presentes en los ríos que desembocan en el golfo de Honduras. Es importante mencionar que, la microcuenca VI San Francisco colinda con el área protegida de cerro San Gil trayendo en si agua dulce de los manantiales y la desembocadura de la microcuenca V Motagua enfrenta por consiguiente retos ambientales por desechos sólidos provenientes de la parte alta de la cuenca y contaminación del agua por los monocultivos. En estas microcuencas se distribuyen 28.27 ha del ecosistema manglar, este dato representa 2,870.92 t de carbono acumulado total y 10,536.28 t de dióxido de carbono equivalente.

En los manglares que se ubican en estas microcuencas no se realizó visita de campo por limitantes de combustible, aun así, la imagen satelital detecto la presencia del mangle. En las figuras 27 y 28 se observan los manglares identificados.



Figura 27. Mangle detectado en la orilla de la costa y ríos.



Figura 28. Mangle detectado en ríos que desembocan en el Golfo de Honduras.

La micrucenca VII desemboca en bahía de Amatique, se encuentran los manglares de borde ubicados en las orillas de la línea costera de bahía La Graciosa y los manglares de ribera ubicados en los márgenes del canal inglés, laguna Santa Isabel y río San Francisco, presentan una salinidad moderada por el intercambio de agua salada y dulce y cambios en alturas sobre el nivel del mar. Se observó que los manglares entre más cerca estén del agua dulce, mayor es su tamaño en diámetro y altura. Se encuentran distribuidas en 147.64 ha de manglar, igual a 14,794.72 t de carbono acumulado total y 54,296.62 t de dióxido de carbono equivalente.

La imagen satelital Sentinel-2, detecto la presencia de manglar en el río Machacas ubicado en la microcuenca VII, en dicho río no se realizó visita de campo por limitantes de combustible. En la figura 29 se observa el ecosistema manglar detectado por las longitudes de onda del pixel.

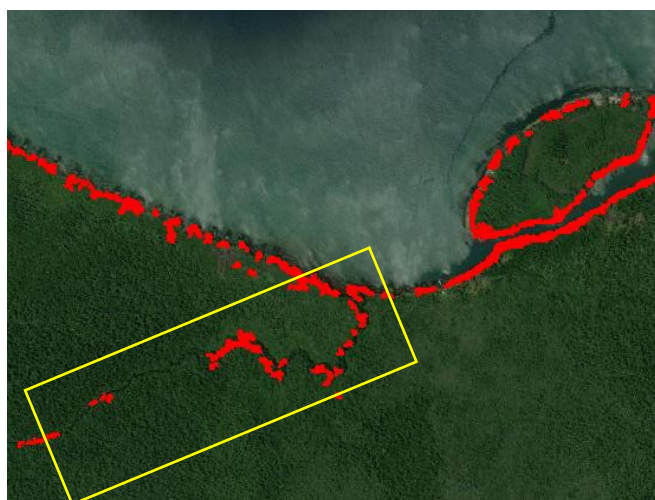


Figura 29. Mangle detectado en río Machacas.

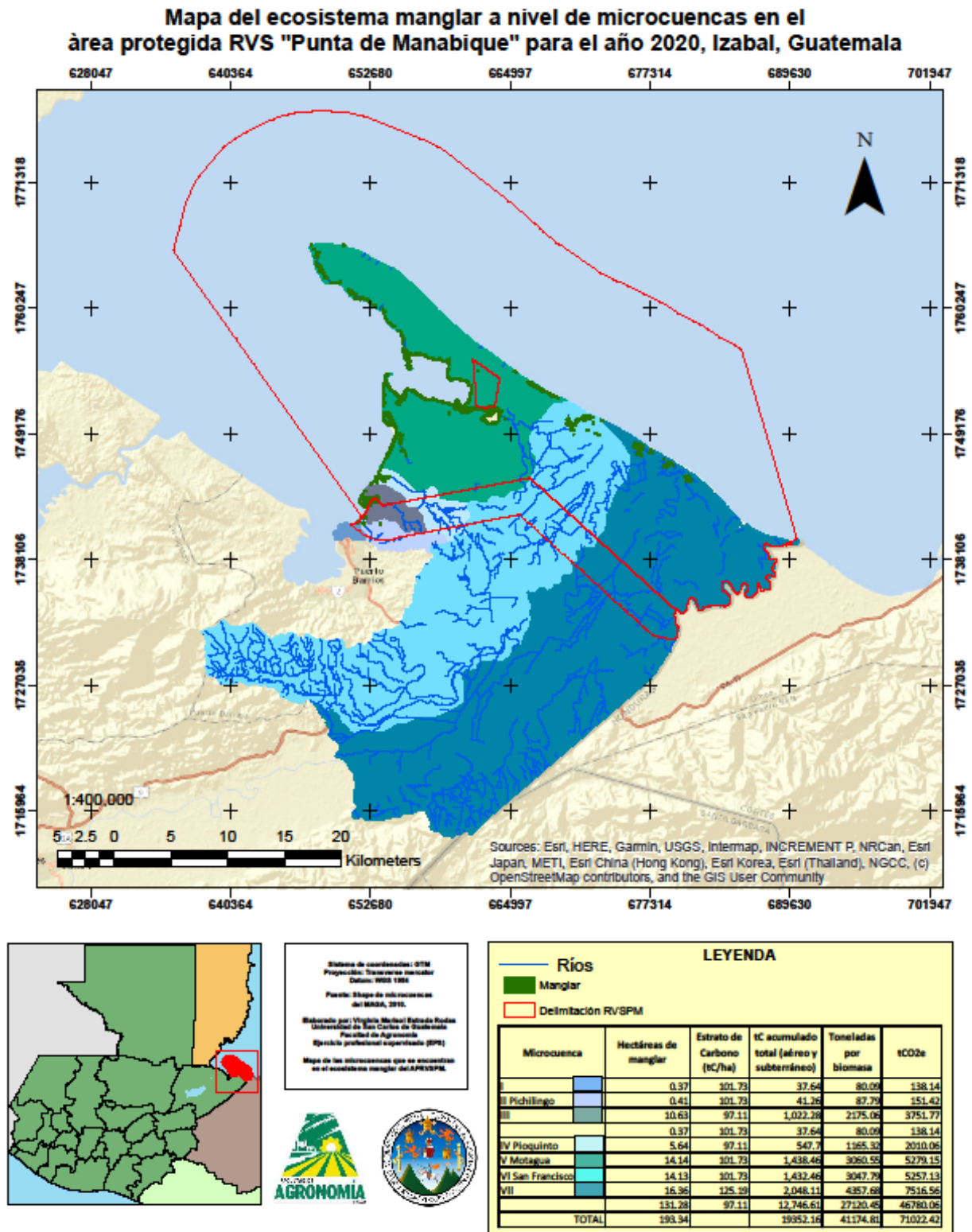


Figura 30. Mapa del ecosistema manglar a nivel de microcuencas.

2.6. CONCLUSIONES

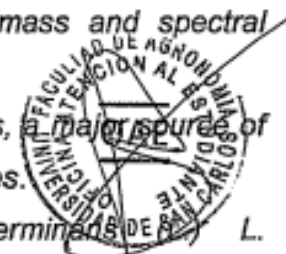
1. La combinación de bandas espectrales para el infrarrojo color, identifico la cobertura del ecosistema manglar de otros tipos de coberturas y el uso del índice de vegetación CMRI que es un IV desarrollado específicamente para el estudio de la cobertura de manglar, presento mejores resultados a comparación de los otros índices.
2. En el área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique se distribuyen 193.34 ha del ecosistema manglar y se encuentran las especies de *Rhizophora mangle* L. y *Laguncularia racemosa* (L.) C. F. Gaertn.
3. En el área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique se estimaron 19,352.16 t de carbono acumulado total (0.019 MtC acumulado total) y 71,022.43 t de dióxido de carbono equivalente, la conservación del manglar del área protegida RVSPM evita las emisiones de dióxido de carbono de 7,991,722 gal de gasolina consumidos por año.

2.7. RECOMENDACIONES

1. Estimar el carbono almacenado en la biomasa subterránea del ecosistema manglar del Área Protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique a través de inventarios de campo.
2. Utilizar imágenes satelitales menores a 5 m de resolución para obtener una clasificación y distribución por especies del ecosistema manglar y la flora acompañante.
3. Realizar visitas de campo en las áreas donde la imagen satelital Sentinel-2 detecto el ecosistema manglar y no se cuenta con un registro de puntos de control georreferenciados, principalmente en río Machacas que desemboca en bahía de Amatique y ríos que desembocan en el golfo de Honduras.
4. Realizar parcelas permanentes del ecosistema manglar para contar con un monitoreo en el tiempo de datos de especie, DAP, altura y edad para futuros estudios y de esta manera subir al nivel de valoración 3 establecido por el IPCC en los programas de REDD+.

2.8 BIBLIOGRAFÍA

1. Camacho, A., Herrera, J., Caamal, J., & Teutli, C. (2021). *Influencia de la salinidad en el almacén y flujos de carbono en manglares de franja de una zona cárstica*.
2. CARBON FUND OF THE FOREST CARBON PARTNERSHIP FACILITY. (2021). *Emission Reductions Payment Agreement: Guatemala Emissions Reduction Program*.
3. CARBON STREAMING. (2022). *Pricing carbon*.
<https://www.carbonstreaming.com/about-carbon/about-carbon-pricing/>
4. CECON & CDC (Centro de Estudios Conservacionistas y Centro de Datos para la Conservación, Guatemala). (1992). *Estudio Técnico de Punta de Manabique. Guatemala: USAC, Centro de estudios conservacionistas (CECON) y Centro de datos para la conservación (CDC)*, 79 p.
5. CATHALAC (Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe, Panamá). (2012). *Cobertura actual de mangle en Guatemala, a través de técnicas de percepción remota*.
6. Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de teledetección espacial*.
7. _____. (2010). *Teledetección Ambiental*.
8. CRG (Congreso de la República de Guatemala, Guatemala). (2005). *Ley que declara área protegida el Refugio de Vida Silvestre "Punta de Manabique."*
9. CONAP (Consejo Nacional de Areas Protegidas, Guatemala). (1989). *Ley de áreas protegidas, Decreto 4-89*.
10. COPENICUS. (2021). *Guía del usuario de Sentinel-1 SAR*.
<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/>
11. _____. (2021). *Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument*.
<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi>
12. Das, S., & Singh, T. (2012). *Correlation analysis between biomass and spectral vegetation indices of forest ecosystem*.
13. Dittmar, T., Hertkorn, N., Kaltner, G., & Lara, R. (2006). *Mangroves, a major source of dissolved organic carbon to the oceans Global biogeochemical cycles*.
14. FLORA DE NICARGUA. (1994). *Flor de Avicennia germinans L.*
<http://legacy.tropicos.org/Name/33702454?projectid=7>



15. FLORA MESOAMERICANA. (1995). *Flor de Conocarpus erectus L.*
<http://legacy.tropicos.org/Name/8200192?projectid=3>
16. _____. (1995). *Flor de Rhizophora mangle L.*
<http://legacy.tropicos.org/Name/27600058?projectid=3>
17. _____. (1995). *Flor Laguncularia racemosa (L.) C.F. Gaertn.*
<http://legacy.tropicos.org/Name/8200077?projectid=3>
18. Foody, G., Cutler, M., McMorrow, J., Pelz, D., Tangki, H., Boyd, D., & Douglas, I. (2001). *Mapping the biomass of Bornean tropical rain forest from remotely sensed data.*
<https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2001.00248.x>
19. FUNDARY (Fundación Mario Dari Rivera, Guatemala). (2000). *Ficha técnica de los Humedales de Ramsar Punta de Manabique.*
<https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/GT1016RIS.pdf>
20. FUNDARY, CONAP & TNC (Fundación Mario Dary Rivera, Consejo Nacional de Areas Protegidas, & The Nature Conservancy, Guatemala). (2006). *Plan Maestro 2007-2011 Refugio de Vida Silvestre Punta De Manabique. Guatemala: FUNDARY-PROARCA-TNC, 155 p + Anexos.*
21. Gimeno, N. (2019). *¿Qué es un SAR?*
https://www.inta.es/INTA/es/blogs/ceit/BlogEntry_1554121012176
22. Gitay, H., Suárez, A., Watson, R., & Dokken, D. (2002). *Cambio climático y biodiversidad. Documento.*
23. González, M. (2008). *Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural de Pinus maximinoi H. E. Moore, Pinus oocarpa var. ochoterenai Mtz. y Quercus Sp. en el norte del Estado de Chiapas, México. Costa Rica.*
24. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). *Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone.*
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
25. GIMBUT (Grupo Interinstitucional de Bosques de Monitoreo y Uso de la Tierra Guatemala). (2017). *Informe metodológico para la elaboración del mapa de estratos de Carbono.*
26. Gupta, K. (2018). *An index for discrimination of mangroves from non-mangroves using LANDSAT 8 OLI imagery.*



27. Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E. (2014). *Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and sea grasses*.
28. INAB (Instituto Nacional de Bosques, Guatemala). (2017). *Conceptos Generales sobre Restauración del Paisaje Forestal, guía para su implementación en Guatemala*.
29. INAB, CONAP & ICC (Instituto Nacional de Bosques, Consejo Nacional de Areas Protegidas, & Instituto de Cambio Climático, Guatemala). (2016). *Metodología para el establecimiento y mantenimiento de Parcelas Permanentes de Medición Forestal - PPMF- en Bosque Natural del Ecosistema Manglar*.
30. INAB & CONAP (Instituto Nacional de Bosques, & Consejo Nacional de Areas Protegidas, Guatemala). (2019). *Manual de lineamientos técnicos para el aprovechamiento sostenible del recurso forestal del ecosistema manglar de Guatemala*.
31. INE (Instituto Nacional de Estadísticas, Guatemala). (2002). *Estimaciones y proyecciones de población para el periodo 1950-2050. análisis y divulgación de censos nacional XI de población y VI de habitación. Guatemala*.
32. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, Intergubernamental) . (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*.
https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf
33. Kauffman, J., Donato, D., & Adame, M. (2013). *Protocolo para la medición, monitoreo y reporte de la estructura, biomasa y reservas de carbono de los manglares*. CIFOR.
34. Klima. (2021). *CO2 vs. CO2e: ¿Cuál es la diferencia?* <https://klima.com/blog/CO2-vs-CO2e-what-is-the-difference/>
35. Lizano, O., Amador, J., & Soto, R. (2002). *Caracterización de manglares de Centroamérica con sensores remotos*.
36. Lu, D. (2006). *The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation*.
<https://doi.org/10.1080/01431160500486732>
37. Martínez, C., Locatelli, B., Vignolaa, R., & Imbach, P. (2010). *Adaptación al cambio climático y servicios ecosistémicos en América Latina*.
38. MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Guatemala). (2018). *Estimación del contenido de carbono en el componente arbóreo del ecosistema manglar en el*



pacífico de Guatemala.

39. Mohd, N., & Abd, Z. (2017). *Carbon sinks and tropical forest biomass estimation: a review on role of remote sensing in aboveground-biomass modelling.*
<https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1178814>
40. Moore, R. (2017). *Accompanying presentation Earth Engine Users' Summit 2017.*
41. NATURE CLIMATE CHANGE. (2020). *Protecting irrecoverable carbon in Earth's ecosystems.*
42. Nature Sustainability. (2022). *Mapping the irrecoverable carbon in Earth's ecosystems.*
43. Perilla, G., & Mas, J. (2020). *Google Earth Engine - GEE: A Powerful Tool Linking the Potential of Massive Data and the Efficiency of Cloud Processing.*
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112020000100111
44. PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Guatemala). (2013). *Abundancia y distribución del ecosistema manglar en Guatemala, su análisis y relación con los planes de desarrollo en el Caribe de Guatemala. Guatemala:*
45. Rodríguez, V., & Bullock, S. (2013). *Comparación espacial y temporal de índices de la vegetación para verdor y humedad y aplicación para estimar LAI en el desierto Sonorense.*
46. Rosales, K. (2007). *PLANIFICACIÓN DEL USO DE LA TIERRA DE LA COMUNIDAD CREEK NEGRO DEL MAR, EN EL ÁREA PROTEGIDA PUNTA DE MANABIQUE, PUERTO BARRIOS, IZABAL, GUATEMALA.*
47. Sánchez, G. (1992). *Diagnóstico General de la aldea Cabo Tres Puntas, Puerto Barrios, Izabal. Guatemala: USAC, FAUSAC.*
48. Schaefferr-Novell, Y. (1990). *Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian Coast.*
49. Sharma, V., & Chaudhry, S. (2015). *An Evaluation of Existing Methods for Assessment of Above-Ground Biomass in Forests.*
50. Silleos, N., Alexandridis, T., Gitas, I., & Perakis, K. (2006). *Vegetation indices: Advances made in biomass estimation and vegetation monitoring in the last 30 years.*
51. _____. (2014). *Annex II: Glossary [Mach, K.J., S. Planton and C. von Stechow (eds.)]. In: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I,*



II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing .

52. Tomlinson, P. (1986). *The botany of mangroves*. United Kingdom: Cambridge University Press.
53. White, D., & Minang, P. (2011). *Estimación de los costos de oportunidad de REDD+; manual de capacitación*.
54. Zaldívar, M., Herrera, J., Teutli, C., Comín, F., Andrade, J., Coronado, G., & Pérez, R. (2010). *Conceptual framework for mangrove restoration in the Yucatan peninsula*. <http://er.uwpress.org/content/28/3/333.abstract>

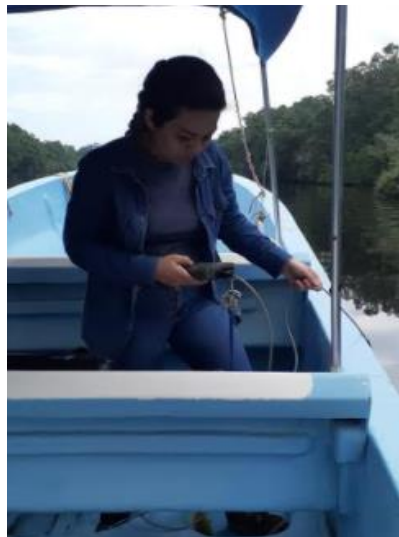


2.9 ANEXOS



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 31A. Sonda multiparamétrica física HI98194.



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 32A. Lectura de la salinidad obtenida con la sonda multiparamétrica en el punto de muestreo.



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 33A. Distribución de mangle rojo (fleche roja) y mangle blanco (fleche blanca) por su profundidad.



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 34A. Mangle rojo en orilla de laguna Santa Isabel.



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 35A. Mangle rojo y mangle blanco en orillas de bahía La Graciosa.



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 36A. Entrada bahía La Graciosa mangle menos desarrollado en altura y DAP por factores como las mareas.



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 37A. Árboles de mangle caídos por el paso del huracán Eta e Iota.



Fuente: elaboración propia, 2020.

Figura 38A. Observación de extracción de madera en la gira de campo.

CAPÍTULO III

**INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS EN LA UNIDAD TÉCNICA DEL ÁREA
PROTEGIDA REFUGIO DE VIDA SILVESTRE PUNTA DE MANABIQUE (UTRVSPM)
DURANTE LOS MESES DE FEBRERO A NOVIEMBRE DEL 2020.**

3.1 INTRODUCCIÓN

El Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, es un área protegida administrada por CONAP Puerto Barrios. “Consta con zonas de protección en tierra y agua. La zona de protección de ecosistemas acuáticos consta los sistemas de humedales y la zona marino-costera. Tanto de la vertiente de las bahías (Graciosa, Amatique, Santo Tomás) como la vertiente del mar caribe. Se considera una gran parte de ellos, como ecosistemas críticos, donde se reproducen especies de importancia local para la pesca”. (Herrera & Silva, 2014).

El servicio número uno que se realizó en el consejo nacional de áreas protegidas –CONAP– a través de la unidad técnica del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, la unidad de monitoreo e investigación fue el monitoreo de calidad del agua en el APRVSPM que se realiza desde el 2014, en un inicio se realizaba el monitoreo en 11 puntos de muestreo pero debido a la deficiencia presupuestaria este número disminuyó a 8; en las zonas de recuperación pesqueras en 8 puntos de muestreo donde se realizan análisis químicos y físicos de superficie y fondo. Esto para que exista un control formal de la calidad del agua para el área protegida.

Los datos recolectados con estos monitoreos servirán para la toma de decisiones y del manejo que CONAP le brinda al área protegida a través de la unidad técnica del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique. El fin de estos monitoreos en calidad del agua es disponer de información relevante para el manejo del área protegida, siendo el recurso hidrobiológico, uno de los principales a considerar, ya que de él dependen muchas especies de peces de importancia comercial para las comunidades y que es utilizado por otras especies de interés en conservación como tortugas marinas, manatíes. (CONAP, 2014)

Recordando que la actividad pesquera es una de las actividades económicas que brindan mayor sustento alimenticio y son fuente de trabajo y economía de las comunidades que se encuentran dentro del área protegida. Al construirse este monitoreo constante sobre la calidad del agua se puede tener un mejor conocimiento en el comportamiento de los cuerpos de agua que inciden en la abundancia del recurso pesquero en la zona, además de ser

indicador de cualquier afectación o perturbación de los ecosistemas que se encuentran asociados al recurso agua. (CONAP, 2014)

El segundo servicio es el levantamiento de parcelas de tamaño variable en el ecosistema manglar del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, el cual permitirá la creación de una base de datos del caribe guatemalteco con información de diámetro, altura, especie, estado fitosanitario y su estado físico para el análisis de la dinámica de la cobertura forestal en el ecosistema manglar de Guatemala, a través de sistemas de información geográfica como línea base de la planificación, este servicio consiste principalmente en un apoyo interinstitucional entre el consejo nacional de áreas protegidas (CONAP) y el instituto nacional de bosques (INAB) con la recolección de esta información de campo para consolidar una base y utilizarla para clasificación supervisada con base a sensores remotos de mediana resolución espacial.

3.2 SERVICIO 1. MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA EN LAS ÁREAS DE RECUPERACIÓN PESQUERAS DE BAHÍA LA GRACIOSA Y LAGUNA SANTA ISABEL, ÁREA PROTEGIDA REFUGIO DE VIDA SILVESTRE PUNTA DE MANABIQUE.

3.2.1 OBJETIVOS

A. Objetivo general

Evaluar la calidad del agua a través del monitoreo en las áreas de recuperación pesqueras de bahía la Graciosa y laguna Santa Isabel del área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique.

B. Objetivos específicos

1. Realizar la medición de los parámetros físicos y químicos de calidad del agua en los puntos de muestreo en superficie y fondo.
2. Analizar los parámetros físicos y químicos de calidad del agua de los puntos de muestreo en superficie y fondo.
3. Elaborar una base de datos y un informe de los resultados obtenidos en el monitoreo de calidad del agua.

3.2.2 METODOLOGÍA

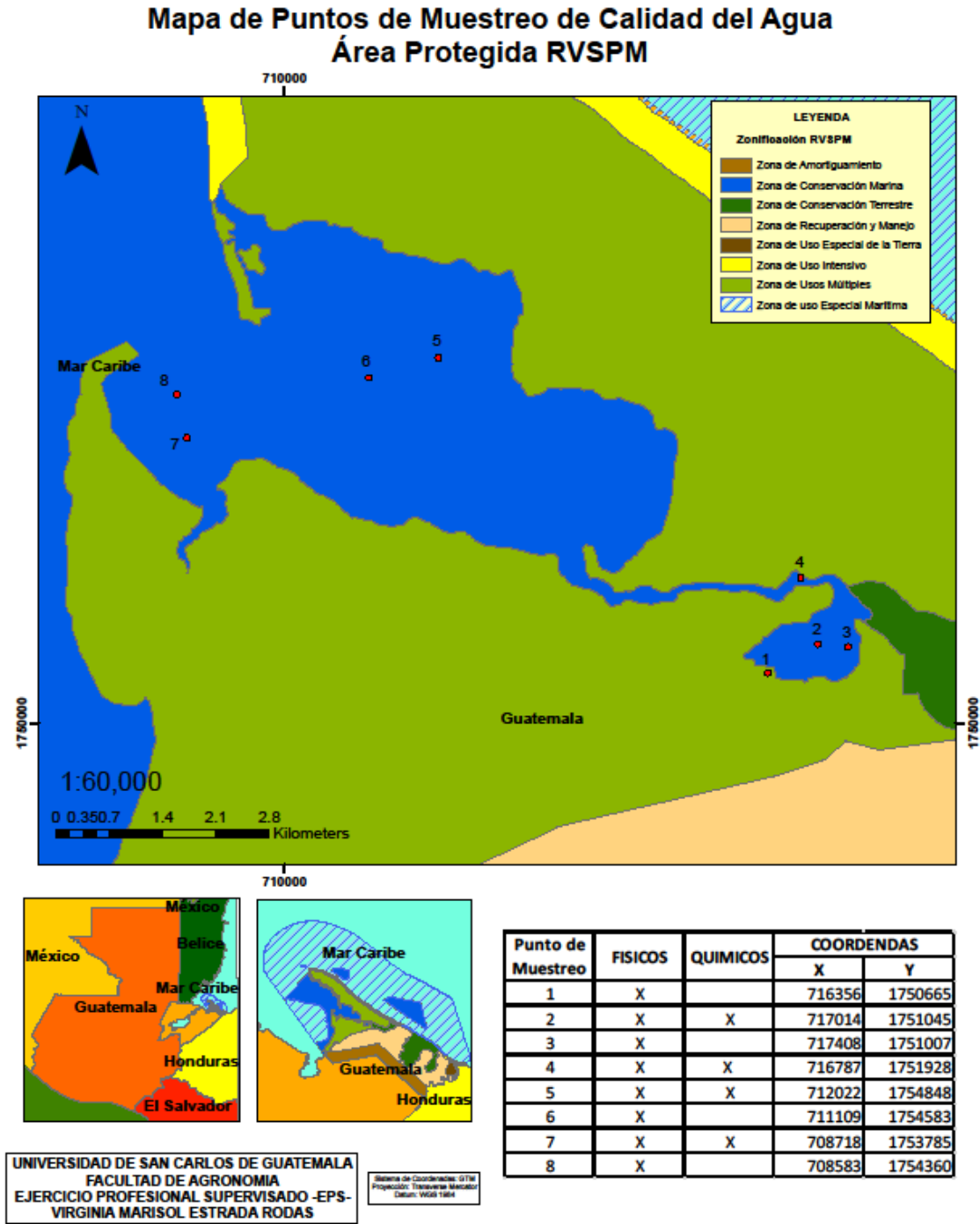
A. Ubicación de los puntos de muestreo

Con base al protocolo de monitoreo de calidad del agua en el Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique que es utilizado por la unidad de monitoreo e investigación, los puntos muestreados ya establecidos para la recolección se encuentran en las áreas circundantes a las zonas de recuperación pesquera del área protegida RVSPM, siendo un total de 8 puntos de muestreo los cuales se ubican: dentro de laguna Santa Isabel, ZRP La Graciosa, ZRP Punta Gruesa, entrada bahía La Graciosa hacia Estero Lagarto, entrada a laguna Santa Isabel y punta de Coco. En la figura 39 podemos observar los puntos de muestreo donde se realizó el monitoreo de calidad del agua y en el cuadro 19 se reflejan los puntos de muestreo tanto para análisis físicos como químicos georreferenciados.

Cuadro 19. Georreferenciación de los puntos de muestreo para el análisis de calidad del agua.

Punto de Muestreo	FÍSICOS	QUÍMICOS	COORDENDAS	
			X	Y
1	X		716356	1750665
2	X	X	717014	1751045
3	X		717408	1751007
4	X	X	716787	1751928
5	X	X	712022	1754848
6	X		711109	1754583
7	X	X	708718	1753785
8	X		708583	1754360

Fuente: Elaboración propia con base al al plan de monitoreo de calidad del agua de la UTRVSPM. (CONAP, 2014)



Fuente: Elaboración propia con base a UTRVSPM. (CONAP, 2014)

Figura 39. Mapa de puntos de muestreo en el monitoreo de calidad del agua.

B. Parámetros medidos en el monitoreo de calidad de agua

a. Parámetros físicos

Se realizaron análisis de los parámetros físicos que se encuentran en el cuadro 20 en los 8 puntos de muestreo tanto de superficie como fondo.

Cuadro 20. Parámetros de calidad del agua físicos.

Parámetro de calidad	Equipo utilizado
Temperatura	sonda multiparametrica HI98194
Salinidad	
pH	
Alcalinidad	
Sólidos disueltos totales	
Potencia de óxido reducción	
Conductividad	
Resistividad	
Oxígeno disuelto	
Saturación de oxígeno	

Fuente: Elaboración propia con base a protocolo de monitoreo de calidad del agua RVSPM (CONAP, 2014).

b. Parámetros químicos

Se realizó análisis del parámetro químico que se menciona en el cuadro 21 en los 4 puntos de muestreo tanto de superficie como de fondo. En las áreas prioritarias de La Graciosa, Punta Gruesa, entrada a laguna Santa Isabel y el centro de laguna Santa Isabel.

Cuadro 21. Parámetros de calidad del agua químicos.

Parámetro de calidad	Equipo utilizado
Fosfatos	sonda multiparamétrica DR900 botella nisky Guantes y recipientes de plástico

Fuente: Elaboración propia con base a Protocolo de monitoreo de calidad del agua RVSPM (CONAP, 2014)

C. Procedimiento para la toma de muestras

a. Toma de muestras de agua para parámetros físico

Para la toma de muestras de los parámetros físicos se utilizó la sonda multiparamétrica física HI98194 que cuenta con una longitud del cable electrodo de 4 metros para las mediciones y la ventaja que realizó la multilectura de las mediciones de los parámetros mencionados en el cuadro 20. La profundidad máxima requerida para la toma de muestras fue de 3 m, por lo que las mediciones se realizaron directamente y se tomaron lecturas en la superficie y fondo.

b. Toma de muestras de agua para parámetros químicos

Para la toma de muestras de los parámetros químicos, en la muestra de fondo se utilizó la botella Niský, y para la muestra de superficie se ingresó el recipiente al agua para el almacenaje, seguidamente estas muestras se procedió a medir 500 ml en un beacker y llenar los recipientes plásticos con los 500 ml medidos que transportaron la muestra hacia la unidad técnica del RVSPM para su respectivo análisis, se rotularon con un marcador con datos importantes como sitio de colecta de la muestra, fecha, hora de toma de muestra, y se transportaron en una hielera conservando a una temperatura de 4°C.

D. Análisis de laboratorio

En la unidad técnica del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique se efectuó el análisis de los parámetros físicos y químicos donde se determinó la calidad de las muestras. Dichos análisis se realizaron el mismo día del monitoreo.

a. Análisis físicos de las muestras

Con los datos que se obtuvieron de la multilectura de la sonda multiparamétrica física HI98194 de los parámetros físicos de los puntos de muestreo, se utilizaron las normas de índice de calidad del agua (ICA) en Guatemala donde se determinó la calidad del agua de las muestras.

b. Análisis químicos de las muestras

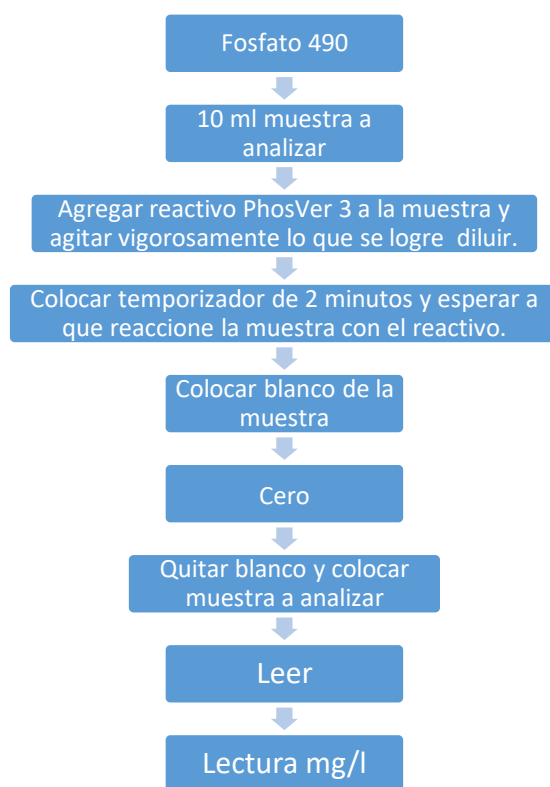
Se tomaron en cuenta algunos aspectos generales en el análisis químico que se encuentran a continuación:

- Se realizó en un lugar apto, con espacio físico y requerimientos mínimos como: superficie plana para el manipuleo de reactivos y las muestras, un lugar donde desechar los sobrantes químicos de los análisis y contar la cristalería mínima para los análisis (beaker de 500 ml, 250 ml, 50 ml, jeringa de 10ml - 5ml, papel mayordomo, tijeras, marcador para rotular).
- Si la muestra colectada contiene gran cantidad de sedimentos o sólidos en suspensión, lo cual dificulta la penetración de la luz de la sonda DR 900 cuando se le agregan los reactivos a cada análisis es conveniente que se filtre la muestra con papel filtro.
- Si las muestras están en refrigeración, sacarlas por lo menos 20 minutos al medio externo para evitar que el frío interfiera en la lectura del análisis efectuado. (CONAP, 2014)

Para la determinación de la concentración del parámetro químico fosfato se siguieron los pasos ya establecidos en el diagrama de flujo del protocolo de monitoreo de calidad del agua del Área protegida RVSPM que se encuentra en la figura 36.

E. Elaboración de base de datos digital e informe

La elaboración de la base de datos en digital e informe se coordinó junto con el analista marino costero de la unidad técnica del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique CONAP-Nororiente, ya que es la persona encargada de llevar los datos actualizados de los análisis del monitoreo de calidad del agua del área protegida RVSPM.



Fuente: Elaboración propia con base al protocolo de monitoreo de calidad del agua de la UTRVSPM.
(CONAP, 2014)

Figura 40. Diagrama de flujo del análisis de fosfato.

3.2.3 RESULTADOS

Cuadro 22. Registro de los puntos muestreados para los parámetros físicos en las áreas de recuperación pesquera y laguna Santa Isabel.

PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS GTM	TEMPERATURA °C	SALINIDAD PSU	CONDUCTIVIDAD Ms	pH	TDS g/l	O2 mg/l	O2 %	RESISTIVIDAD omios (microomios)	ORP Mv	PRESIÓN
Entrada Laguna Superficie	716787, 1751928	30.58	10.15	17.66	6.78	97.25	6.54	92	0.0000	161.8	14.944
Entrada Laguna Fondo		30.81	23.98	47.95	7.31	23.98	3.45	51.3	0.0000	137.3	14.939
ARP Punta Gruesa Centro Superficie	712022, 1754848	30.77	31.60	48.66	7.78	24.35	6.75	152.3	0.0000	162.2	14.914
ARP Punta Gruesa Centro Fondo		30.44	32.87	50.29	7.78	25.17	7.95	155.8	0.0000	157.4	14.928
Laguna Santa Isabel Orilla Superficie	716356, 1750865	20.71	13.20	21.23	7.01	11.64	3.95	56.8	0.0000	108.5	14.888
Laguna Santa Isabel Orilla Fondo		31.08	29.11	45.95	7.10	22.56	0.84	73.7	0.0000	-84.5	14.914
ARP Punta Gruesa fuera superficie	715984, 1751790	30.82	31.65	48.79	7.77	66.4	6.32	98.9	0.0000	100.4	14.894
ARP Punta Gruesa fuera fondo		30.79	27.17	56.3	7.74	27.2	6.13	113.4	0.0000	161.6	14.905
Laguna Santa Isabel Centro Superficie	717014, 1751045	30.11	8.89	16.56	7.23	77.17	5.41	74.2	0.0001	121.1	14.942
Laguna Santa Isabel Centro Fondo		31.02	27.10	43.90	6.99	21.23	1.07	17.5	0.0000	-80.6	14.946
ARP La Graciosa Centro Superficie	708718, 1753795	30.82	32.62	50.08	7.80	25.05	9.77	154.5	0.0000	156.5	14.905
ARP La Graciosa Centro Fondo		30.24	32.73	50.25	7.80	25.11	9.95	154.9	0.0000	164	14.901
ARP La Graciosa Fuera Superficie	708593, 1754360	29.50	32.38	49.81	7.82	24.88	10.55	165.3	0.0000	170.4	14.890
ARP La Graciosa Fuera Fondo		30.40	32.75	50.27	7.89	25.12	11.30	176.8	0.0000	159.8	14.932

Cuadro 23. Lecturas de las concentraciones de fosfato en las áreas de recuperación pesqueras de bahía La Graciosa y laguna Santa Isabel.

PUNTO DE MUESTREO	FOSFATO (mg/l)
ARP La Graciosa centro (superficie)	0.29
ARP La Graciosa centro (fondo)	0.17
ARP Punta Gruesa centro (superficie)	0.74
ARP Punta Gruesa centro (fondo)	0.47
entrada laguna Santa Isabel (superficie)	0.38
entrada laguna Santa Isabel (fondo)	0.45
laguna Santa Isabel (superficie)	0.59
Laguna Santa Isabel (fondo)	0.78

Los muestreos de calidad del agua en el área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, se realizan de forma bimestral, correspondiendo estos resultados al segundo muestreo del mes de abril, pero debido a la pandemia por el virus Covid-19 y con el objetivo de evaluar la calidad del agua en el RVSPM se realizó el día 28 de mayo del 2020, el muestreo fue representativo de la época seca; y las condiciones climáticas para el mes de mayo conforme lo menciona el boletín meteorológico preliminar del mes de mayo del 2020; reporto poca nubosidad, viento noroeste ligero a moderado, temperaturas máximas de 37 °C – 39 °C y lloviznas. (INSIVUMEH, 2020)

La actividad inicio a las 7:00 am en acompañamiento del técnico marino costero y guarda recursos del área de estudio donde se inició el recorrido en transporte marítimo dentro de bahía La Graciosa, Punta Gruesa y laguna Santa Isabel, posteriormente el retorno a la unidad técnica fue a las 2:00 pm para el análisis de las muestras químicas.

La información recopilada en el monitoreo de calidad del agua para los parámetros físicos se encuentra en el cuadro 22. Se realizaron toma de muestras en 8 puntos que se referencia identificados principalmente dentro de bahía La Graciosa y laguna Santa Isabel siendo los

dos cuerpos hidrobiológicos que se encuentran dentro de la zona de conservación marina en el RVSPM y uno de los sitios más importantes de recuperación pesquera.

Los puntos de muestreo para el parámetro físico de salinidad indicaron datos acordes a la época seca, donde la salinidad incrementa por las bajas precipitaciones registradas en la zona, también que, en la profundidad intermedia entre la superficie y el fondo, las aguas se presentan más salinas que dulces. En los puntos de muestreo ubicados en la laguna Santa Isabel se observa que la salinidad es menor esto debido a que en ella desemboca el río San Francisco por lo tanto hay mayor influencia de aguas dulces que salinas.

En cuanto al parámetro físico de temperatura en los 8 puntos de muestreo del monitoreo los datos se comportaron muy parecidos entre un rango de 20°C - 31°C datos acorde a la época seca del área.

Para el parámetro físico de pH se observó que en la mayoría de puntos de muestro tanto de superficie y fondo el agua fue de neutro a básico (7.01 pH - 7.89 pH) exceptuando las aguas en la entrada de la laguna Santa Isabel y en medio de la laguna Santa Isabel donde los valores de pH fueron ligeramente ácidos y neutros (6.78 pH - 6.99 pH).

Los valores reportados en el parámetro físico de oxígeno disuelto se mostraron menores en los puntos de muestro que se ubican en la laguna Santa Isabel, siendo valores que ponen riesgo la vida acuática (1.07 mg/l). Mientras que los puntos de muestreo que se ubican en Punta Gruesa y bahía la Graciosa, los valores son más aceptables ya que van desde (6.32 mg/l - 11.30 mg/l), posiblemente por ser zonas donde ocurre el intercambio con la marea.

La medida de conductividad es usada para estimar el parámetro físico de sólidos disueltos totales (TDS) que indica la cantidad de sustancias disueltas en el agua, en donde se observan los valores más altos en los puntos de muestreo ubicados en la laguna Santa Isabel (77.17g/l - 97.25 g/l) esto posiblemente por los sólidos disueltos presentes en el río San Francisco que desemboca en la laguna Santa Isabel y la cantidad de material de naturaleza orgánica presente en la laguna.

Mientras que el parámetro físico de potencial de oxido reducción (ORP), presenta valores muy bajos (80.06 Mv) en los puntos de muestreo de la laguna Santa Isabel, en donde las condiciones para la vida acuática presentan un riesgo.

De los 8 puntos de muestreo únicamente se priorizaron 4 puntos de muestreo para el parámetro químico evaluado “fosfato”; los cuales se ubican en ARP La Graciosa centro, ARP Punta Gruesa centro, entrada laguna Santa Isabel y laguna Santa Isabel.

En el cuadro 23 se observan los datos obtenidos de superficie y fondo de las muestras, se puede decir que los resultados se encuentran relacionados directamente con la época seca que experimenta la zona considerándose bajos (0.17 mg/l - 0.78 mg/l), ya que al no ver lluvias en el área no llega escorrentía en gran cantidad y con ella el arrastre de fosforo ligado a las partículas erosionadas de suelo y con ello introducido la aplicación de fertilizantes que contienen ortofosfatos, ya que principalmente en la laguna Santa Isabel se encuentran terrenos aleñados que son áreas agrícolas o de ganadería y que también el cauce del río San Francisco pasa por las plantaciones de palma africana y desembocando en la laguna siendo una fuente de contaminación.

Iniciando el monitoreo de calidad del agua en el RVSPM, como dato relevante fue que se observaron aproximadamente 20 delfines desde adultos a jóvenes en bahía La Graciosa, se procedió al llenado de la boleta de avistamiento de delfines donde se lleva un registro de los arribos de delfines vistos en el monitoreo de calidad del agua del área protegida, esto con el fin de reportar esta especie presente y su importancia en dicha área.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 41. Avistamiento de delfines en Bahía La Graciosa, APRVSPM.

3.2.4 CONCLUSIONES

1. Los datos obtenidos en el monitoreo de calidad del agua de los 8 puntos de muestreo están relacionados con la época seca y con la desembocadura del río San Francisco en la laguna Santa Isabel.
2. El informe realizado del monitoreo de calidad del agua, son un punto de partida para la solución de deficiencias que se encuentren en la calidad del agua, se puede tener un mejor conocimiento en el comportamiento de los cuerpos de agua que inciden en la abundancia del recurso pesquero en la zona, además de ser indicador de cualquier afectación o perturbación de los ecosistemas que se encuentran asociados al recurso agua.

3.2.5 RECOMENDACIONES

1. Contar en la unidad técnica del área protegida RVSPM con un área específica para realizar los análisis químicos de calidad del agua.
2. Gestionar apoyo económico con CONAP central para que se realicen la compra de los reactivos utilizados en los parámetros químicos nitrato, sulfato de amonio y amonio que se excluyeron en el monitoreo de calidad del agua del área protegida por falta de fondos.
3. Realizar alternativas con propuestas de mapas temáticos con Índices de calidad del agua utilizando plataformas digitales de forma gratuita como Google Earth Engine.

3.2.6 ANEXOS



MONITOREO CALIDAD DEL AGUA
REFUGIO DE VIDA SILVESTRE PUNTA DE MANABUITA
BOLETA DE CONTROL Y REGISTRO DE DATOS

Localidad: _____ Fecha: _____
 Número de Monitoreo: _____ Coordenadas GPS: _____

Condiciones climáticas: Nublado ☐ Soleado ☐ Lluvioso ☐

Responsables de la toma de datos: _____

PUNTO	Hora	Parámetro registrado	Valor	Dimensional	MUESTRAS QUÍMICAS
SUPERFICIE		Temperatura		°C	
		Salinidad		PSU	FOSFATO: _____ mg/l
		Conductividad		mS/cm	SULFATO: _____ mg/l
		pH			AMONIO: _____ mg/l
		Sólidos totales suspendidos		mg/l	NITRATO: _____ mg/l
		Oxígeno disuelto		mg/l	Equipo: Disco Secchi, Sonda multiparamétrica, frasco de polietileno de alta densidad, Botella de Van Dor, hielera, papel aluminio, beaker 500 ml, lancha con motor.
		Disco Secchi		cm-m	
		Presión Atmosférica		psi	
		Saturación de Oxígeno		%	
		Resistividad		MΩ cm	
SUBSTRATO		Temperatura		°C	FOSFATO: _____ mg/l
		Salinidad		PSU	SULFATO: _____ mg/l
		Conductividad		mS/cm	AMONIO: _____ mg/l
		pH			NITRATO: _____ mg/l
		Sólidos totales suspendidos		mg/l	Equipo: Disco Secchi, Sonda multiparamétrica, frascos de polietileno de alta densidad, Botella de Van Dor, hielera, papel aluminio, beaker 100 ml, lancha con motor.
		Oxígeno disuelto		mg/l	
		Disco Secchi		cm-m	
		Presión Atmosférica		psi	
		Saturación de Oxígeno		%	
		Resistividad		MΩ cm	
INTERIOR		Temperatura		°C	FOSFATO: _____ mg/l
		Salinidad		PSU	SULFATO: _____ mg/l
		Conductividad		mS/cm	AMONIO: _____ mg/l
		pH			NITRATO: _____ mg/l
		Sólidos totales suspendidos		mg/l	Equipo: Disco Secchi, Sonda multiparamétrica, frascos de polietileno de alta densidad, Botella de Van Dor, hielera, papel aluminio, beaker 100 ml, lancha con motor.
		Oxígeno disuelto		mg/l	
		Disco Secchi		cm-m	
		Presión Atmosférica		psi	
		Saturación de Oxígeno		%	
		Resistividad		MΩ cm	
FONDOS		Temperatura		°C	FOSFATO: _____ mg/l
		Salinidad		PSU	SULFATO: _____ mg/l
		Conductividad		mS/cm	AMONIO: _____ mg/l
		pH			NITRATO: _____ mg/l
		Sólidos totales suspendidos		mg/l	Equipo: Disco Secchi, Sonda multiparamétrica, frascos de polietileno de alta densidad, Botella de Van Dor, hielera, papel aluminio, beaker 100 ml, lancha con motor.
		Oxígeno disuelto		mg/l	
		Disco Secchi		cm-m	
		Presión Atmosférica		psi	
		Saturación de Oxígeno		%	
		Resistividad		MΩ cm	

OBSERVACIONES: _____

Fuente: CONAP, 2020.

Figura 42A. Boleta de campo que se utilizó para control y registro de datos del monitoreo de calidad del agua RVSPM.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 43A. Toma de muestras para análisis.



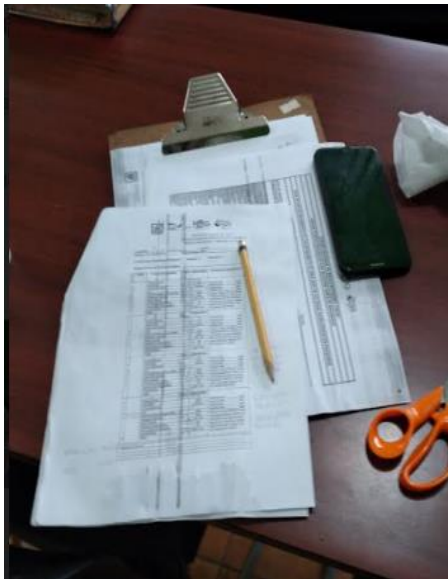
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 44A. Muestra con reactivo.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 45A. Lectura de la muestra.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 46A. Boleta con la información.

2020

No. Avistamiento: 2

BOLETA DE AVISTAMIENTO DE DELFIN

GUATEMALA CONAF

Fecha: 26/05/2020 Hora: 5:45 AM Nombre de observador: Yessy Hernández

Sitio del avistamiento en el área: LAGOONAS SANTA LA ESPERANZA

Posición GPS: UTM (LATTITUD, N) --- GTM (X): 12, 5164 (LONGITUD, W), GTM (Y): -98, 93172

Si no cuenta con GPS, describa la ubicación del sitio: PARQUE DE LA ESPERANZA LA ESPERANZA

Especie: GUAYANA NEGRITA Condiciones del clima: soleado

DATOS DEL GRUPO

# Mínimo	# Máximo	Fotografías: SI NO
Número de adultos: <u>12</u>	<u>20</u>	Distancia: <u>40 metros</u>
Número de juveniles: <u>4</u>	<u>10</u>	Olaje: <u>---</u>
Número de crías: <u>2</u>	<u>3</u>	Nubosidad: <u>---</u>
Total de individuos: <u>18</u>	<u>30</u>	Especies acompañantes: <u>---</u>

Comportamiento: Social --- Movimiento X Alimentándose X Descansando --- Apareándose ---

Varadiento

Animal vivo --- o ⁺muerto --- Longitud: --- Peso: ---

*Descomposición: 1 2 3 Se liberó con éxito: SI NO

Intento de retorno al mar: SI NO

Observaciones: Se observó un grupo de delfines alimentándose en la laguna, hasta la salida, después de salir, alimentándose, hasta la salida de la laguna.

Fuente: (Unidad Técnica RVSPM, 2020)

Figura 47A. Boleta de avistamiento de delfines en el APRVSPM.

3.3 SERVICIO 2. LEVANTAMIENTO DE PARCELAS DE TAMAÑO VARIABLE EN EL ECOSISTEMA MANGLAR DEL ÁREA PROTEGIDA REFUGIO DE VIDA SILVESTRE PUNTA DE MANABIQUE.

3.3.1 OBJETIVOS

A. Objetivo general

Recolectar información de campo del ecosistema manglar en el área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique.

B. Objetivos específicos

1. Realizar las parcelas de tamaño variable y la toma de datos en campo geo referenciados donde se detalle la vegetación existente y otras variables de importancia.

3.3.2 METODOLOGÍA

La metodología que se utilizó para el levantamiento de parcelas de tamaño variable fue con base en el instructivo para el levantamiento de datos de campo para la generación de firmas espectrales del instituto nacional de bosques (INAB) y el centro universitario de Totonicapán (CUNTOTO) publicada en el año (2019) que se describe a continuación:

A. Uso de la boleta digital

Se utilizó un teléfono inteligente que cuenta con sistema android, seguidamente se descargó de la play store la aplicación que lleva por nombre Survey 123. Luego se abrió el link de descarga que se encuentra disponible en el instructivo: <https://arcg.is/0aKzfG> y se visualizó la imagen que se encuentra en la figura 48, y se escogió la opción de abrir boleta digital en la aplicación de campo Survey 123.



Fuente: Gómez, D.; Zacarias, C.; y Canastuj, E. (2019)

Figura 48. Flecha indica la opción para abrir la boleta digital en la aplicación Survey 123.

Seguidamente, se seleccionó la opción de adquirir boleta digital, esto con el fin de registrar los datos de las parcelas de tamaño variable, para cada parcela de tamaño variable se adquirió una boleta digital, en esta parte de la aplicación también se encuentran todas las boletas ya realizadas guardadas en la bandeja de salida.



Fuente: Gómez, D.; Zacarias, C.; y Canastuj, E. (2019)

Figura 49. Opción de adquirir boleta virtual y registrar datos.

B. Llenado de la boleta Digital

La boleta digital para el registro de los datos de las parcelas de tamaño variable lleva por nombre 07_collectMANGLE y ya descargada se puede acceder a ella con o sin conexión a internet, la información de las boletas puede enviarse de forma automática en el teléfono móvil si se cuenta con servicio de internet y si no se cuenta con este servicio, se llena la boleta con la información generada se guarda y al contar con el servicio de internet se envían automáticamente a la plataforma.

07_CollectMANGLE

Instituto Nacional de Bosques
Dirección de Planificación, Monitoreo y Evaluación Institucional
Departamento de Sistemas de Información Geográfica
Dirección Regional IX, Costa Sur
Coordinación técnica

Objetivo: Recolectar información en campo dentro y fuera de bosque mangle, para consolidar una base de información y utilizarla para la clasificación supervisada en base a sensores remotos de mediana resolución espacial.

1. Nombre del anotador*

Elgin Canastuj

2. Fecha*

17/10/19

Fuente: Gómez, D.; Zacarias, C.; y Canastuj, E. (2019)

Figura 50. Boleta digital 07_collectMANGLE.

a. Nombre

En la casilla 1 que se muestra en la figura 51, se escribió el nombre de la persona que tomo los datos en campo en las parcelas de tamaño en el ecosistema manglar del área protegida RVSPM.



1. Nombre del anotador*

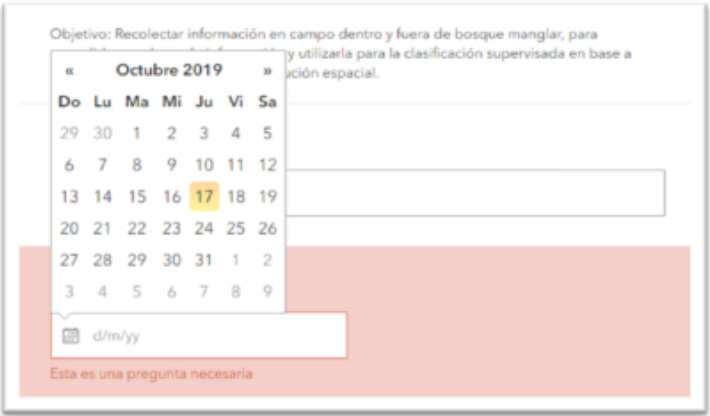
Darilyn Lucía Mejía

Fuente: Gómez, D.; Zacarias, C.; y Canastuj, E. (2019)

Figura 51. Casilla nombre del anotador.

b. Fecha

En la casilla 2 que se encuentra en la figura 52, se seleccionó la fecha en el calendario del día que se realizaron la toma de datos de campo para las parcelas de tamaño variable.



Objetivo: Recolectar información en campo dentro y fuera de bosque manglar, para y utilizarla para la clasificación supervisada en base a acción espacial.

« Octubre 2019 »

Do	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sa
29	30	1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	1	2
3	4	5	6	7	8	9

d/m/yy

Esta es una pregunta necesaria

Fuente: Gómez, D.; Zacarias, C.; y Canastuj, E. (2019)

Figura 52. Calendario en la boleta digital.

c. Ubicación geográfica

En la casilla 3, se presionó el icono que se encuentra señalado por la flecha en la figura 53, donde realizo la ubicación del punto en el espacio de las parcelas de tamaño variable. La aplicación Survey 123 presenta un nivel de error menor a 10 m aproximadamente.



Fuente: Gómez, D.; Zacarias, C.; y Canastuj, E. (2019)

Figura 53. Ubicación geográfica por medio de la plicación Survey 123.

La boleta digital también presenta la opción de tomar coordenadas externas y la altitud con apoyo de un GPS y agregarlas de forma manual como se observa en la figura 54.

The image shows a sequence of three overlapping form windows. The top window is titled '— Coordenadas externas' with a green play button icon. A red arrow points to this icon with the text 'Especificar el sistema de coordenadas externas que se van a registrar.' below it. The middle window, titled 'Coordenadas externas', contains the text 'Si tiene coordenadas' and '2. Indique el sistema de proyección espacial'. It has two radio buttons: 'UTM' (unselected) and 'GTM' (selected). Below this, there are two input fields: 'Coordenada X (GTM)' with the value '458612' and 'Coordenada Y (GTM)' with the value '1525134'. The bottom window is titled '4. Altitud (msnm.)' and has a single input field containing the value '123'.

Fuente: Gómez, D.; Zacarias, C.; y Canastuj, E. (2019)

Figura 54. Opción para agregar coordenadas y altitud de forma manual en la boleta virtual.

d. Lugar o Sitio

En la casilla 5 que se observa en la figura 55, se registró el nombre del área de estudio y municipio donde se realizaron las parcelas de tamaño variable.

The image shows a single form window titled '5. Nombre del lugar/Sitio*'. Below the title is the subtitle 'Lugar / aldea'. There is a single input field containing the text 'Machón Guamuchal, Champerico'. The words 'Guamuchal' and 'Champerico' are underlined in red.

Fuente: Gómez, D.; Zacarias, C.; y Canastuj, E. (2019)

Figura 55. Nombre del lugar del área de estudio.

e. Cobertura forestal

En la casilla 6 que se observa en la figura 56, se utilizó únicamente la opción de bosque y luego se especificó que el tipo de cobertura donde se trabajaron las parcelas corresponde al tipo de cobertura de mangle.

6. Cobertura forestal*

☒ Bosque ☐ No bosque

6.1 Tipo de cobertura*

☒ Mangle ☐ Ribera ☐ Seco

6. Cobertura forestal*

☐ Bosque ☒ No bosque

6.2 Uso*

☒ Pastos ☐ Helados ☐ Tulares

☐ Nílex ☐ Suelo sin cobertura

☐ Construcciones/poblado ☐ Cultivos agrícola

☐ Palma natural ☐ Palma africana

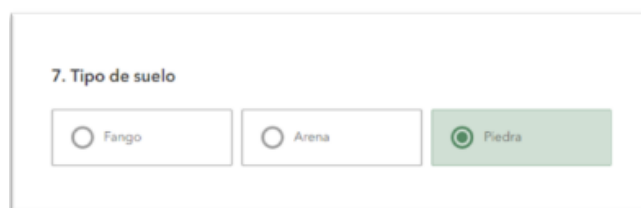
Fuente: Gómez, D.; Zacarias, C.; y Canastuj, E. (2019)

Figura 56. Identificación de la cobertura forestal.

f. Suelo

En la casilla 7 que se observa en la figura 57, se especificó qué tipo de suelo estaba presente en el área de estudio.

- **Fango:** Superficie lodosa, inestable, con abundancia de materia orgánica en proceso de descomposición, de color café a café rojizo.
- **Arena:** Superficie sólida, algunas veces inestable, con sedimentos sueltos, generalmente a la orilla del mar y de ríos.
- **Piedra:** Superficie sólida, generalmente los árboles y la vegetación tienen poco desarrollo. (INAB y CUNTOTO, 2019).



7. Tipo de suelo

☐ Fango

☐ Arena

☒ Piedra

Fuente: Gómez, D.; Zacarias, C.; y Canastuj, E. (2019)

Figura 57. Tipo de suelo presente en las parcelas de tamaño variable.

g. Alteración

En la casilla 8, se observó en campo si el área donde se levantaron las parcelas de tamaño variable presentaba alternación el bosque y en la casilla 9 se especificó si este tipo de alteración era por causas naturales o realizadas por acción del ser humano. En la figura 58 se muestra la casilla 8 y 9.

8. Alteración del bosque*

☒ Sí ☐ No

9. Tipo de alteración*

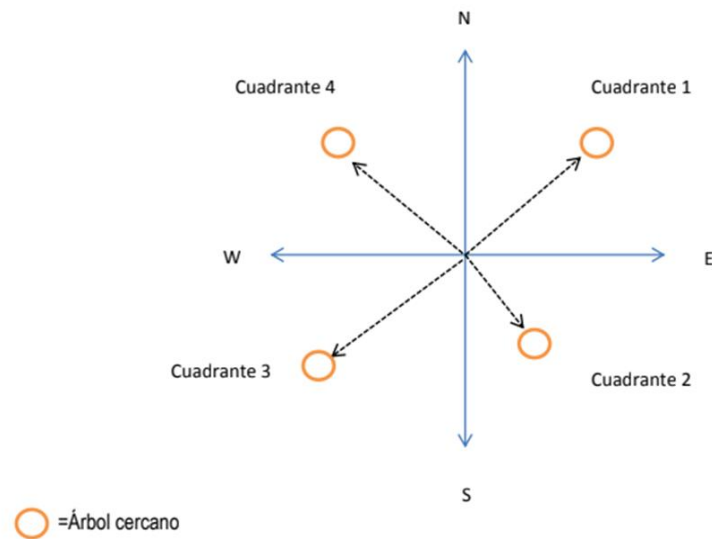
☐ Natural ☐ Humana

Fuente: Gómez, D.; Zacarias, C.; y Canastuj, E. (2019)

Figura 58. Alteración del bosque y que tipo de alteración.

h. Parcelas de tamaño variable

Para el levantamiento de las parcelas de tamaño variable se utilizó una variante del método cuadrante a un punto central de Coattan y Curtis (1958) modificado para manglares por Czintrom y Novelli (1974) citado por (Gómez et al., 2019) propuesto en el instructivo para el levantamiento de datos de campo para la generación de firmas espectrales. En donde cada punto definió cuatro cuadrantes como se observa en la figura 59, y en cada cuadrante se midió la distancia en metros del árbol (o fuste, aunque este muerto) más cercano al punto, su diámetro, altura, especie, estado fitosanitario y su estado físico según el ítem de la casilla 10 de la boleta digital que se observa en figura 56.



Fuente: (Gómez et al., 2019)

Figura 59. Cuadrantes en la parcela de tamaño variable.

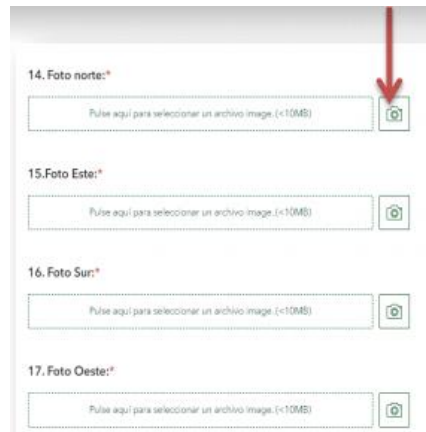
En la casilla 10 que se muestra en la figura 60, se registraron la toma de datos en cada cuadrante de las variables dasométricas como especie, distancia del árbol al punto central de la parcela, DAP y Altura y entre las variables físicas enfermo, plagado o corte clandestino. También el nombre técnico de la especie presente en las parcelas de tamaño variable.

Fuente: (Gómez et al., 2019)

Figura 60. Información de variables dasométricas y físicas de los cuadrantes.

i. Fotografías

En la casilla 14 que se muestra en la figura 61, se agregaron fotografías por cada cuadrante en las parcelas de tamaño variable.



14. Foto norte:*

Pulse aquí para seleccionar un archivo image (<10MB)

15. Foto Este:*

Pulse aquí para seleccionar un archivo image (<10MB)

16. Foto Sur:*

Pulse aquí para seleccionar un archivo image (<10MB)

17. Foto Oeste:*

Pulse aquí para seleccionar un archivo image (<10MB)

Fuente: (Gómez et al., 2019)

Figura 61. Casilla donde se agregaron fotografías.

j. Observaciones y envío de la información

En la casilla 19 que se muestra en la figura 62, se agregó información de algún dato relevante visto en campo y seguidamente se dio clic en enviar boleta digital.



19. Observaciones

Enviar

Fuente: (Gómez et al., 2019)

Figura 62. Observaciones y envío de boleta digital.

C. Material y equipo

Para la realización de las parcelas de tamaño variable en el área protegida RVSPM se utilizó:

- Transporte marítimo
- Teléfono inteligente con sistema android
- Internet
- Aplicación Survey 123
- GPS
- Cinta diamétrica
- Cinta métrica
- Hipsómetro
- Brújula
- Cámara

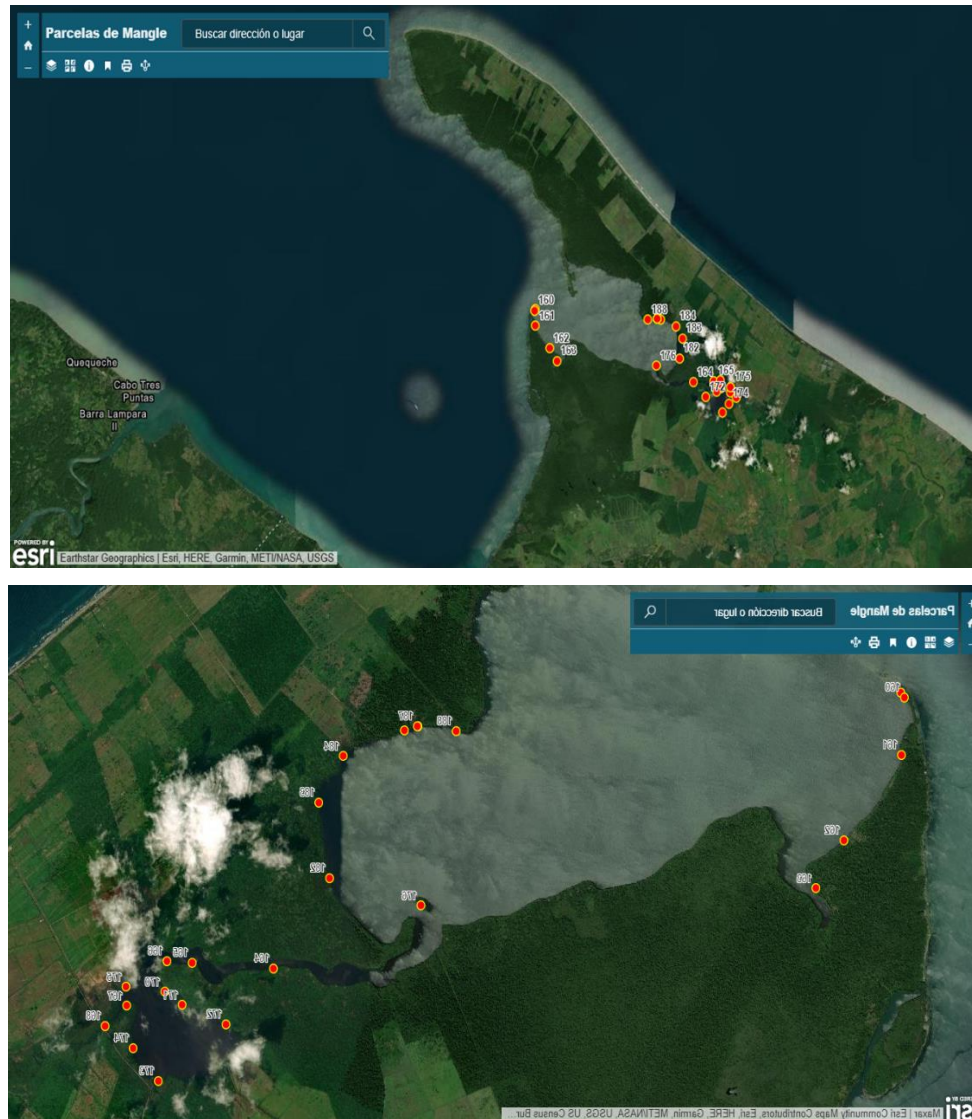


Figura 63. Puntos de las parcelas de tamaño variable en el manglar del RVSPM en la Plataforma virtual del INAB.

La información recopilada del levantamiento de parcelas de tamaño variable en el área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique se encuentra en el cuadro número 24. Se colectaron 21 puntos de posicionamiento geográfico del ecosistema manglar que se pueden observar en la figura 63 de los cuales únicamente en 11 puntos se realizaron las parcelas de tamaño variable con la información de variables dasométricas y variables físicas, esto debido a que en algunos puntos no fue posible realizar las parcelas ya que las raíces aéreas no permitieron el acceso del transporte marítimo y la marea se encontraba alta debido a que este servicio se realizó el 10 de diciembre de 2020 y un mes antes aproximadamente ocurrieron las tormentas Eta e Iota en el Caribe guatemalteco.

De las 11 parcelas de tamaño variable realizadas, la especie de manglar más predominante en el área de estudio es mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.) encontrada en todas las parcelas, seguidamente mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) que se encontró en pequeños parches en 3 de las 11 parcelas y en un punto fuera del cuadrante de la parcela de tamaño variado se observaron neumatóforos de mangle negro (*Avicennia germinans*) especie que no se ha reportado en el área protegida RVSPM en otros estudios realizados.



Figura 64. *Rhizophora mangle* L. (a), *Laguncularia racemosa* (L.) (b).



Figura 65. Avicennia germinans (c).

Cuadro 25. Número de árboles por especie de mangle en las parcelas de tamaño variable.

Especies de mangle en las parcelas de tamaño variado	
Mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i> L.)	41
Mangle blanco (<i>Laguncularia racemosa</i> (L))	3

La especie de mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.) es predominante en un 93 % en las parcelas de tamaño variable realizadas en el área protegida RVSPM el cual se clasifica como un bosque natural de dicha especie y en un 7 % se encuentra la especie de mangle blanco (*Laguncularia racemosa* (L)).

No se cuentan con registros anteriores de diámetro y altura para el ecosistema manglar en el área protegida RVSPM para contar con una referencia a la edad de estos manglares, por lo que está información obtenida en las parcelas de tamaño variable es la primera base de datos del ecosistema manglar en dicha área y en el caribe guatemalteco. Los rangos de diámetro van desde 8.5 cm - 34.2 cm, alturas desde 4 m - 15 m y el distanciamiento es una variable del árbol de manglar al punto central de cada cuadrante en las parcelas de tamaño variable está información se encuentra en el cuadro 25.

El tipo de suelo presente en el área de estudio es de arenoso principalmente en bahía la Graciosa y en laguna Santa Isabel ya se encuentra un tipo de suelo fangoso, esto debido a

la desembocadura del río San Francisco en la laguna y que también por acción humana se han realizado varios quíneles por propietarios de terrenos aledaños que se dedican principalmente a la agricultura o ganadería; esto con el fin de drenar sus terrenos, provocando que en época de lluvia a través de estos quíneles aumente la escorrentía y el arrastre de sedimentos a la laguna.

En el ecosistema manglar se encontraron árboles caídos debido a las tormentas y también se observó que en ciertos puntos los habitantes del área hacen uso del manglar como leña, identificación de quíneles e identificación en límites de terrenos. Es importante mencionar que la información recopilada de las parcelas de tamaño variable se puede consultar de forma gratuita en la plataforma en línea del INAB.

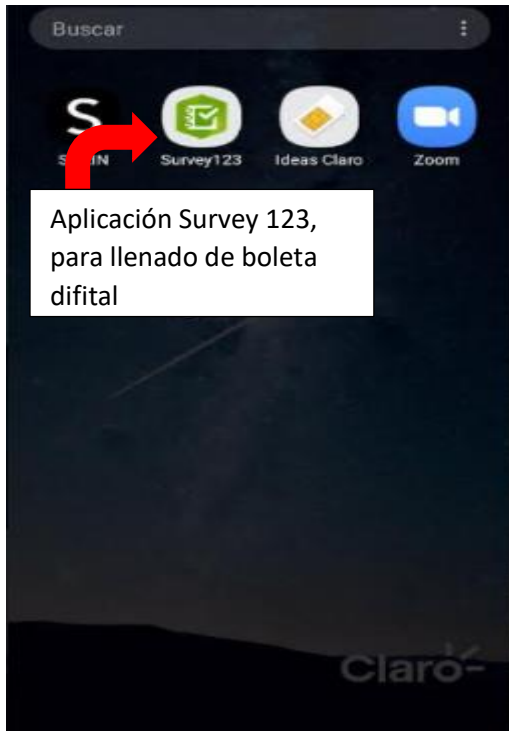
3.3.4 CONCLUSIONES

1. Se generó la primera base de datos de variables dasométricas y físicas en el ecosistema manglar del área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique ubicada en el caribe guatemalteco.
2. Se colectaron 21 puntos de posicionamiento geográfico del ecosistema manglar en la plataforma virtual del INAB que se utilizaría para clasificación supervisada con base a sensores remotos de mediana resolución espacial para futuros estudios.
3. Se determinó que el área de estudio predomina la especie de mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.) en un 93 % y en un 7 % se encuentra la especie de mangle blanco (*Laguncularia racemosa*). También que en un punto fuera del cuadrante de la parcela de tamaño variado se observaron neumatóforos de mangle negro (*Avicennia germinans*) especie que no se ha reportado en el área protegida RVSPM en otros estudios realizados.

3.3.5 RECOMENDACIONES

1. Realizar parcelas de tamaño variable en otros puntos del ecosistema manglar en el área protegida Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, para contar con mayor información en la base de datos del INAB y en el caribe guatemalteco.
2. Realizar por lo menos 2 parcelas permanentes en puntos representativos del área protegida Refugio de Vida Silvestre para contar con un registro de los datos dasométricos y físicos para futuros estudios en el área.

3.3.6 ANEXOS



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 66A. Aplicación Survey 123 en el teléfono móvil.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 67A. Mangle rojo (fleche roja) y mangle blanco (flecha blanca) identificados en una parcela de tamaño variable.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 68A. Árboles de manglar caídos a consecuencia de la tormenta Eta e Iota.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 69A. Ecosistema manglar predominado por la especie de mangle rojo.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 70A. Medición de DAP, altura y distanciamiento en las parcelas de tamaño variado.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Figura 71A. Identificación de las especies de mangle.

3.3.7 BIBLIOGRAFÍA

1. CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Guatemala). (2014). *Protocolo de monitoreo de calidad del agua en el refugio de vida silvestre Punta De Manabique*. Guatemala: CONAP, Unidad Técnica RVSPM.
2. Gómez, D.; Zacarias, C.; y Canastuj, E. (2019). *Análisis De La Dinámica De La Cobertura Forestal En El Ecosistema Manglar De Guatemala, Periodo 2000-2019, A Través De Sistema De Información Geográfica Como Línea Base De La Planificación*. (Instructivo Para El Levantamiento De Datos De Campo Para La Generación De Firmas Espectrales) Guatemala: Instituto Nacional de Bosques (INAB) y Centro Universitario de Totonicapán (CUNTOTO).
3. Herrera, A.; y Silva, R. (2014). *Identificación y cuantificación de huellas de plaguicidas persistentes, en el Sistema de Humedales y zona este Marino Costera del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, durante el año hídrico mayo 2013 – abril 2014 y el efectos Socioeconómicos* . p 13. Guatemala: DIGI, USAC.
4. INAB (Instituto Nacional de Bosques, Guatemala). (2020). *Colecta de datos del ecosistema manglar*. Recuperado el 12 de mayo del 2021 del INAB Instituto Nacional de Bosques. <https://inab-sig.maps.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=7d788ef4ec93462aab436a6f08a7585e&extent=-132.9977,-29.1396,35.7523,42.9509>
5. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala, Guatemala). (2020). *Boletín fin de semana meteorología*. Recuperado el 10 de mayo del 2021, del INSIVUMEH Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología Meteorología e Hidrología. <https://insivumeh.gob.gt/meteorologia/boletines-meteorologicos/boletin-fin-de-semana-meteorologia/2020-05-23-1230hrs/>.
6. UTRVSPM (Unidad Técnica Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, Guatemala). (2020). *Informe Técnico: Monitoreo de calidad del agua en el Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique*. Guatemala: CONAP Nororiente.





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA-FAUSAC-
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
Y AMBIENTALES -IIA-



REF. Sem. 20/2022

EL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO: "ESTIMACIÓN DE CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA Y DE LAS RAÍCES DEL ECOSISTEMA MANGLAR UTILIZANDO SENSORES REMOTOS EN EL ÁREA PROTEGIDA REFUGIO DE VIDA SILVESTRE PUNTA DE MANABIQUE, IZABAL, GUATEMALA, C.A."

DESARROLLADO POR LA ESTUDIANTE: VIRGINIA MARISOL ESTRADA RODAS

CARNE: 201502821

HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Oscar Ernesto Medinilla
Ing. Agr. David Elías Mendieta Jiménez
Ing. Agr. Juan José Castillo Mont
Ing. Forestal Danger Danilo Gómez Xutuc
Ing. Agr. César Linneo García Contreras

Los Asesores y la Dirección del Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales de la Facultad de Agronomía, hace constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y el Reglamento de este Instituto. En tal sentido pase a la Dirección del Área Integrada para lo procedente.

David Elías Mendieta Jiménez
Ing. Agr. David Elías Mendieta Jiménez
ASESOR ESPECÍFICO

Danger Danilo Gómez Xutuc
Ing. Forestal Danger Danilo Gómez
ASESOR ESPECÍFICO

Juan José Castillo Mont
Ing. Agr. Juan José Castillo Mont
ASESOR ESPECÍFICO

César Linneo García Contreras
Ing. Agr. César Linneo García Contreras
DOCENTE- ASESOR EPS



Carlos Fernando López Búcaro
Ing. Carlos Fernando López Búcaro
DIRECTOR DEL IIA

CFLB/nm
c.c. Archivo

Edificio UVIGER, Primer Nivel, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, C. A.
01012 Apartado Postal 1545,
Teléfono: 24189314 Correo electrónico: iiafausac2019@gmail.com



Ref. 2-38-2022

Guatemala 24 de Agosto de 2022

Ingeniero Agrónomo Waldemar Nufio
Decano de la Facultad de Agronomía
Presente.

Estimado Ing. Nufio:

Por este medio me permito trasladarle el documento de graduación de la estudiante VIRGINIA MARISOL ESTRADA RODAS, Carné 2015 02821, dicho documento ha sido revisado por las diferentes instancias y a criterio de esta Coordinación llena las calidades necesarias para trasladarlo a Decanatura para su revisión final, previo a obtener el imprimase.

Agradeciendo la atención a la presente.



Atte. Ing. Agr. M. A. Pedro Peláez Reyes
Coordinador Área Integrada.

cc. Secretaría de decanatura
Secretaría de área Integrada
Estudiante
Archivo

“Id y enseñad a todos”



Trabajo de Graduación:

"ESTIMACIÓN DE CARBONO ALMACENADO EN LA BIOMASA AÉREA Y DE LAS RAÍCES DEL ECOSISTEMA DE MANGLAR UTILIZANDO SENSORES REMOTOS EN EL ÁREA PROTEGIDA REFUGIO DE VIDA SILVESTRE PUNTA DE MANABIQUE, IZABAL, GUATEMALA, C.A. DIAGNÓSTICO DEL ECOSISTEMA MANGLAR DEL ÁREA PROTEGIDA REFUGIO DE VIDA SILVESTRE PUNTA DE MANABIQUE Y SERVICIOS PRESTADOS EN LA UNIDAD TÉCNICA COADMINISTRATIVA, PUERTO BARRIOS, IZABAL, GUATEMALA, C.A."

Estudiante:

Virginia Marisol Estrada Rodas

Carné:

201502821

"IMPRÍMASE"

Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes
DECANO

