

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS EN LA COBERTURA Y DISTRIBUCIÓN DE  
MANGLARES Y HUMEDALES EN EL SITIO RAMSAR USANDO  
TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA BAHÍA DE JIQUILISCO, USULUTÁN**

PRESENTADO POR:

**RAUL ERNESTO GARCÍA GALÁN**

**SAMUEL EDUARDO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**

**MIGUEL ANGEL ZECEÑA LANDAVERDE**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, JUNIO DE 2025

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR:

**MSC. JUAN ROSA QUINTANILLA**

SECRETARIO GENERAL:

**LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA**

SECRETARIO:

**ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA**

DIRECTOR INTERINO:

**ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Titulo:

**ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS EN LA COBERTURA Y DISTRIBUCIÓN DE  
MANGLARES Y HUMEDALES EN EL SITIO RAMSAR USANDO  
TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA BAHÍA DE JIQUILISCO, USULUTÁN**

Presentado por:

**RAUL ERNESTO GARCÍA GALÁN**

**SAMUEL EDUARDO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**

**MIGUEL ANGEL ZECEÑA LANDAVERDE**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**PhD. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JIMÉNEZ**

SAN SALVADOR, JUNIO DE 2025

Trabajo de Graduación Aprobado por:

**Docente Asesor:**

**PhD. CARLOS OSMÍN POCASANGRE JIMÉNEZ**

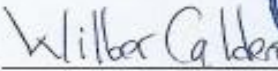
## NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, jueves 10 de abril de 2025, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 11:30 a.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Werner David Meléndez Valle  
Director Interino

  
Firma

2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia  
Secretario

  
Firma

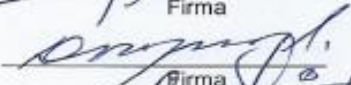


Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

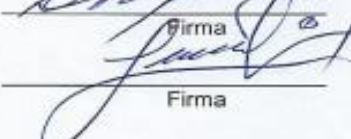
- DR. CARLOS OSMIN POCASANGRE JIMÉNEZ  
(Docente Asesor)

  
Firma

- ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE

  
Firma

- ING. LUIS ERNESTO ESCOBAR BRIZUELA

  
Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS EN LA COBERTURA Y DISTRIBUCIÓN DE MANGLARES Y HUMEDALES EN EL SITIO RAMSAR USANDO TELEDETECCIÓN SATELITAL EN LA BAHÍA DE JIQUILISCO, USULUTÁN

A cargo de los Bachilleres:

- RAÚL ERNESTO GARCÍA GALÁN
- SAMUEL EDUARDO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ
- MIGUEL ÁNGEL ZECEÑA LANDAVERDE

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 8.8  
(OCHO PUNTO OCHO )

## **Agradecimientos**

Primeramente, agradecerle a Dios quien ha sido el principal guía de este camino largo y difícil, por brindarme la sabiduría y el entendimiento a lo largo de la carrera.

A mi familia, especialmente a mi madre Martha Galán de García y mis hermanas Rosa Alba García Galán y Mirna Aracely Galán por su comprensión y estímulo constante en los momentos más difíciles de mi carrera.

A nuestro docente asesor por su dedicación y paciencia, sin sus correcciones a lo largo de nuestra investigación no hubiésemos llegado a esta instancia tan anhelada.

**RAUL ERNESTO GARCÍA GALÁN**

## **Agradecimientos**

En primer lugar, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia, quienes han sido el pilar fundamental durante todo este proceso académico. A mis padres, gracias por su sacrificio, esfuerzo constante y por cada palabra de aliento que me motivó a seguir adelante. Su amor incondicional y sus sabios consejos fueron luz en los momentos difíciles. De manera muy especial, recuerdo con amor y gratitud a mi abuelita Lucía (Q. E. P. D.), quien me cuidó con ternura como una madre y nos enseñó el valor del trabajo, el emprendimiento y la perseverancia para salir adelante en la vida.

Agradezco a Dios por brindarme la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para culminar con éxito esta importante etapa. Su guía fue esencial en cada paso, en cada reto y en cada decisión a lo largo de mi formación como Ingeniero Electricista.

Extiendo mi sincero agradecimiento al personal docente y administrativo de la universidad. Agradecimientos especiales al Dr. Carlos Osmin Pocasangre, quien como asesor fue una guía invaluable en esta etapa, brindando orientación, paciencia y consejos que dejaron huella. A cada catedrático que compartió su conocimiento con dedicación, y al personal administrativo Sra. Reina Vides por su valiosa atención, les expreso mi más sincera gratitud por contribuir significativamente a mi formación profesional.

**SAMUEL EDUARDO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**

## **Agradecimientos**

Antes que todo, agradezco a DIOS por darme siempre fuerzas para continuar en lo adverso, por guiarme en el camino de lo prudente y darme sabiduría para mejorar día a día mí que hacer profesional.

A mis padres Petrona de Jesús Landaverde y Luis Antonio Zeceña, que con su amor y trabajo me educaron y apoyaron en toda mi formación, quienes me inculcaron los principios morales que hoy me permiten con mucho esfuerzo, orgullo y satisfacción obtener un éxito más en mi preparación académica.

A mis hermanos y hermanas, por estar siempre presentes dándome el apoyo moral, los ánimos para seguir adelante, pero en especial agradezco a mi hermana Elida Zeceña por su apoyo económico que me brindo. No ha sido fácil el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos. Les agradezco, y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi hermosa familia.

Agradezco a nuestros docentes de la escuela de ingeniería eléctrica por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra carrera, de manera especial, al asesor de nuestra investigación Dr. Carlos Osmín Pocasangre Jiménez por su guía y consejos a lo largo de esta etapa. A mis compañeros de trabajo de graduación por su compromiso y entrega para todo el desarrollo de nuestro trabajo final, que, a pesar de las distintas actividades laborales, se logró concretar una etapa más.

**MIGUEL ANGEL ZECEÑA LANDAVERDE**

**Tabla de contenido**

**Índice de Figuras.....1**

**Índice de Tablas.....4**

**Resumen.....5**

**Introducción .....6**

**Objetivos .....7**

**Planteamiento del problema .....8**

**Alcances .....8**

**Justificación .....9**

**Antecedentes .....10**

**Capítulo I: Marco Teórico.....12**

**1.1 Manglares Y Humedales .....13**

**1.1.1 Manglares .....13**

**1.1.2 Humedales .....18**

**1.1.6 Características físicas del sitio .....21**

**1.1.7 Antecedentes de gestión ambiental de la unidad de conservación ..... 23**

**1.1.8 Factores Adversos que Afectan a las Características ecológicas del sitio..... 25**

**1.1.9 Designación como Sitio Ramsar Bahía de Jiquilisco .....28**

**1.2 Proyecto Copernicus y Satélite Sentinel 2 ..... 30**

**1.2.1 Proyecto Copernicus .....30**

**1.2.2 Satélite Sentinel 2..... 30**

**1.3 QGIS .....31**

**1.4 Definiciones de error numéricos para el cálculo de variaciones de cobertura.....32**

**Capitulo II: Metodología y Procedimiento .....34**

**2.1 Metodología .....35**

<b>2.2 Procedimiento .....</b>	<b>36</b>
<b>2.2.1 Delimitación geográfica de la zona de estudio.....</b>	<b>36</b>
<b>2.2.2 Imágenes satelitales RGB.....</b>	<b>38</b>
<b>2.2.3 Índice de Vegetación Diferencial Normalizado, Ecuación .....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.4 Código Python .....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.4.1 Código python para el cálculo de ndvi .....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.4.2 Código Python para el cálculo del área a partir del NDVI .....</b>	<b>45</b>
<b>Capítulo III: Resultados .....</b>	<b>46</b>
<b>3.1 Colección de Imágenes Obtenidas .....</b>	<b>47</b>
<b>3.1.1 Zona completa de estudio .....</b>	<b>47</b>
<b>3.2. Análisis de la Colección de Imágenes Obtenidas por Zona .....</b>	<b>56</b>
<b>3.2.1 Análisis de la Zona Total de estudio .....</b>	<b>56</b>
<b>3.3 Análisis General .....</b>	<b>57</b>
<b>3.4 Diagnóstico del estado actual del ecosistema del Sitio Ramsar.....</b>	<b>104</b>
<b>3.5 Visita Técnica a la Bahía de Jiquilisco .....</b>	<b>109</b>
<b>3.5.1 Imágenes tomadas con drone en visita técnica a la Bahía de Jiquilisco. ....</b>	<b>111</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>115</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>118</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Ubicación Geográfica de los Sitios Ramsar de El Salvador.....	14
<b>Figura 2</b> Ubicación Geográfica de los Sitios Ramsar de Usulután, El Salvador. ....	29
<b>Figura 3</b> Delimitación geográfica de la zona de estudio.....	36
<b>Figura 4</b> Delimitación específica del área de estudio (Sitio Ramsar Bahía de Jiquilisco, Usulután).....	37
<b>Figura 5</b> Recopilación de imágenes Satelitales del proyecto Copernicus de la European Space Agency (ESA).....	38
<b>Figura 6</b> Canales RGB (Banda Roja).....	39
<b>Figura 7</b> Canales RGB (Banda Verde).....	39
<b>Figura 8</b> Canales RGB (Banda Azul).....	40
<b>Figura 9</b> Banda NIR (Infrarrojo Cercano). ....	40
<b>Figura 10</b> Imagen que muestra la combinación de canales RGB. ....	41
<b>Figura 11</b> Recorte de capa ráster en QGIS, tomando de base el área protegida por el MARN... ..	42
<b>Figura 12</b> Imagen NDVI del año 2017 Bahía de Jiquilisco. ....	48
<b>Figura 13</b> Imagen NDVI del año 2018 Bahía de Jiquilisco. ....	49
<b>Figura 14</b> Imagen NDVI del año 2019 Bahía de Jiquilisco. ....	50
<b>Figura 15</b> Imagen NDVI del año 2020 Bahía de Jiquilisco. ....	51
<b>Figura 16</b> Imagen NDVI del año 2021 Bahía de Jiquilisco. ....	52
<b>Figura 17</b> Imagen NDVI del año 2022 Bahía de Jiquilisco. ....	53
<b>Figura 18</b> Imagen NDVI del año 2023 Bahía de Jiquilisco. ....	54
<b>Figura 19</b> Imagen NDVI del año 2024 Bahía de Jiquilisco. ....	55
<b>Figura 20</b> Resultados del cambio en la cobertura en la Zona Total de la Bahía de Jiquilisco. ....	57
<b>Figura 21</b> Ubicación geográfica del sitio el Turco.....	58
<b>Figura 22</b> Imagen satelital de la zona restaurada “El Turco” en 2015.....	59
<b>Figura 23</b> Imagen satelital de la zona restaurada “El Turco” en 2017.....	60
<b>Figura 24</b> Imagen generada en Qgis del área afectada para el año 2017.....	61
<b>Figura 25</b> Imagen generada en Qgis del área afectada para el año 2018.....	62
<b>Figura 26</b> Imagen generada en Qgis del área afectada para el año 2019.....	63
<b>Figura 27</b> Imagen generada en Qgis del área afectada para el año 2020.....	64

<b>Figura 28</b> Imagen generada en Qgis del área afectada para el año 2021.....	65
<b>Figura 29</b> Imagen generada en Qgis del área afectada para el año 2022.....	66
<b>Figura 30</b> Imagen generada en Qgis del área afectada para el año 2023.....	67
<b>Figura 31</b> Imagen generada en Qgis del área afectada para el año 2024.....	68
<b>Figura 32</b> Imagen captada por cámara del Dron de los estudiantes.....	69
<b>Figura 33</b> Ubicación geográfica del sitio El Llorón.....	71
<b>Figura 34</b> Presencia de manglares degradados para los años 2006.....	72
<b>Figura 35</b> Presencia de manglares degradados para los años 2010.....	73
<b>Figura 36</b> Presencia de manglares degradados para los años 2011.....	74
<b>Figura 37</b> Cambio gradual natural del mangle.....	75
<b>Figura 38</b> Cambio gradual natural del mangle año 2021.....	76
<b>Figura 39</b> Imagen generada en Qgis del mangle año 2017.....	77
<b>Figura 40</b> Imagen generada en Qgis del mangle año 2018.....	78
<b>Figura 41</b> Imagen generada en Qgis del mangle año 2019.....	79
<b>Figura 42</b> Imagen generada en Qgis del mangle año 2020.....	80
<b>Figura 43</b> Imagen generada en Qgis del mangle año 2021.....	81
<b>Figura 44</b> Imagen generada en Qgis del mangle año 2022.....	82
<b>Figura 45</b> Imagen generada en Qgis del mangle año 2023.....	83
<b>Figura 46</b> Imagen generada en Qgis del mangle año 2024.....	84
<b>Figura 47</b> Ubicación geográfica del sitio de estudio.....	87
<b>Figura 48</b> Imagen del avance del mar año 2015.....	88
<b>Figura 49</b> Imagen del avance del mar año 2017.....	89
<b>Figura 50</b> Imagen del avance del mar año 2019.....	89
<b>Figura 51</b> Imagen del avance del mar año 2020.....	90
<b>Figura 52</b> Imagen del avance del mar año 2021.....	90
<b>Figura 53</b> Imagen del avance del mar año 2022.....	91
<b>Figura 54</b> Imagen del avance del mar año 2023.....	91
<b>Figura 55</b> La tala de árboles y la extracción de madera.....	92
<b>Figura 56</b> Campañas de limpieza ejecutadas por los mismos habitantes.....	93
<b>Figura 57</b> Vista aérea de daño al manglar en la cercanía de la desembocadura del río lempa. ...	94
<b>Figura 58</b> Delimitación del área de estudio.....	95

<b>Figura 59</b> Área afectada para el año 2017. ....	96
<b>Figura 60</b> Área afectada para el año 2018. ....	97
<b>Figura 61</b> Área afectada para el año 2019. ....	98
<b>Figura 62</b> Área afectada para el año 2020. ....	99
<b>Figura 63</b> Área afectada para el año 2021. ....	100
<b>Figura 64</b> Área afectada para el año 2022. ....	101
<b>Figura 65</b> Área afectada para el año 2023. ....	102
<b>Figura 66</b> Área afectada para el año 2024. ....	103
<b>Figura 67</b> Cobertura y distribución del manglar de la bahía de Jiquilisco para los años 1999 y 1983. ....	105
<b>Figura 68</b> Delimitación del área que contiene los manglares y humedales. ....	106
<b>Figura 69</b> Comparación y cuantificación de las áreas. ....	107
<b>Figura 70</b> Imagen tomada desde una salinera de puerto Parada. ....	109
<b>Figura 71</b> Imagen tomada desde el muelle de puerto Parada Usulután. ....	109
<b>Figura 72</b> Integrantes del grupo de investigación en el Sitio Ramsar Bahía de Jiquilisco. ....	110
<b>Figura 73</b> Docente asesor e integrantes del grupo en zona de cultivo, dentro de la Bahía de Jiquilisco. ....	110
<b>Figura 74</b> Imagen tomada desde el muelle El Malecón, puerto El Triunfo Usulután. ....	111
<b>Figura 75</b> Imagen tomada desde el muelle El Malecón, puerto El Triunfo Usulután. ....	111
<b>Figura 76</b> Imagen tomada desde el muelle El Malecón, puerto El Triunfo Usulután. ....	112
<b>Figura 77</b> Imagen tomada desde la salinera, puerto Parada Usulután. ....	112
<b>Figura 78</b> Imagen tomada con drone de la bahía de Jiquilisco. ....	113
<b>Figura 79</b> Imagen tomada con drone de la bahía de Jiquilisco, Puerto Parada. ....	113
<b>Figura 80</b> Imagen tomada con drone de la bahía de Jiquilisco, Salinas el Potrero. ....	114
<b>Figura 81</b> Imagen tomada con drone de la bahía de Jiquilisco, Puerto Parada. ....	114

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Datos del cambio en la cobertura en la Zona Total de la Bahía de Jiquilisco. ....	56
<b>Tabla 2</b> Expansión que ha tenido la camaronera durante el periodo de estudio. ....	70
<b>Tabla 3</b> Área de recuperación del sitio el Llorón. ....	85
<b>Tabla 4</b> Áreas afectadas por el incremento del mar. ....	104
<b>Tabla 5</b> (A y B) Análisis de cobertura del sitio Ramsar. ....	108

## Resumen

En esta investigación se desarrolla el proceso de recopilación y análisis de información obtenida mediante los satélites aeroespaciales con el objetivo de identificar los cambios en la cobertura y distribución de manglares o humedales en el sitio Ramsar Bahía de Jiquilisco, Usulután aplicando series temporales en el lapso 2017-2024, utilizando recursos tecnológicos; los GIS (Geographic Information System), para la recopilación de los metadatos los cuales se obtendrán de la página oficial del proyecto Copernicus, programa aeroespacial de la EU (Unión Europea), destinado a la observación y monitorización del planeta Tierra, proporcionando la información de manera gratuita, se utilizarán las imágenes de tipo L2A tomadas mediante el satélite Sentinel 2.

Por otra parte, en la etapa del procesamiento se realizará dentro del entorno del software QGIS, que es un sistema de información geográfica de libre acceso y gratuito, que nos permitirá visualizar y analizar los datos geoespaciales mediante el lenguaje de programación Python, ampliamente utilizado en el análisis de información debido a su eficiencia en el análisis y posteriormente se realizará la comparación con el fin de lograr una visualización de los cambios de la cobertura en el área de estudio.

Los manglares y humedales son zonas que juegan un papel fundamental para el medio ambiente, ya que son hogares para muchas especies, logrando ser zonas con una gran biodiversidad, y ventajas ecológicas que proporcionan, por esta razón es de vital importancia la conservación y el cuidado de estos manglares.

## Introducción

Los manglares y los humedales son ecosistemas vitales para la vida en toda su expresión, fuente fundamental de diversidad biológica, hábitat de peces, aves, anfibios entre otros, siendo el agua uno de los factores principales que controla su ambiente. El Salvador, cuenta con 8 sitios Ramsar repartidos en más de 228 mil hectáreas de bosques húmedos, los cuales además de brindar una función global para la biodiversidad, son medios de vida para poblaciones que dependen de la pesca, asimismo, cumplen su función como barrera viva ante los eventos climáticos extremos.

La Bahía de Jiquilisco se encuentra en la región oriental de El Salvador, Usulután, formando parte de la planicie costera localizada en el extremo sur del país, discurriendo en colindancia y paralelamente a la costa del océano Pacífico, es el humedal salobre más grande de El Salvador cuya área ha sido designada como sitio Ramsar y una de las formaciones de manglar más relevantes de la costa Pacífica de Centroamérica, y a falta de estudios más detallados, se asume que juega un papel crítico como zona de cría, alimentación, refugio y producción pesquera.

Según algunos estudios, las principales amenazas a las que se ven enfrentados los manglares y los humedales son el cambio climático, los desarrollos urbanísticos, la sobreexplotación de los recursos y los cambios en el uso del suelo. Todo esto ha generado un escenario crítico, que nos debería exigir un análisis riguroso y una acción inmediata. En este contexto, el análisis de nuestra investigación presentada, proporcione una herramienta que facilite posteriores tareas de gestión ambiental de estos ecosistemas como lo es el sitio Ramsar de la Bahía de Jiquilisco.

## Objetivos

### Objetivo General

Identificar y analizar los cambios en la cobertura, y distribución de manglares y humedales del sitio RAMSAR Bahía de Jiquilisco, Usulután, aplicando métodos de teledetección a partir de las imágenes satelitales para el análisis de series temporales.

### Objetivos Específicos

- Delimitar las áreas con cobertura de los manglares y humedales de la Bahía de Jiquilisco, Usulután, para la extracción de esta cobertura utilizamos la capa Shapefile que contiene las áreas de mangle declaradas protegidas por el MARN, para las imágenes satelitales del periodo 2017 – 2024.
- Crear el conjunto de series temporales partiendo de los datos obtenidos del satélite sentinel 2, luego analizar la cobertura de manglares y humedales a lo largo del período de estudio, para observar e identificar los cambios sobre la cobertura del manglar.
- Aplicar métodos y técnicas para el procesamiento y tratamiento de imágenes satelitales, para identificar y cuantificar los cambios en la cobertura y distribución de manglares y humedales del sitio Ramsar.
- Identificar y analizar los factores naturales y antropogénicos que contribuyen a los cambios observados en la cobertura y distribución del manglar de la bahía de Jiquilisco.
- Evaluar la salud de los ecosistemas y adaptar las estrategias de conservación según sea necesario a el sitio RAMSAR.

## **Planteamiento del problema**

Los ecosistemas de los manglares y humedales desempeñan una función hidrológica, biológica y ecológica apreciable para el funcionamiento natural de sus cuencas hidrográficas y para el mantenimiento de su sistema costero al desempeñar un papel importantísimo en el control, aliviamiento o prevención de inundaciones, actuando también como excelentes protectores de suelo. Sin embargo, en los últimos años, estos manglares y humedales han estado experimentando grandes cambios significativos, debido a factores naturales y antropogénicos, provocando la degradación de estos ecosistemas. Los manglares y humedales de Jiquilisco son sitios Ramsar de gran importancia, ya que constituyen una de las extensiones continuas más grandes de este ecosistema presentes en la ecorregión de los Manglares de la Costa Norte del Pacífico. La investigación se centrará en el análisis del cambio en la cobertura y la distribución de los manglares y humedales en el sitio Ramsar Bahía de Jiquilisco Usulután durante el intervalo de tiempo de 2017 a 2024, aplicando la teledetección partiendo de imágenes satelitales extraídas del proyecto Copernicus para crear series temporales para su posterior análisis.

## **Alcances**

- El estudio estará enfocado en el desarrollo de las series temporales en el periodo de 2017 a 2024 a partir de los metadatos recolectados mediante imágenes satelitales de sentinel 2 correspondiente a la zona de estudio, posteriormente su procesamiento en el entorno de QGIS y Python para estimar el NDVI y las áreas de cobertura del manglar.
- Mediante los resultados obtenidos determinar la tendencia de la distribución y cobertura de los manglares en la zona Ramsar de bahía de Jiquilisco, y estimar los posibles factores que podrían influir en los cambios de la cobertura, como el cambio climático y las actividades humanas, se inspeccionaran los cambios tras el curso del tiempo el periodo establecido.

## **Justificación**

La Bahía de Jiquilisco constituye la mayor extensión de agua salobre y bosque salado de El Salvador, formada por numerosos esteros y canales, barras de arena y playas, un numeroso conjunto de islas de diverso tamaño, un complejo lagunar de agua dulce y bosques estacionalmente saturados conectados con el manglar. Constituye el hábitat de la gran mayoría de las aves marino-costeras del país, así como el único sitio de anidación para algunas de ellas. Sin embargo, las investigaciones en los cambios en la cobertura y la distribución de los manglares y humedales en estos sitios Ramsar son escasas.

Con esta investigación pretendemos agregar información que pueda ser útil para organismos de conservación de ecosistemas, utilizando tecnologías geoespaciales y series temporales para un periodo de tiempo en específico. Los análisis de este estudio proporcionarán información importante para la gestión y conservación de la Reserva de la Bahía de Jiquilisco y aportarán al entendimiento general de la dinámica de los manglares y humedales en esta región.

## Antecedentes

Previo a nuestro trabajo, se ha tomado en cuenta la investigación denominada, ESTIMACION DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL APLICANDO LA TELEDETECCION EN LOS MUNICIPIOS: BERLIN, ALEGRIA Y SANTIAGO DE MARIA Y CAMBIOS EN LA COBERTURA Y DISTRIBUCIÓN DE MANGLARES O HUMEDALES EN EL SITIO RAMSAR BARRA DE SANTIAGO, AHUACHAPÁN USANDO SERIES TEMPORALES EN EL PERIODO 2015-2023.

Las herramientas utilizadas para realizar estas investigaciones tienen mucho común, ya que en ambas se ha utilizado el software QGIS, ya que ofrece diversas funcionalidades sobre sistemas de información geográfica y precepción remota debido a sus principales características tales como la gestión de datos vectoriales y la creación de mapas y analizar datos especiales.

El procesamiento de las imágenes satelitales y el uso de las series temporales en este tipo de investigaciones nos ayudan a analizar los patrones o las tendencias de un fenómeno en específico.

A continuación, se detallan fragmentos importantes de la investigación CAMBIOS EN LA COBERTURA Y DISTRIBUCIÓN DE MANGLARES O HUMEDALES EN EL SITIO RAMSAR BARRA DE SANTIAGO, AHUACHAPÁN USANDO SERIES TEMPORALES EN EL PERIODO 2015-2023. Con base en las series temporales obtenidas, se observa una disminución en la cobertura de los manglares. Para entender mejor esta reducción, se ha recopilado información sobre eventos significativos que involucran factores tanto naturales como humanos en diversas áreas del sitio Ramsar durante el período de estudio. Entre estos eventos destacan el inicio de proyectos de expansión urbana en las zonas adyacentes a áreas protegidas, la presencia de sustancias tóxicas que afectan a la flora y fauna, el uso de herbicidas, así como el incremento de cultivos, especialmente de caña de azúcar. También se han identificado problemas relacionados con la explotación de la zona para acuicultura, la sobrepesca, el desequilibrio del ecosistema, incendios, tormentas tropicales y la obstrucción de bocanas y ríos debido a la construcción de represas para el riego de cultivos. Según Pdh Carlos Pocasangre, Rocío Melgar, Ronaldo Flamenco, Jonathan Ramírez (2024).

En el caso de ESTIMACION DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL APLICANDO LA TELEDETECCION EN LOS MUNICIPIOS: BERLIN, ALEGRIA Y SANTIAGO DE MARIA Y CAMBIOS EN LA COBERTURA se menciona como parte importante lo siguiente:

Para el procesamiento de las imágenes satelitales, se utilizó un modelo para la estimación de temperatura superficial a partir de los datos del espectro visible, infrarrojo y térmico, con las bandas del espectro visible e infrarrojo se determinó el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI), luego se calculó la Proporción de vegetación por pixel y se determinó la emisividad de la superficie de la tierra ( $\epsilon$ ). Para la banda térmica se obtuvo la temperatura brillo ( $T_b$ ) obteniendo la intensidad de la emisión de un cuerpo en una escala de temperaturas en grados Celsius, finalmente se calculó la temperatura superficial [LST] con un método que relaciona la ( $T_b$ ) y ( $\epsilon$ ), además de los datos de longitudes de onda de la radiación emitida, constante temperatura absoluta y energía (Boltzman), constante de proporcionalidad entre la energía de un fotón y la frecuencia de su onda electromagnética asociada (Plank) y la velocidad de la luz. Según Pdh Carlos Pocasangre, Samuel Hernández (2022).

La Bahía de Jiquilisco forma parte del sistema de paisaje «llanura costera central» de El Salvador. El 31 de octubre de 2005 se declaró como «sitio Ramsar», en el marco del convenio internacional sobre humedales, debido a su singularidad y fragilidad, por cuanto es el hábitat de la mayoría de aves marino-costeras del país. Es el único lugar de anidación para algunas de ellas, así como el lugar de destino o paso (alimentación, cambio de plumaje y descanso) de ochenta y siete aves migratorias de relevancia internacional.

En los últimos años, se han publicado muchos artículos informativos y se ha observado bastante sobreexplotación de la bahía en muchos aspectos, de los cuales se mencionan los más importantes a continuación.

- Pérdida del hábitat boscoso.
- Sobreexplotación pesquera.
- Caza ilegal de especies.
- Desarrollo urbanístico y turístico.

Como parte de nuestro estudio y para ampliar más la problemática actual, realizaremos un análisis en series temporales y así poder obtener conclusiones específicas acerca de los cambios en la cobertura y distribución de manglares y humedales en la Bahía de Jiquilisco en el periodo comprendido de 2017 a 2024.

## **Capítulo I: Marco Teórico**

## 1.1 Manglares Y Humedales

### 1.1.1 Manglares

Los manglares son un tipo de ecosistemas costeros y húmedos muy representativo de zonas tropicales y subtropicales, sobre todo de regiones pantanosas e inundadas. Son ecosistemas muy ricos en cuanto a biodiversidad, que surgen del estrecho contacto entre el ambiente terrestre y el marítimo, que incluye los ríos. Si bien los manglares están presentes en el 65% de las costas en 123 países tropicales o subtropicales alrededor del mundo (150,000 km<sup>2</sup>), los niveles de degradación y desaparición son alarmantes, llegando al 50% de pérdida de cobertura en todo el planeta. En el caso de El Salvador, los manglares se distribuyen en todas las zonas del país, pero las principales coberturas ocurren en las bahías de Jiquilisco y La Unión, Estero de Jaltepeque y Barra de Santiago, pero en la Bahía de Jiquilisco se concentra cerca de la mitad de los manglares del país, constituyéndose en el principal ecosistema de bosques salados a nivel nacional, con una dimensión de 55 km de costa, desde la desembocadura del Río Lempa hasta la desembocadura La Chepona en Jucuarán, además contiene 27 islas e islotes y 22 mil 912 hectáreas de manglares. La importancia del ecosistema de manglar y los desafíos que conllevan su restauración y conservación inclusiva, merecen un abordaje multisectorial, interinstitucional y una alta participación de la sociedad civil y especialmente local (UNAUES, 2021).

A simple vista, los bosques de mangles lucen como hileras anchas de árboles con raíces y ramas retorcidas y delgadas, que se entrelazan semisumergidas en las playas, desembocaduras de ríos y lagunas de zonas costeras tropicales y subtropicales. Sin embargo, tras esta maraña de plantas hay mucho por descubrir (Banco Mundial, 2019).

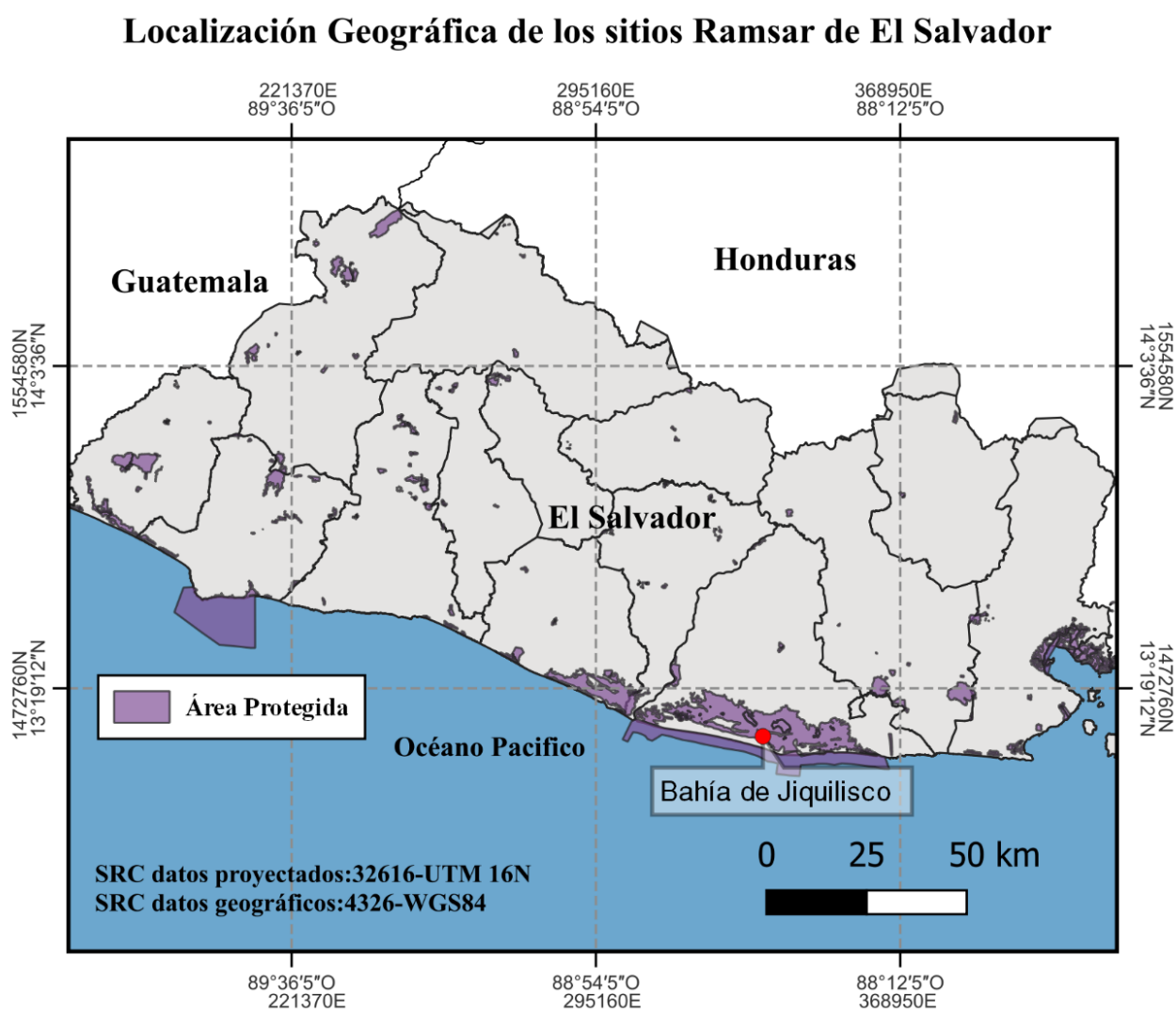
Los mangles son árboles que toleran tanto el agua dulce como el agua salada y de los pocos que se han adaptado para vivir en condiciones de inundación. Y aunque, con sus casi 60 especies, representan menos del 1% de los bosques tropicales del mundo (y menos del 0,4% de todos los bosques), son importantes pulmones del planeta (Banco Mundial, 2019).

Los bosques de mangles son vitales para muchas especies y para las comunidades de las costas, incluyendo las de América Latina y el Caribe, que cuenta con dos de los 5 países con mayor extensión de bosques de manglar del mundo: Brasil y México.

Según (FAO, 2015) se registraban 4,6 millones de hectáreas de manglares en América Latina y el Caribe, con presencia en todas las subregiones menos en el Cono Sur (Argentina, Uruguay, Chile). La mayoría de los bosques de manglares de la región se encuentra en la costa de los países del Amazonas (solo Brasil tiene el 70% de manglares en esta subregión). En el Caribe, es Cuba el que tiene la mayor cantidad de bosques de mangle.

### Figura 1

*Ubicación Geográfica de los Sitios Ramsar de El Salvador.*



Nota: Cobertura y distribución de los manglares y humedales, según el Centro Nacional de Registro y Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Elaboración Propia.

Razones importantes para tener en cuenta en el cuidado de los manglares:

#### ❖ **Reservorios de biodiversidad**

El Programa de Naciones Unidas (ONU, 2023) para el Medio Ambiente destaca que los bosques de manglares son ecosistemas ricos en biodiversidad: funcionan como una suerte de guarderías de peces (en ellos se desovan y se crían cientos de especies de peces pequeños).

Son el hogar de moluscos y crustáceos; y la pista de aterrizaje y zonas de anidamiento de gran cantidad de aves. Sus raíces, además, son el refugio de reptiles y anfibios.

Por otro lado, facilitan la salud de ecosistemas adyacentes, como los arrecifes de coral y tienen el doble de la capacidad de almacenamiento de carbono (1.000 toneladas por hectárea) que la que tienen los bosques de tierras altas y cinco veces más que los bosques de sabana.

Son fuente de materia orgánica e inorgánica que sostiene la cadena alimenticia: sus hojas se descomponen para dar alimento a peces pequeños que, a vez, son el bocado de otras especies más grandes (Banco Mundial, 2019).

#### ❖ **Proporcionan medios de vida**

Más de 100 millones de personas en las zonas tropicales e intertropicales del mundo viven cerca de manglares; y de estas, casi 30 millones viven en América Latina y el Caribe.

Para la mayoría de ellos, estos bosques constituyen el principal medio para la obtención de alimentos e ingresos y de una u otra forma, los servicios de aprovisionamiento derivados de estos ecosistemas nos benefician a todos.

En los manglares hay gran cantidad de materia prima como madera de calidad para la construcción de casas. También es muy preciada para la construcción de barcos y muelles debido a su densidad y resistencia a la putrefacción.

De sus ramas y hojas se obtienen hierbas medicinales, tinturas, entre otros. La miel del mangle es muy apreciada por su dulzura y por su matiz salado. De sus árboles también se extrae sal.

Son lugares claves para el desarrollo de la pesca familiar y de la pesca a gran escala.

Asimismo, los bosques de mangle se han convertido en parte del atractivo turístico y ecoturístico de las costas y en lugares codiciados para los deportes acuáticos.

Justamente por los grandes beneficios que aportan, surge una de las principales preocupaciones de los defensores del medioambiente: los manglares están siendo sobre explotados y cada vez hay más llamamientos para promover la necesidad de protegerlos (Banco Mundial, 2019).

### ❖ **Un muro natural para proteger las costas**

Cuando surgen las grandes tormentas, el temor se acuartela en los habitantes de las zonas costeras. No tardan en aparecer cifras que justifican el miedo: decenas de muertos, miles de millones de dólares en pérdidas, más personas con posibilidades de caer en pobreza extrema, migraciones forzadas por las pérdidas y por las condiciones climáticas. También los eventos de menos escala, pero más frecuentes tienen consecuencias para las comunidades que viven los litorales.

Los manglares son los únicos bosques del mundo que representan una suerte de muro natural que hace frente a las tormentas. Si los manglares desaparecieran, las comunidades también se quedarían sin una de las barreras de protección para mitigar la erosión del suelo (Banco Mundial, 2019).

En el informe Gerenciando las costas con soluciones basadas en la naturaleza (WAVES, 2016), expertos del Banco Mundial y de la organización The Nature Conservancy señalan, por ejemplo, que la altura de las olas se puede reducir entre un 13% y un 66% cuando existe un cinturón de manglares de 100 metros de ancho; y si este tiene 500 metros de ancho, el tamaño de las olas disminuirían entre 50 y 100%. Las especies con vegetación más densa son las más efectivas para esta tarea de contención.

Los especialistas también indican que un kilómetro de ancho de bosque de manglar rebajaría los niveles máximos de agua entre 5 y 50 centímetros, lo que en momentos de inundación puede significar una gran diferencia en cuanto a daños a la propiedad y pérdidas de vida.

### ❖ **Sin manglares, mayores pérdidas**

Luego de haber analizado 700.000 kilómetros de zonas costeras en 115 países, el experto Michael Beck, líder de la investigación por parte de la organización The Nature Conservancy, (TNC en América Latina.) destaca que:

- Sin los manglares, 18 millones más de personas sufrirían cada año los impactos de las inundaciones.

- Sin la protección natural que ofrecen los bosques de mangles, los daños a la propiedad costarían 82.000 millones de dólares más.
- Solo Vietnam, China, Filipinas, Estados Unidos y México ahorran 57.000 millones de dólares en daños a la propiedad gracias a los manglares que tienen en sus territorios.
- Si los manglares desaparecieran, un 32% más de personas se verían afectadas por las inundaciones 1 vez cada 10 años y un 16% más de personas se verían afectadas 1 vez cada 100 años.
- “Nuestros ecosistemas naturales suelen ser más valiosos para nosotros de lo que sabemos, y protegerlos beneficiará directamente tanto a las personas como a la naturaleza”, señala Beck en este blog.
- Aunque los manglares son complementarios a otras estrategias de reducción de riesgo costero como sistemas de alerta temprana, planificación para que las viviendas no se ubiquen en zonas de alto riesgo, entre otras medidas; y aunque su capacidad de protección también esté limitada por factores como la velocidad de los vientos o la altura del tsunami, estos ecosistemas resultan clave a la hora de definir estrategias para defender las costas, cuidar a las personas que las habitan y construir mayor resiliencia ante los desastres.

#### ❖ **Están desapareciendo a gran velocidad**

Pese a su importancia, un 19% de los manglares del mundo desaparecieron entre 1980 y 2005. Y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente advierte de que los manglares, amenazados por el desarrollo costero sin planificación, la tala y deforestación indiscriminada, la acuicultura sin controles, entre otros peligros como vertidos petroleros o la desecación, están siendo destruidos a un ritmo entre tres y cinco meses por encima del promedio de la deforestación global (Banco Mundial, 2019).

Durante las últimas décadas del siglo pasado, algunos países de América Latina y el Caribe perdieron entre un 25% y un 70% de la cobertura de manglar, según una investigación de Instituto de Ecología de México (Yanes-Arancibia & Lara-Domínguez, 1999). En ese país, por ejemplo, se deforestó el 60% de la superficie total de manglares. El 70% de los manglares de Ecuador desapareció y en las Antillas menores el porcentaje de deforestación alcanzaba el 25%.

### 1.1.2 Humedales

Según la Convención Ramsar que se firmó en el año de 1971 en Ramsar (Irán), los humedales son las “superficies cubiertas de agua, natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces o saladas” divididos en tres categorías: marinos y costeros, continentales y artificiales.(MARN, 2020) Los humedales son ecosistemas en los que el agua es el principal factor que controla el entorno y la vida vegetal y animal asociada al mismo. Una definición amplia de humedales incluye los ecosistemas de agua dulce, los marinos y los costeros, como los lagos y ríos, los acuíferos subterráneos, los pantanos y marismas, los pastizales húmedos, las turberas, los oasis, los estuarios, los deltas y las marismas, los manglares y otras zonas costeras, los arrecifes de coral y todos los lugares creados por el hombre, como los estanques de peces, los arrozales, los embalses y las salinas. Representan uno de los ecosistemas más valiosos de la Tierra, indispensables para los seres humanos y la naturaleza por su valor intrínseco y por los beneficios y servicios que proporcionan, incluidas sus contribuciones ambientales, climáticas, ecológicas, sociales, económicas, científicas, educativas, culturales, recreativas y estéticas al desarrollo sostenible y el bienestar de la humanidad. A pesar de que solo cubren alrededor de 6% de la superficie terrestre, son el hábitat del 40% de todas las especies de plantas y animales (Nations United, 2021).

Su diversidad biológica es crucial para la salud humana, el suministro de alimentos, el transporte y las actividades económicas, que generan empleo, como la pesca y el turismo. Los humedales son vitales para los seres humanos, para otros ecosistemas y para nuestro clima, proporcionando servicios ecosistémicos esenciales como la regulación del agua, incluyendo el control de las inundaciones y la purificación del agua. Más de 1000 millones de personas (una octava parte de la población terrestre) que viven en zonas rurales y urbanas de todo el mundo dependen de los humedales como medio de subsistencia (Nations United, 2021).

Los humedales son áreas de poca profundidad, que permanecen en condiciones de inundación o con suelo saturado con agua durante períodos considerables de tiempo. Cumplen un rol determinante en la conservación de la biodiversidad, amortiguación ante los desastres naturales como huracanes y los tsunamis, además fijan la línea de costa y resisten la erosión, por ello cumplen una importante función en la mitigación y adaptación al cambio climático (UNAUES, 2023).

El Salvador cuenta con un total de 126 humedales principales, de los cuales 91 entran en la categoría de continentales y 35 corresponden a los costero-marinos, según estudio de 2017 del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, (MARN, 2017). En esta clasificación se incluyen siete humedales reconocidos como de importancia internacional o sitios Ramsar (UNAUES, 2023).

### **1.1.3 Tipos de Humedales**

Por medio de una lista de los principales tipos de humedales se puede identificar los humedales representados en un sitio determinado y ayudar a clasificar el tipo de humedal dominante (CREHO Ramsar, 2010a).

- ❖ **Marinos:** Humedales costeros, inclusive lagunas costeras, costas rocosas, pastos marinos y arrecifes de coral.
- ❖ **Estuarinos:** Incluidos deltas, marismas de mareas y manglares.
- ❖ **Lacustres:** Humedales asociados a lagos.
- ❖ **Ribereños:** Humedales adyacentes a ríos y arroyos.
- ❖ **Palustres:** Pantanosos – marismas, pantanos y ciénagas.
- ❖ **Artificiales:** Estanques de cría de peces y camarones, estanques de granjas, tierras agrícolas de regadío, depresiones inundadas salinas, embalses, estanques de grava, piletas de aguas residuales y canales (CREHO Ramsar, 2010a).

### **1.1.4 Características físicas de los Humedales**

Existen características físicas principales que son generalmente consideradas para identificar un humedal, dentro de algunas de ellas tenemos:

- ❖ El suelo o sustrato debe ser fundamentalmente hidromórfico, no drenado; es decir saturado de agua de manera temporal o permanente.
- ❖ Al menos periódicamente, el terreno debe mantener predominantemente una vegetación acuática o hidrófita.
- ❖ La presencia de vegetación y/o organismos únicos adaptados a las condiciones húmedas.
- ❖ Zonas de transición entre la tierra y los sistemas acuáticos, el agua constantemente interactúa con la tierra y de esa manera controla el ambiente, así como la vida vegetal y animal asociada.

- ❖ Los humedales tienen límites pocos definidos; son espacios de transición, de escasa profundidad y de naturaleza cambiante en tiempo y espacio (CREHO Ramsar, 2010b).

Hay muchos tipos de humedales. Varían en función de su origen, de su tamaño, de donde se localizan, de su régimen hidrológico o de inundaciones, de las condiciones químicas del agua, de las características de la vegetación, del tipo de suelo y características de los sedimentos. Por ello, hay muchos tipos de suelo y características de los sedimentos. Por ello, hay muchos tipos de comunidades de los humedales tanto como tipos de comunidades terrestres (bosques, selvas, desiertos, matorrales pastizales, etc.) (Casasola & Infante Mata, 2016).

Se presentan en todos los climas y en todos los continentes abarcando desde una hectárea hasta miles, desde sistemas sumamente productivos hasta los muy pobres (Casasola & Infante Mata, 2016).

### **1.1.5 Zona protegida Bahía de Jiquilisco**

El territorio de la bahía de Jiquilisco pertenece al departamento de Usulután y se adscribe política y administrativamente a los municipios de Jiquilisco, Puerto El Triunfo, Usulután, San Dionisio, Concepción Batres y Jucuarán, los cuales pertenecen al mismo departamento. Los municipios a la vez se dividen en cantones y caseríos (Jiménez Pérez et al., 2004).

El área natural de la bahía de Jiquilisco se encuentra ubicada en la región oriental del Salvador, entre los 13° 15' y 13° 18' Latitud Norte y 88° 48' y 88° 15' Longitud Oeste, en un gradiente altitudinal que va de los 0 a 500 msnm, y pertenece a las cuencas hidrográficas del Lempa, El Espino, El Potrero, Nanachepa, Aguacayo, El Cacao, El Quebrado, La Poza, Grande de San Miguel, El Convento, La Ringlera, Seca y Mungía.

La Bahía de Jiquilisco constituye la mayor extensión de agua salobre y bosque salado de El Salvador. Los manglares de la Bahía de Jiquilisco desempeñan una función hidrológica, biológica y ecológica apreciable para el funcionamiento natural de sus cuencas hidrográficas (Río Lempa, Grande de San Miguel y las situadas entre estos) y para el mantenimiento de su sistema costero al desempeñar un papel importantísimo en el control, aliviamiento o prevención de inundaciones actuando también como excelentes protectores de suelo. Los manglares de Jiquilisco constituyen una de las extensiones continuas más grandes de este ecosistema presentes en la ecoregión de los Manglares de la Costa Norte del Pacífico (18.720 ha.) y a su vez poseen una influencia hidrológica

importante en el contexto de la regulación o estabilidad del clima regional. Los bosques estacionalmente saturados de Normandía (440.6 ha), Chaguantique (dos parches de 35.4 ha y 41.7 ha respectivamente) y El Tercio (43,5ha) situados en la zona norte de los manglares e incluidos dentro del humedal propuesto, constituyen uno de los últimos relictos de este tipo de comunidad en el país, siendo este tipo de bosque particularmente raro en el resto de la ecoregión debido a la sequedad dominante en ésta, a diferencia de los bosques similares propios del litoral Caribe (Jiménez Pérez et al., 2004).

En este ecosistema se han identificado las únicas poblaciones de mono araña (*Ateles geoffroyi*) presentes en el país. En esta zona se encuentra el ecosistema de vegetación sobre arenas en las dunas costero litorales, que se puede considerar como el ecosistema en mayor peligro de desaparición en todo El Salvador y es una formación que sirve de hábitat a diferentes animales en serio peligro como son las tortugas marinas. Se han reportado diferentes especies de fauna amenazada o en peligro, dentro de las que destacan el caimán (*Caimán crocodilus*), considerado en peligro según la legislación de El Salvador; el cocodrilo (*Crocodylus acutus*), vulnerable según la UICN, y en peligro según la legislación nacional; la tortuga verde (*Chelonia agassizi*), en peligro según la legislación nacional; la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*), críticamente amenazada según la UICN y en peligro según la legislación nacional; la tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*), amenazada según la UICN y en peligro según la legislación nacional; la tortuga baule (*Dermochelys coriacea*), críticamente amenazada según la UICN y en peligro según la legislación nacional (Jiménez Pérez et al., 2004).

### **1.1.6 Características físicas del sitio**

**Tipos de suelo:** Las unidades pedológicas identificadas corresponden a regosoles, y aluvisoles; suelos empantanados halomórficos, regosoles y aluviales los existentes en la llanura aluvial costera y latosoles arcillo rojizos y litosoles en la cordillera meridional costera. (Veterinarios sin Fronteras, 1996), (ALCALDÍA MUNICIPAL DE PUERTO EL TRIUNFO, 1998).

Se caracteriza el primer grupo por darse en áreas casi a nivel y ligeramente inclinadas en la planicie costera con drenaje variable, predominando las de drenaje restringido. Son suelos de transporte reciente sin desarrollo todavía o muy poco desarrollados con textura media, por lo general. Suelos con un alto potencial agrícola. Los suelos indicados en segundo lugar, corresponden a la planicie

costera con salinidad variable. Pueden ser muy húmedos y secos según su localización. Suelen ser suelos relativamente recientes sin ningún desarrollo. Su textura varía de fina a gruesa con predominio de la arenosa. Debido a la salinidad su uso agrícola es limitado pues se corresponde con el área de manglar, aunque la agricultura, en algunas zonas, se puede dar en los suelos aluviales con rendimientos medios a altos (Veterinarios sin Fronteras, 1996).

**Hidrología:** En la Bahía de Jiquilisco drenan tres cuencas hidrográficas: La del Río Lempa (la subcuenca de la desembocadura que es la que afecta directamente a la Bahía de Jiquilisco posee una superficie de 10674.125 has), la comprendida entre el río Lempa y el Grande de San Miguel (formada por varias cuencas); y la del río Grande de San Miguel (superficie de 2,246.8 km<sup>2</sup> y su curso principal mide 126.5 Km). Descendiendo desde la desembocadura del río Lempa hasta la del Río Murguía nos encontramos las cuencas hidrográficas de los siguientes ríos: El Espino o Borbollón, El Potrero, Nanachepa, Aguacayo, El Cacao, Chahuantique, El Quebrado, y el Molino. A continuación, viene el Río Grande San Miguel con toda su red de afluentes que desemboca en el lugar conocido como Estero El Desagüe. Continúan después los ríos: El Convento, La Ringlera, el Amatillo, Seca y Murguía. En las partes más llanas de suelos arcillosos de poca infiltración se favorecen las inundaciones, principalmente en la época de lluvia. La Bahía de Jiquilisco está constituida por numerosos esteros y canales (12 400 ha) sujetos al efecto de las mareas y coinciden zonas de agua dulce, salobre y salada (Jiménez Pérez et al., 2004).

**Calidad del agua:** no se tienen datos actuales concretos de calidad del agua en la Bahía de Jiquilisco, pero ninguno de los municipios cuenta con sistemas de tratamiento de aguas negras y servidas, depositándolas a los ríos o directamente a la bahía. Los ríos que desembocan en la Bahía llevan contaminación por vertidos de aguas negras domésticas y vertidos por las diferentes actividades industriales y agrícolas desarrolladas a lo largo de su cauce. Uno de los ríos más contaminados del país es el río Grande de San Miguel (ALCALDÍA MUNICIPAL DE PUERTO EL TRIUNFO, 1998), que vierte sus aguas a la Bahía de Jiquilisco. No existe ningún emisario submarino (canalización) con lo cual no se aleja el vertido de la costa mitigando su efecto. La salinidad es casi igual desde las bocanas hasta casi los 21 Km dentro de la bahía (CNR, 2003). La salinidad mínima registrada fue de 22% en el mes de octubre y la máxima de 36% en mayo (CNR,

2003). La estructura salina de la Bahía de Jiquilisco no es constante y depende de diversos factores como el aporte de agua dulce de los ríos, de la lluvia, etc.

**Temperatura y pH:** La temperatura del agua es más o menos constante manteniéndose alrededor de los 30 °C. Los valores promedios de pH son de 8.1, es decir ligeramente básico (CNR, 2003).

**Clima:** Los datos climáticos corresponden a los registros recogidos en tres estaciones meteorológicas situadas en el área: Puerto Parada, San Juan del Gozo, Puerto El Triunfo. La época de lluvias está más o menos bien definida con dos máximos en los meses de junio y septiembre, existiendo normalmente una canícula a finales de julio. Las precipitaciones pueden oscilar entre 1,660 mm en puerto Parada y 2,019 mm en Jiquilisco. La gran variabilidad de precipitaciones durante el año es importante, siendo crítica en los meses de mayo (comienzo de las lluvias), julio (canícula) y octubre (final de las lluvias). Los vientos que soplan normalmente en la zona alcanzan una velocidad promedio de 7 km/h., clasificado como muy débil. Las temperaturas medias anuales son de 28.3°C con un máximo de 36°C y siempre con temperaturas medias mensuales superiores a los 20 °C. La humedad relativa en el área es de 68% (MARROQUIN MENA, 1992).

### **1.1.7 Antecedentes de gestión ambiental de la unidad de conservación**

Si partimos de la base de que hasta la fecha la Bahía de Jiquilisco no ha sido contemplada ni concebida por las autoridades ni por la propia población, habitantes en el área, como una sola unidad en la que coexisten un ecosistema de semejante magnitud y toda la diversidad biológica presente en el área; se comprende entonces fácilmente por qué no se han adoptado medidas de gestión de manera integrada (Ignacio Díaz Blasco, 2004).

Con la anterior ley forestal (Decreto Legislativo No 268 El Salvador, 1973) es cuando se empiezan a contemplar los bosques salados desde un punto de vista legal. Desde el momento de promulgación de la ley son declarados como bienes nacionales pasando a formar parte del patrimonio forestal del Estado, el cual se reservaba el derecho de explotarlos bajo cualquier forma, siendo el MAG a través del Servicio Forestal el encargado de regular las actividades a realizarse y el encargado de la concesión o no de las licencias de aprovechamiento bien de tipo forestal o para la instalación de salineras o chacalineras.

De cualquier manera, no dejaba de ser visto nada más que simplemente como un aprovechamiento y en ningún momento como un ecosistema digno de preservarse y conservarse, al margen de que se pudieran obtener algunas utilidades en base a su manejo.

Esta situación cambia al promulgarse la Ley Forestal vigente (Decreto Legislativo No 852 El Salvador, 2002) que en su artículo primero especifica que los bosques salados quedan fuera de la regulación de la ley forestal, así como las Áreas Naturales Protegidas pasando a ser competencia del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Esta situación viene a cambiar el status de los manglares como zona forestal y los sitúa al nivel de áreas naturales protegidas incluidas en el anteproyecto de Ley Áreas Naturales Protegidas.

En el anteproyecto de Ley de Áreas Naturales Protegidas pasan a ser definidos y en el artículo 8 se indica esta vez que pasan a formar parte del Patrimonio Natural del Estado y se incluyen en él, correspondiendo al Ministerio su competencia. Hasta la fecha la ley no ha sido aprobada.

Recientemente y desde la creación del MARN se han empezado a realizar algunas acciones en Puerto Parada, Pirraya e Isla San Sebastián a través de la ONG Desarrollo Investigación y Consultoría (DEICO) que tenía un convenio firmado anteriormente con el MAG y que fue retomado por el MARN. DEICO comenzó sus acciones en 1999 mediante el proyecto CODEPPA (Comité de Desarrollo Ambiental de Puerto Parada) con las comunidades de Puerto Parada, Rancho Viejo y la Pirrayita a través de la organización de microempresas bajo el marco del desarrollo sostenible. Anteriormente ha habido actuaciones de algunas ONG's como ASPAGUA (educación ambiental, monitoreos de fauna, formación de comités ecológicos, limpieza de playas); Asociación Biólogas (educación/divulgación e interpretación ambiental, energías alternativas, viveros, manejo de desechos sólidos); FUNDESA (tratamiento de basuras) dirigida a escuelas, ADESCOS y comunidades; pero sin apenas respaldo. Veterinarios Sin Fronteras (capacitación en uso de biodigestores); y otra serie de ONG's dedicadas a aspectos de desarrollo comunitario, participación ciudadana (DEICO, 1998).

DEICO se dedicó a organizar a las ADESCO de Puerto Parada y posteriormente de haber consolidado a CODEPPA ha coordinado actividades de vigilancia, estudios, ha coordinado con instituciones de investigación, así como desarrollados proyectos alternativos (Ignacio Díaz Blasco, p33, 2004).

Con fondos de FIAES se ha estado trabajando los dos últimos años en la parte de Normandía, Chaguantique y El Tercio. En Normandía, en la parte norte del área natural la organización CENCITA lleva trabajando desde hace dos años y ha formado un grupo de guardarecursos, ha elaborado un inventario de biodiversidad e intenta trabajar con estufas mejoradas para disminuir el consumo de leñas. En el área de Chaguantique, SACDEL ha estado trabajando en línea semejante con fondos de FIAES hasta la finalización de los mismos. Ha trabajado en la creación de un centro de interpretación y el establecimiento de senderos turísticos señalizados, así como en el establecimiento de parámetros socioeconómicos en la zona. Con la cooperativa El Tercio ha estado trabajando la Asociación Salvadoreña de formación y Autodesarrollo para Repatriados de Extrema Pobreza (ASFAREP) en acciones de corte similar. (Ignacio Díaz Blasco, p33, 2004)

Como se ve, las acciones tomadas han sido más o menos aisladas y va siendo hora de trabajar con otro tipo de visión pudiendo ser esta propuesta de Plan de Manejo un paso adelante y una forma de incorporar esta área natural dentro del Corredor Biológico.

En diciembre del 2002 con fondos de la Agencia Española de Cooperación Internacional AECI- se empezó a ejecutar por parte del MARN el proyecto de “Áreas Naturales de Importancia Bioregional”, siendo el presente Plan de Manejo uno de logros alcanzado con dicho proyecto. Durante el proceso de elaboración del plan se ha logrado cambiar la visión del área dentro de la propia área y por parte de los actores implicados (Ignacio Díaz Blasco, 2004).

### **1.1.8 Factores Adversos que Afectan a las Características ecológicas del sitio**

#### **(a) Dentro del sitio Ramsar:**

**Perdida de Hábitat Boscoso:** la principal amenaza que pesa sobre la biodiversidad de la región es la pérdida constante de hábitats boscosos. Los bosques y matorrales costeros están prácticamente eliminados por el efecto del fuego, la ganadería y la agricultura. Los manglares y los bosques aluviales del norte parecen seguir un patrón de destrucción similar, aunque mucho menos marcado. La fragmentación de los bosques de la Bahía de Jiquilisco y la disminución de su superficie es un hecho constatado a lo largo de toda esta década.

**Sobreexplotación pesquera y técnicas no idóneas:** existe un gravísimo problema de pesca con explosivos a lo largo de toda la bahía (se estima que hay alrededor de 150 personas desarrollando

esta técnica de pesca ilegal) (MARROQUIN MENA, 1992). Existen graves amenazas a la biodiversidad, producidas porque los barcos arrastreros que se dedican a la pesca industrial del camarón, faenan muy cerca de la costa, afectando a las tortugas que se aproximan a anidar a estas zonas de playa, quedando atrapadas en las redes de arrastre. Las artes utilizadas (arrastre fundamentalmente) producen fenómenos de pérdida de los fondos marinos. La sobreexplotación tanto de los recursos pesqueros como de las poblaciones de algunos bivalvos (cascos de burro) y crustáceos (punches) es un hecho constatado en toda la bahía (Jiménez Pérez et al., 2004).

**Caza ilegal:** captura más o menos indiscriminada de huevos de tortugas marinas que ponen en peligro el mantenimiento de los lugares actuales de cría. La caza ilegal de garrobos, venados y cocodrilos entre otras especies es una amenaza que afecta a la fauna de la zona y a su biodiversidad.

**Contaminación:** la contaminación del recurso agua es notoria en toda la Bahía de Jiquilisco. Los principales focos de contaminación son el Río Grande de San Miguel que vierte agua dulce muy contaminada, los lugares de amarre de embarcaciones (sv.g. Puerto Varillas), residuos tóxicos de camaronerías y de las comunidades que vierten sus aguas directamente a la bahía. Existe un mal manejo de los desechos sólidos en toda la bahía, especialmente en aquellas comunidades que no tienen acceso por tierra (La Pirrayita, El Jobal Rancho Viejo) o que tienen una elevada afluencia de turismo (El Espino). Se han encontrado residuos de plaguicidas organoclorados y organofosforados en la Bahía de Jiquilisco, así como metales pesados (cobre y plomo) superiores a los niveles de concentración aceptables por la Agencia de Protección Ambiental (APA)(CNR, 2003).

**Incendios:** se producen gran cantidad de incendios provocados por la quema de las plantaciones de caña adyacentes a los bosques naturales. Otro foco importante causante de incendios son los ganaderos y recolectores de miel.

**Desarrollo Urbanístico y Turístico:** el avance de lotificaciones y construcciones sin ningún control afecta al manglar y a los ecosistemas de playa. En ocasiones las construcciones existentes suponen un deterioro del paisaje por tener un alto impacto visual. Las actividades turísticas no ordenadas causan molestias a diversos grupos de fauna.

**Sistemas productivos acuáticos:** la transformación de manglares y parches de bosque dulce en salinas y camaroneras es un problema importante que se viene observando en toda la Bahía de Jiquilisco. La extracción del “tepe” o suelo de manglar para la construcción de muros en las camaroneras impide la regeneración de los manglares deteriorados o deforestados.

**Ocupación ilegal de tierras:** la ocupación ilegal de tierras destruye e impiden la regeneración de la vegetación natural, además de suponer un grave problema de índole social (principalmente en la Isla de San Sebastián) (MARROQUIN MENA, 1992).

**Agricultura y Ganadería:** la presencia ilegal de ganado en algunas zonas degrada la vegetación y el suelo (bosque de Normandía). Uno de los grandes problemas que sufrió esta zona fue el avance de la frontera agrícola que terminó con gran cantidad de zona de bosque.

**Desastres naturales:** la zona ha sido afectada por los terremotos de enero y febrero del año 2001 que incidieron sobre la infraestructura, viviendas, servicios básicos, red productiva y los recursos naturales. La zona oriental fue la más afectada por dichos terremotos. Además, la población que habita en la Bahía de Jiquilisco se encuentra bajo la amenaza constante de inundación provocada por fenómenos naturales especialmente por los desbordamientos del río Lempa y el río Grande de San Miguel. Entre los desastres naturales el huracán Mitch provocó la pérdida de cosechas, de bienes materiales, muerte de animales y un impacto sobre el medio ambiente importante.

Entre los principales factores adversos potenciales o futuros se encuentran los planes de desarrollo turístico a gran escala y desordenados, cambios en el régimen del patrón hídrico natural por proyectos de canalización de ríos, nuevas construcciones, aumento de la extensión de las camaroneras y salineras y aumento de la sobreexplotación pesquera.

**(b) En la zona circundante:**

En esta área los problemas más relevantes son la pérdida de bosque, especialmente en la cordillera de Jucuarán por tala, quema, etc. que aumenta el riesgo de erosión de las laderas; la contaminación de los diversos cursos de agua por contaminación especialmente por agroquímicos (especialmente relevante durante las décadas de los años 60 y 70 con el cultivo de algodón, el avance de la frontera agrícola (aunque fue mucho mayor en las décadas pasadas). No existen programas que apoyen el

desarrollo de las actividades agrícolas locales de gran envergadura (productos no tradicionales, crediticios, riego, comercialización, apertura de mercados, capacitación, nuevas tecnologías) promoviendo el desempleo y problemas alimentarios que inducen a la población a aumentar la presión sobre los recursos marinos costeros y bosques dulces presentes en la zona propuesta como Ramsar; en la mayoría de los caseríos rurales la letrización es deficiente generándose problemas de contaminación del agua y ambiente. Entre los principales factores adversos potenciales o futuros son el proyecto en estudio de la canalización o desviación del río Grande de San Miguel en el marco de proyectos de desarrollo agropecuario y control de inundaciones (Jiménez Pérez et al., 2004).

### **1.1.9 Designación como Sitio Ramsar Bahía de Jiquilisco**

La Bahía de Jiquilisco forma parte del sistema de paisaje "Llanura costera central" de El Salvador. El 31 de octubre del 2005 se declaró como «Sitio Ramsar», en el marco del Convenio Internacional sobre Humedales, debido a su singularidad y fragilidad, por cuanto es el hábitat de la mayoría de aves marino-costeras del país. Es el único lugar de anidación para algunas de ellas, así como el lugar de destino o paso (alimentación, cambio de plumaje y descanso) de ochenta y siete aves migratorias de relevancia internacional (Promotursv, n.d.).

El Salvador ha designado el Complejo Bahía de Jiquilisco (63,500 hectáreas, 13°13'N 088°32'W) con efectos a partir del 31 de octubre de 2005. El Complejo Bahía de Jiquilisco constituye la mayor extensión de bosques en aguas salobres y saladas de El Salvador, y comprende numerosos estuarios y canales, dunas de arena y playas, varias islas de diferentes tamaños, un conjunto de lagunas de agua dulce y bosques saturados estacionalmente conectados a los manglares, de los que hay por lo menos 6 tipos. El sitio es hábitat de la inmensa mayoría de las aves acuáticas costeras del país y lugar de anidación de especies (Ramsar, 2005).



## **1.2 Proyecto Copernicus y Satélite Sentinel 2**

### **1.2.1 Proyecto Copernicus**

(Copernicus.) es el programa de la Unión Europea de observación y monitorización de la Tierra, que analiza el planeta y su medio ambiente en beneficio de los ciudadanos europeos. El programa, liderado por la Comisión Europea, proporciona datos de manera operacional y servicios de información de forma gratuita sobre numerosas áreas de aplicación, gracias a una gran variedad de tecnologías, que van desde los satélites en el espacio a los sistemas de medición en tierra, mar y aire

La puesta en marcha de los servicios de Copernicus ha sido asignada a varios proyectos de investigación financiados por el «Séptimo Programa Marco FP7», mientras que las actividades relacionadas con la infraestructura de observación son desarrolladas por la Agencia Espacial Europea, la Agencia Europea de Medio Ambiente y los Estados Miembros.

La sostenibilidad de los servicios operativos de Copernicus es posible a través de la financiación de la Unión Europea, organismos intergubernamentales y los propios Estados Miembros, considerando a estos servicios como "bienes públicos" que deben ser por tanto accesibles para cualquier organización o ciudadano particular (Copernicus, n.d.).

### **1.2.2 Satélite Sentinel 2**

La misión Sentinel-2 se basa en una constelación de dos satélites, ambos orbitando la Tierra a una altitud de 786 km, pero separados 180°. Esta configuración optimiza la cobertura y los tiempos de revisita global (ESA, n.d.). Las imágenes satelitales multiespectrales, como es el caso del Sentinel-2, tiene diferentes niveles de procesamiento los cuales designan el grado de tratamiento que estas tienen. Esta información es relevante a la hora de implementar una cadena de trabajo para la obtención de un determinado producto (Delgado Álvarez, 2018).

Se sugiere considerar la siguiente nomenclatura:

Nivel-0: Llamada también data raw o cruda, se refiere a la data adquirida del satélite sin ningún tipo de procesamiento. Propiamente dicho, en este nivel, la data satelital no es aún una imagen (ráster) sino únicamente un conjunto de bytes.

- Nivel-1: Es la data satelital procesada con algunas correcciones básicas (radiométrica, geométrica, remuestreo, etc.). Para el caso de las imágenes Sentinel-2, estas suelen ser

distribuidas con Nivel de tratamiento 1C (Level-1C), ello es, en valores de reflectancia en el Tope de la Atmósfera (TOA)(Delgado Álvarez, 2018).

- Nivel-2: Se refiere a la data obtenida a partir de la corrección atmosférica de la data Sentinel-2 Level-1C. La data con nivel de procesamiento 2A (Level-2A) suele ser referida también como Reflectancia en la Superficie (SR o Surface Reflectance) o como reflectancia Bajo la Atmósfera (BOA). De ser necesario, esta data puede ser empleada para la obtención de Índices Normalizados (NDVI, NDWI, NBR, etc.), Ratios (B8/B4, B4/B3, etc.) (Delgado Álvarez, 2018).
- Nivel-3: Es la data obtenida a partir producto de un mosaico espacio-temporal. Este tipo de información es generada para estudios que buscan analizar un determinado fenómeno dentro de intervalo de tiempo (mensual, semestral o anual), como es el caso de la deforestación (Delgado Álvarez, 2018).

En el caso de la investigación se utilizan imágenes de nivel 2, esto refiere a la data obtenida a partir de la corrección atmosférica de la data Sentinel-2 Level-1C. La data con nivel de procesamiento 2A (Level-2A) suele ser referida también como Reflectancia en la Superficie (SR o Surface Reflectance) o como reflectancia Bajo la Atmósfera (BOA). De ser necesario, esta data puede ser empleada para la obtención de Índices Normalizados (NDVI, NDWI, NBR, etc.), Ratios (B8/B4, B4/B3, etc.) (Delgado Álvarez, 2018).

### 1.3 QGIS

La tecnología GIS (Sistemas de Información Geográfica), constituye una de las herramientas adecuadas de manejo de información, ya que usa el modelo de base de datos georelacional asociando un conjunto de información gráfica en forma de planos/mapas con bases de datos digitales. Esto, sintéticamente quiere decir que los GIS tienen como característica principal que el manejo de la información gráfica y alfanumérica se realiza de forma integrada, dentro de un mismo sistema informático, pudiendo abordar aspectos de alta complejidad relacionando datos de distintos orígenes (CEUPE - European Business School, n.d.).

QGIS es un sistema de información geográfica (SIG) de código abierto fácil de usar con licencia pública general GNU. Se ejecuta en Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android y admite numerosos formatos y funcionalidades vectoriales, ráster y de bases de datos. También ofrece

diversas funcionalidades sobre sistemas de información geográfica y percepción remota debido a sus características principales admite diferentes formatos de datos representados vectoriales y ráster, con un nuevo soporte de formato que se agrega fácilmente mediante la arquitectura del complemento (QGIS, n.d.).

QGIS proporciona un número cada vez mayor de capacidades proporcionadas por funciones y complementos principales. Puede visualizar, administrar, editar, analizar datos y componer mapas imprimibles. Puede realizar análisis de datos espaciales en bases de datos espaciales y otros formatos compatibles con OGR. QGIS actualmente ofrece herramientas de análisis vectorial, muestreo, geoprocetamiento, geometría y gestión de bases de datos. Se puede componer mapas y explorar datos espaciales interactivamente con una GUI amigable (QGIS, n.d.).

Por lo general, las diferentes versiones de QGIS tienen nombres de ubicaciones donde se han celebrado reuniones o congresos de la Comunidad de desarrolladores. QGIS está desarrollado en C++, usando la biblioteca Qt para su interfaz gráfica de usuario. QGIS permite la integración de herramientas desarrolladas tanto en C++ como en Python (QGIS, n.d.).

Las imágenes por percepción remota son una herramienta para la cartografía, la que resulta indispensable para el monitoreo de bosques de mangle y un valioso apoyo para la conservación y restauración de ambientes naturales. En la actualidad, distintos investigadores en el mundo utilizan fotografías aéreas e imágenes satelitales para la elaboración de mapas de la dinámica de cambio de las coberturas de uso de suelo y vegetación (Buendía Buendía et al., 2021).

#### **1.4 Definiciones de error numérico para el cálculo de variaciones de cobertura**

Los errores numéricos surgen del uso de aproximaciones para representar operaciones y cantidades matemáticas exactas. Estas incluyen los errores de truncamiento que resultan del empleo de aproximaciones como un procedimiento matemático exacto, y los errores de redondeo que se producen cuando se usan números que tienen un límite de cifras significativas para representar números exactos (Chapra & Canale, n.d.).

Para ambos tipos de errores, la relación entre el resultado exacto, o verdadero, y el aproximado está dada por:

$$\text{Valor verdadero} = \text{Valor aproximado} + \text{error} \quad (1)$$

Reordenando la ecuación (1) se encuentra que el error numérico es igual a la diferencia entre el valor verdadero y el valor aproximado, es decir:

$$E_t = \text{Valor verdadero} - \text{Valor aproximado} \quad (2)$$

Donde  $E_t$  se usa para denotar el valor exacto del error. El subíndice t indica que se trata del error “verdadero” (true). Como ya se mencionó brevemente, esto contrasta con los otros casos, donde se debe emplear una estimación “aproximada” del error.

Una desventaja en esta definición es que no toma en consideración el orden de la magnitud del valor que se estima (Chapra & Canale, n.d.):

$$\text{Error relativo fraccional verdadero} = \frac{\text{error verdadero}}{\text{valor verdadero}}$$

Donde, como ya se mencionó en la ecuación (2), error = valor verdadero – valor aproximado. El error relativo también se puede multiplicar por 100% para expresarlo como

$$\varepsilon_t = \frac{\text{error verdadero}}{\text{valor verdadero}} \cdot 100\% \quad (3)$$

Donde  $\varepsilon_t$  denota el error relativo porcentual verdadero.

## **Capitulo II: Metodología y Procedimiento**

## 2.1 Metodología

La aplicación de las técnicas de teledetección nos ha demostrado que son de gran importancia con respecto a la monitorización de las diversas variables ambientales y, por otra parte, la gestión de recursos naturales. La capacidad de obtener datos espaciales de forma no invasiva, gratuita y en grandes áreas geográficas permite realizar estudios detallados sobre fenómenos que de otro modo serían difíciles de analizar. En esta investigación, se emplean imágenes satelitales Sentinel 2 de alta resolución para estudio de los cambios en la cobertura y distribución de manglares del sitio Ramsar Bahía de Jiquilisco, El principal objetivo es evaluar la evolución temporal de la cobertura del manglar.

En esta investigación se muestra el análisis detallado de series temporales, generadas a partir de la recopilación de imágenes satelitales obtenidas de la plataforma Sentinel-2 desde la página oficial del proyecto operativo copernicus (Copernicus) de la unión europea, con el objetivo de explorar patrones y tendencias a lo largo del tiempo para llegar a conclusiones de una manera específica y concreta, se extraen las imágenes del nivel L2A enfocado en el área de estudio en distintas fechas a lo largo del intervalo de tiempo entre 2017 y 2024 con un filtro del 30% de nubosidad, teniendo en consideración que las imágenes satelitales son afectadas por una serie de errores, interferencias o alteraciones que será necesario corregir, para que la información que se quiere obtener no aparezca distorsionada, por lo tanto, se les realiza el pre-procesamiento basado en el complemento SCP del software Qgis para aplicar las diferentes correcciones a las imágenes obtenidas, seguidamente se calcula el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) (Cherlinka, 2019) para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja, con el fin de poder realizar un estudio sobre la cobertura y distribución de manglares y humedales en la zona de la bahía de Jiquilisco, Usulután, el procesamiento de las imágenes correspondientes a estas zonas se realiza por medio de Python y su posterior comparación con el fin de lograr una visualización de los cambios en el área de estudio.

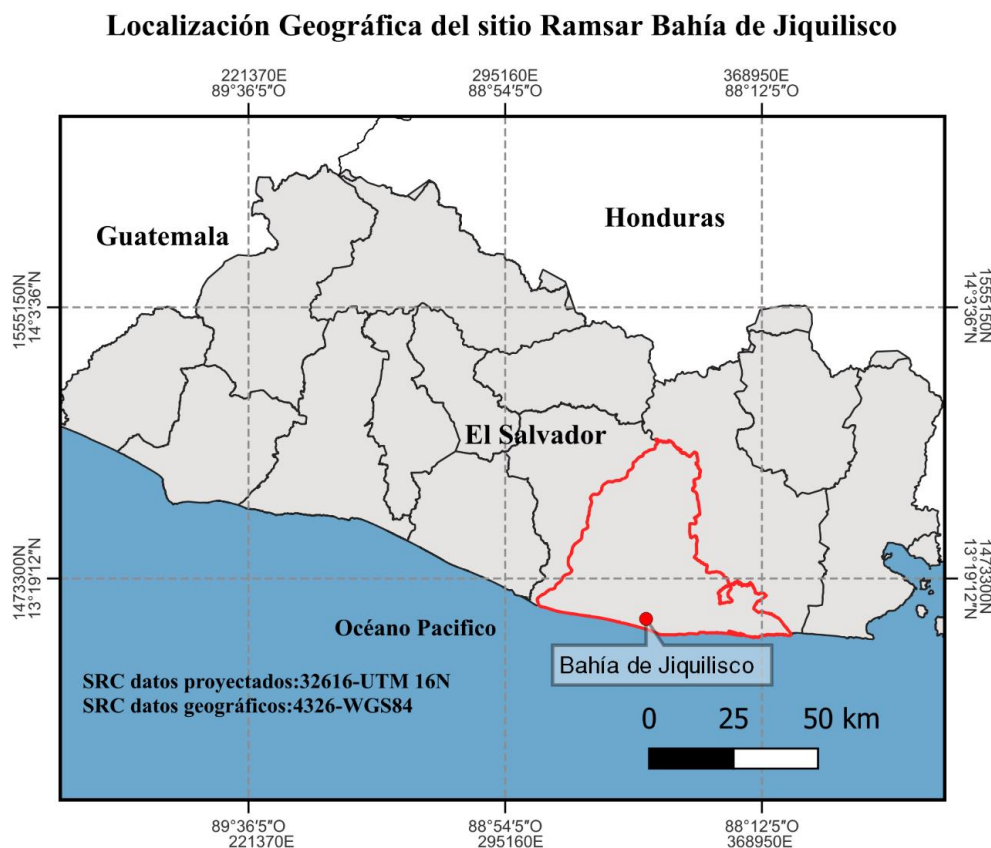
## 2.2 Procedimiento

Primeramente, para llevar a cabo este análisis se debe georreferenciar y delimitar el área geográfica de interés, para obtener un mejor enfoque de nuestra área de estudio, posteriormente extraemos un conjunto de imágenes del satélite sentinel 2 L2A aplicándole un filtro de 30% de nubosidad y fecha específica que nos proporciona la página oficial del proyecto Copernicus (Copernicus), programa aeroespacial de la EU (Unión Europea). Luego se utilizará el software (QGIS) la cual es una herramienta clave en el tratamiento y procesamiento de imágenes satelitales, aplicando los complementos como Semi-Automatic Classification Plugin para corrección de las imágenes y OpenStreetMaps para referenciar las imágenes satelitales.

### 2.2.1 Delimitación geográfica de la zona de estudio

#### Figura 3

*Delimitación geográfica de la zona de estudio.*



Nota. Área geográfica de estudio (Sitio Ramsar Bahía de Jiquilisco, Usulután, El Salvador).

**Figura 4**

*Delimitación específica del área de estudio (Sitio Ramsar Bahía de Jiquilisco, Usulután).*



Nota. Ubicación geográfica de la zona de la Bahía de Jiquilisco. Elaboración Propia.

La Bahía de Jiquilisco está localizada al sur de los municipios Usulután Oeste y Usulután Este, El Salvador, La bahía cubre al menos 55 kilómetros de la línea costera del Pacífico de El Salvador y tiene un área total de más de 400 kilómetros cuadrados. Por otra parte, En la Bahía de Jiquilisco, el 57% de la superficie total está cubierto por manglares. Esta región contiene los estuarios más importantes en la costa del Pacífico de Centroamérica. La más extensa es de 53 kilómetros y se extiende de Bocana el Bajón hasta San Juan del Gozo. (Trigueros, 2012).



**Figura 6**

*Canales RGB (Banda Roja).*



Nota. Banda RGB (Red). Elaboración Propia.

**Figura 7**

*Canales RGB (Banda Verde).*



Nota. Banda RGB (Green). Elaboración Propia.

**Figura 8**

*Canales RGB (Banda Azul).*



Nota. Banda RGB (Blue). Elaboración Propia.

**Figura 9**

*Banda NIR (Infrarrojo Cercano).*



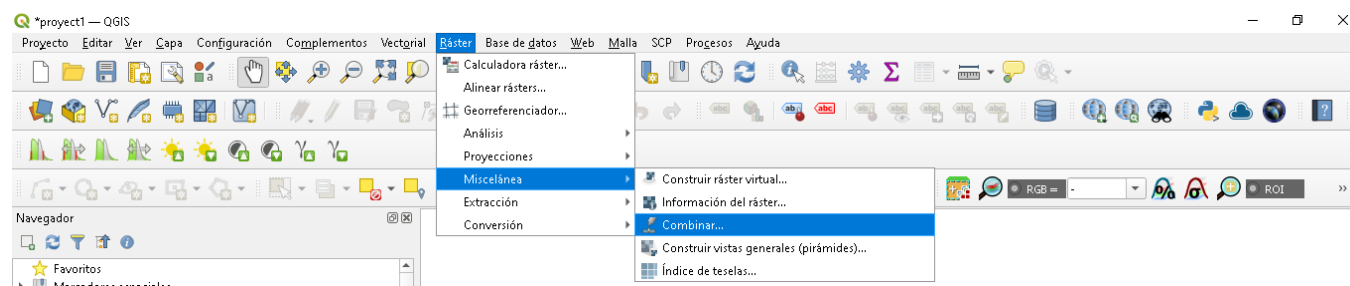
Nota. Elaboración Propia.

Los filtros o composiciones RGB de imágenes satélite, son una de las técnicas de análisis en la teledetección que se emplea para identificar elementos territoriales como la vegetación, masas de agua, etc. El paso de cada una de las bandas por los tres canales RGB resultará en una combinación de imágenes satélite para formar una imagen a color natural o a falso color, realzando elementos muy concretos para su posterior estudio y análisis gracias a su comportamiento en el espectro electromagnético (Geoinnova, 2019).

Para crear la composición de la imagen RGB, utilizamos la opción de combinación de capa ráster en el entorno de software Qgis.

### Figura 10

*Imagen que muestra la combinación de canales RGB.*



Nota. Combinación de Bandas RGB. Elaboración Propia.

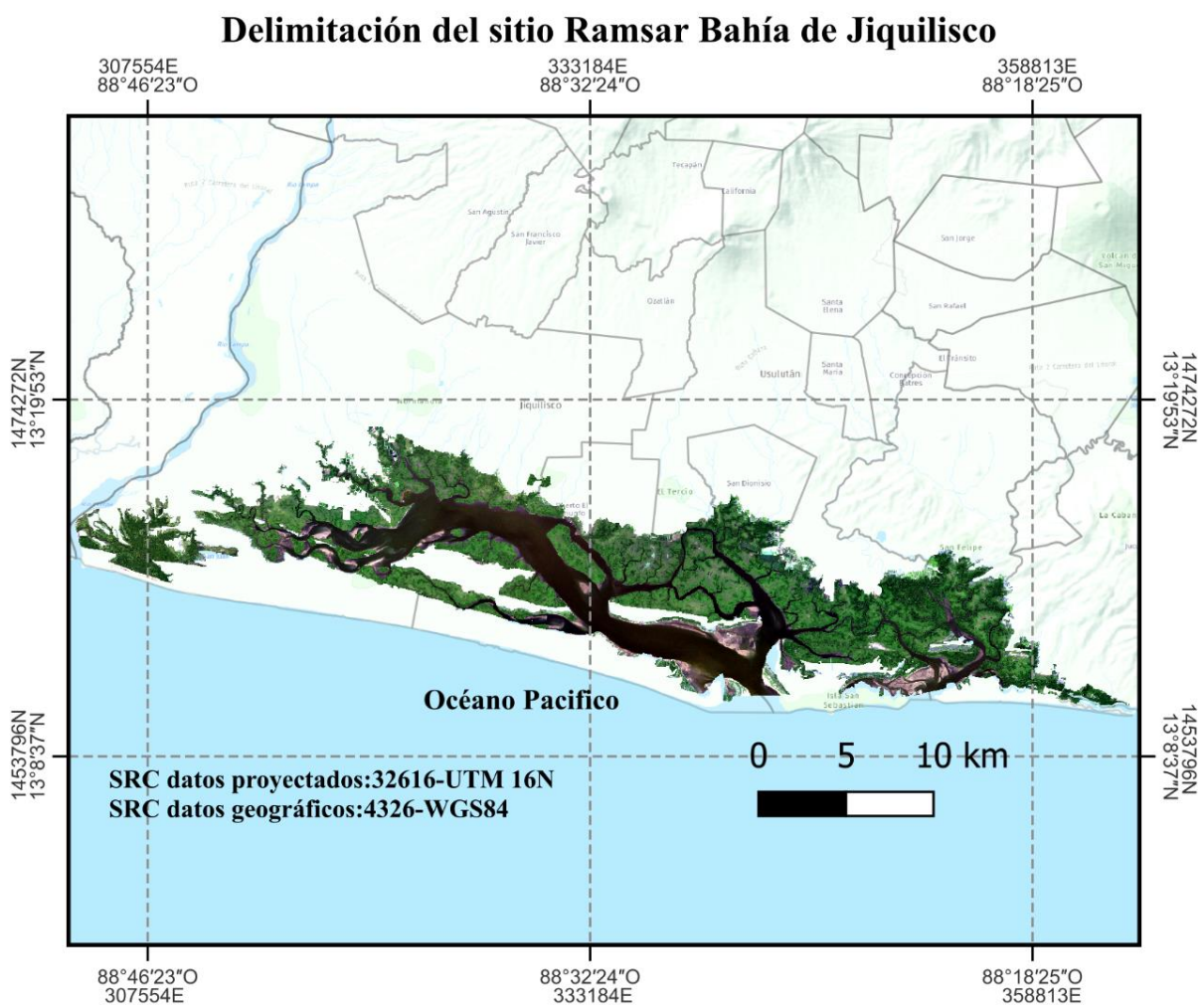
Tomando en consideración que las imágenes extraídas de la colección L2A de Sentinel 2 son imágenes en formatos jp2, son imágenes de alta resolución contienen una gran cantidad de información, lo que provoca que el proceso de filtrado consuma cantidades en recursos del equipo informático, por lo tanto, para reducir el tiempo del procesamiento de las imágenes mediante el código, se realiza un recorte de capa ráster para cada imagen obtenida para

delimitar el área de interés, utilizando la herramienta de recorte por máscara de QGIS donde la imagen base será la imagen de composición RGB.

Se realiza el corte de la capa combinada en base a la capa shape la cual contiene los polígonos declarados como área protegida por el MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador).

### Figura 11

*Recorte de capa ráster en QGIS, tomando de base el área protegida por el MARN.*



Nota. Capa ráster en Qgis. Elaboración Propia.

### 2.2.3 Índice de Vegetación Diferencial Normalizado, Ecuación

El índice de vegetación diferencial normalizado o índice NDVI, responde a uno de los parámetros calculados mediante el juego de bandas para el estudio de cubiertas vegetales. Su fundamento radica en el análisis de los valores de reflectancia de longitudes de onda en diferentes secciones del espectro electromagnético. Más concretamente en la banda visible del rojo y en la banda del infrarrojo cercano. Su resultado te ayudará a identificar de manera rápida la distribución y el tipo de vegetación en imágenes aéreas (Cherlinka, 2019).

El índice de NDVI, se calcula por la ecuación (1):

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (4)$$

### 2.2.4 Código Python

Para realizar el filtrado se desarrolló un código en lenguaje de Python para el cálculo del NDVI y para el cálculo del área a partir de este.

#### 2.2.4.1 Código python para el cálculo de ndvi

```

1. #ZONA RAMSAR NDVI
2. from osgeo import gdal
3. import numpy as np

4. # obtenemos la capa actual que se llama del área de trabajo
5. capa =
QgsProject.instance().mapLayersByName("2024BAHIAJIQUILISCO")[0]
6. ruta_capa = capa.source()

7. # abrir la capa mediante GDAL
8. imagen_ds = gdal.Open(ruta_capa)

9. # Lee bandas roja e infrarrojo cercana
10. red_band =
imagen_ds.GetRasterBand(1).ReadAsArray().astype(np.float32)

```

```
11. # Band 3 = es banda roja
12. nir_band =
    imagen_ds.GetRasterBand(4).ReadAsArray().astype(np.float32)
13. # Band 4 = es la banda infrarroja cercana
14. # Se identifican como (1) y (4) para llamar las bandas

15. # Se calcula el NDVI aplicando la formula siguiente
16. ndvi = (nir_band - red_band) / (nir_band + red_band)

17. # Se aplica umbral asumiendo del 0.4 y 1 para el ndvi
18. umbral_manglares = 0.4
19. manglares = ndvi > umbral_manglares

20. # Se aplica la máscara a las bandas B3 y B4
21. red_manglares = np.where(manglares, red_band, 0)
22. nir_manglares = np.where(manglares, nir_band, 0)

23. # Calculo el NDVI solo en las áreas con manglares
24. ndvi_manglares = np.where(manglares, (nir_manglares -
    red_manglares) / (nir_manglares + red_manglares), 0)

25. # Ruta de la imagen de salida
26. output_path = 'E:/TESIS/NDVI/2024BAHIAJIQUILISCONDVI.tif'

27. # Crear objeto de imagen con GDAL
28. driver = gdal.GetDriverByName('GTiff')

29. ndvi_ds = driver.Create(output_path, imagen_ds.RasterXSize,
    imagen_ds.RasterYSize, 1, gdal.GDT_Float32)

30. # Escribe el NDVI en la imagen de salida
31. ndvi_ds.GetRasterBand(1).WriteArray(ndvi_manglares)

32. #Se establece información geoespacial
33. ndvi_ds.SetProjection(imagen_ds.GetProjection())
34. ndvi_ds.SetGeoTransform(imagen_ds.GetGeoTransform())

35. # Cierra los datasets
36. imagen_ds = None
37. ndvi_ds = None

38. print("NDVI calculado y guardado en:", output_path)

39. # Abrir la imagen de salida del NDVI con GDAL
40. ndvi_ds = gdal.Open(output_path)

41. # Lee el NDVI como un array numpy
42. ndvi_array =
    ndvi_ds.GetRasterBand(1).ReadAsArray().astype(np.float32)
43. # Cuenta los píxeles de manglares (píxeles con valor distinto
    de cero)
44. pixeles_manglares = np.count_nonzero(ndvi_array)
```

```

45. # Obtener la resolución espacial de la imagen
46. resolución_x = ndvi_ds.GetGeoTransform()[1]
47. resolución_y = ndvi_ds.GetGeoTransform()[5]
48. # Cierra el dataset
49. ndvi_ds = None

```

#### 2.2.4.2 Código Python para el cálculo del área a partir del NDVI

```

1. #CALCULO DEL AREA NDVI DEL SITIO RAMSAR
2. from osgeo import gdal
3. import numpy as np

4. # Ruta de la imagen de salida del NDVI
5. output_path = 'E:/TESIS/NDVI/2024BAHIAJIQUILISCONDVI.tif'

6. # Abrir la imagen de salida del NDVI con GDAL
7. ndvi_ds = gdal.Open(output_path)

8. # Lee el NDVI como un array numpy
9. ndvi_array =
  ndvi_ds.GetRasterBand(1).ReadAsArray().astype(np.float32)

10. # Cuenta los píxeles de manglares (píxeles con valor distinto
    de cero)
11. pixeles_manglares = np.count_nonzero(ndvi_array)

12. # Obtener la resolución espacial de la imagen
13. resolución_x = ndvi_ds.GetGeoTransform()[1]
14. resolución_y = ndvi_ds.GetGeoTransform()[5]
15. # Calcula el área de cada píxel en metros cuadrados
16. area_pixel_m2 = abs(resolución_x * resolución_y)

17. # Calcula el área cubierta por manglares en metros cuadrados
18. area_manglares_m2 = pixeles_manglares * area_pixel_m2

19. print("Área cubierta por manglares en la imagen de salida:",
    area_manglares_m2, "metros cuadrados")

20. # Cierra el dataset
21. ndvi_ds = None

```

Al procesar las imágenes mediante el primer código obtenemos la imagen NDVI, con el segundo código cuantificar numéricamente el área cubierta por los píxeles que son reconocidos como población vegetal de mangle que posteriormente se anotan para generar la serie temporal, en la cual se logra visualizar el cambio que ha tenido las zonas con presencia de manglares en los periodos entre 2017 y 2024.

### **Capitulo III: Resultados**

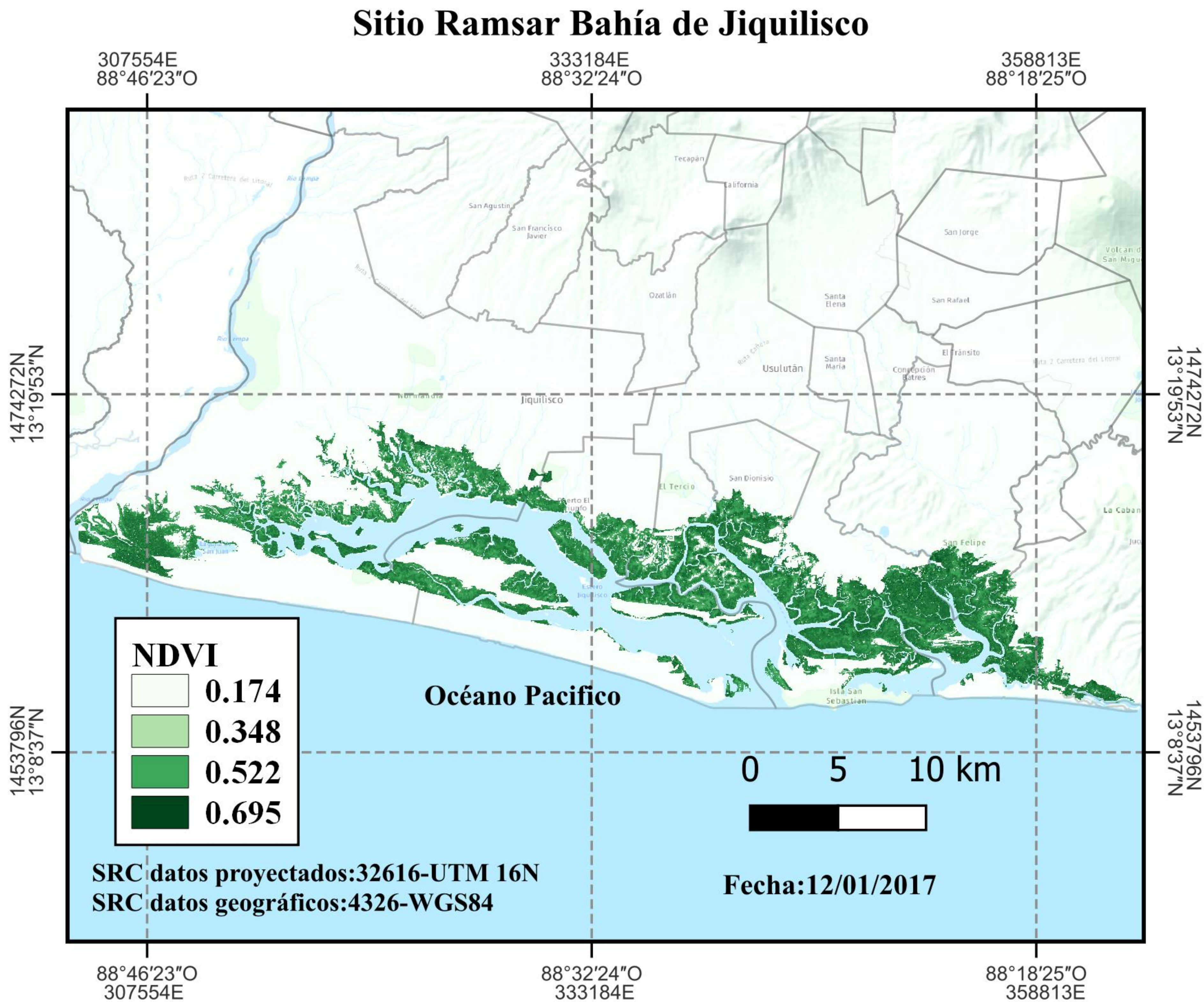
### **3.1 Colección de Imágenes Obtenidas**

A continuación, se presentan los resultados de la investigación. Durante el desarrollo del estudio específicamente en la zona Ramsar de Bahía de Jiquilisco. Por lo tanto, se muestra una serie de imágenes obtenidas.

#### **3.1.1 Zona completa de estudio**

Figura 12

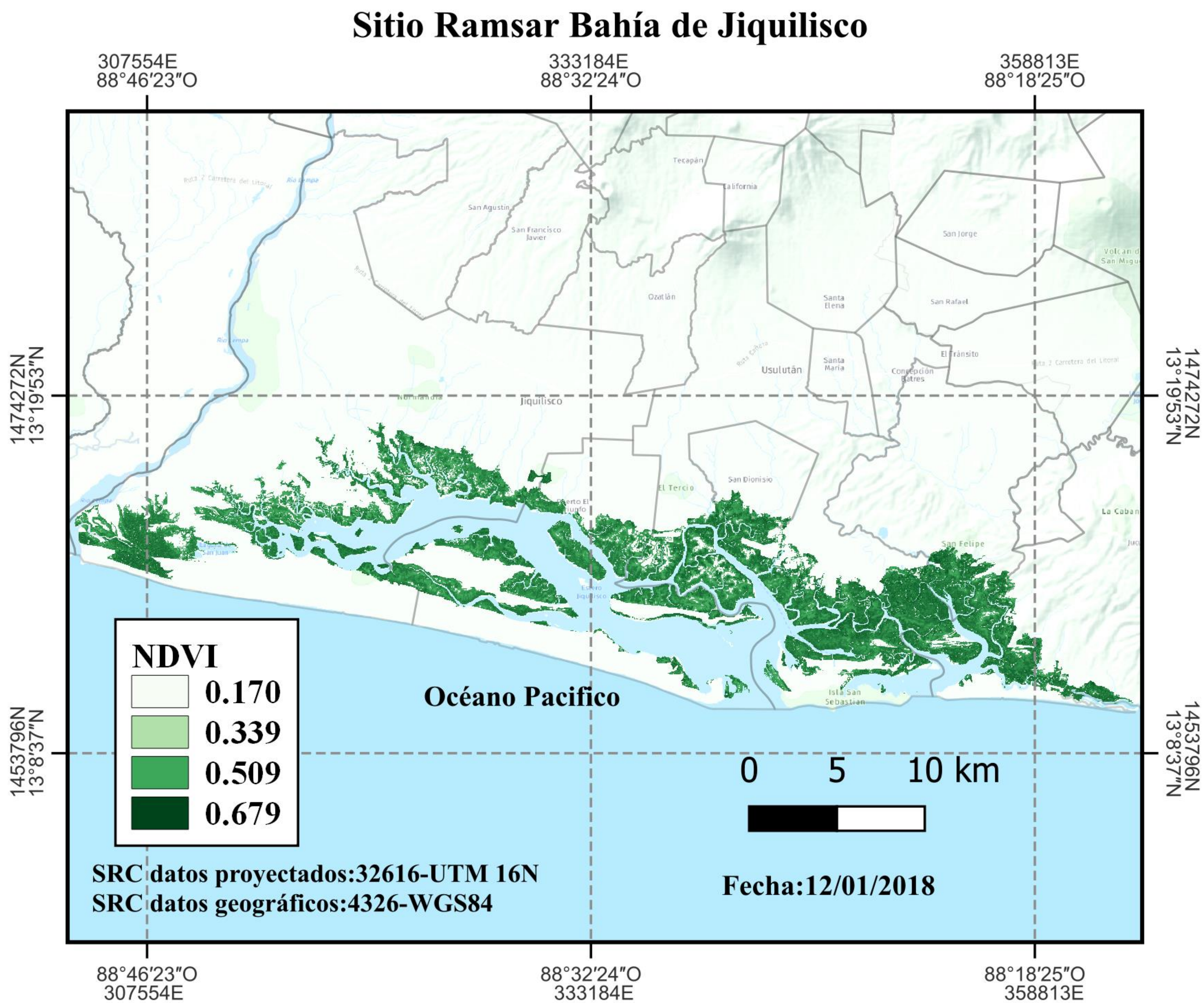
Imagen NDVI del año 2017 Bahía de Jiquilisco.



Nota. En el año 2017 se registraron 189.05 km<sup>2</sup> (27,049.8 mz) de cobertura de vegetación, con NDVI > 0.5, indicando alta densidad de vegetación saludable. Elaboración Propia.

Figura 13

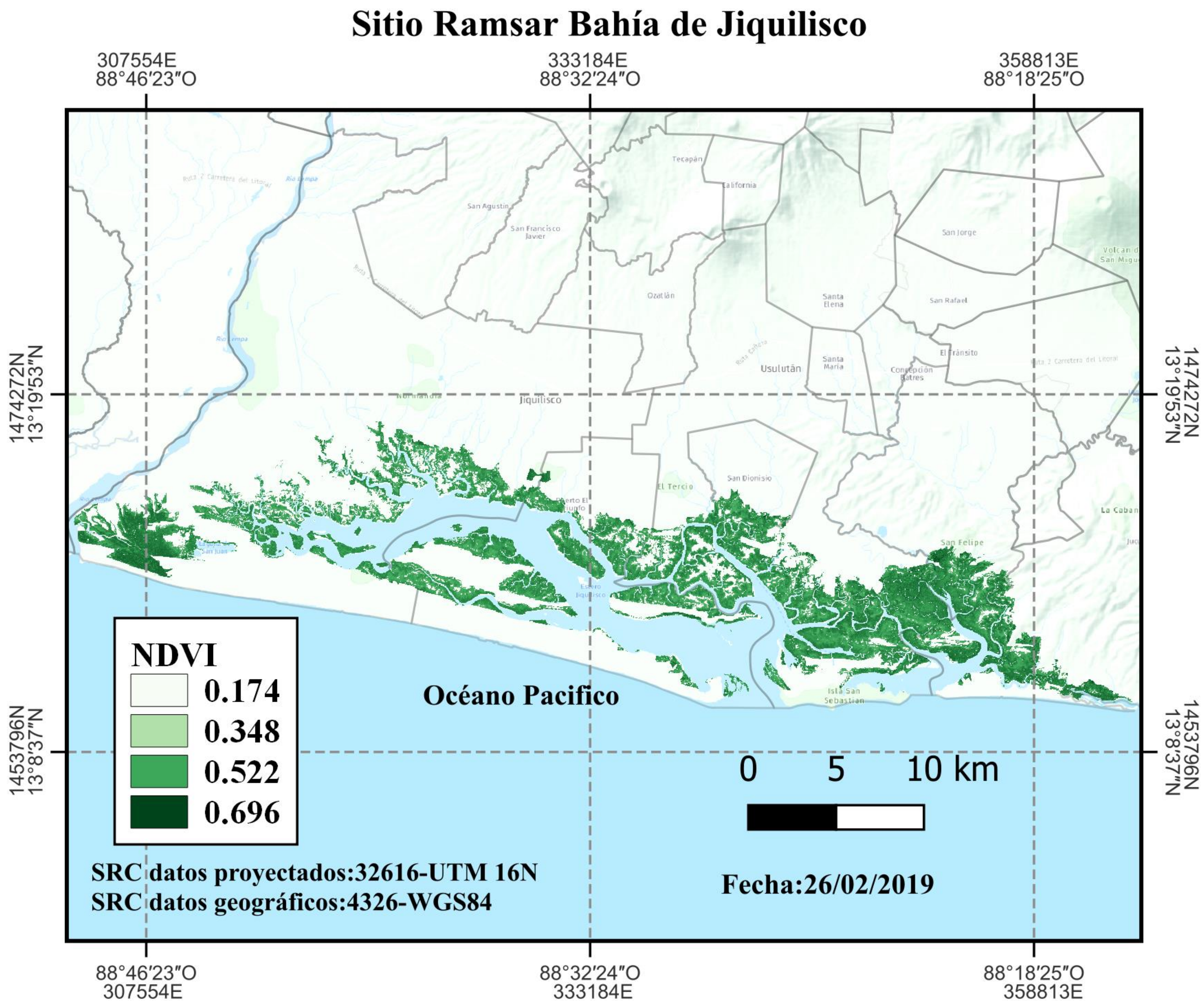
Imagen NDVI del año 2018 Bahía de Jiquilisco.



Nota. En el año 2018 se registraron 183.71 km<sup>2</sup> (26,285.74mz) de cobertura de vegetación, con NDVI > 0.5, indicando alta densidad de vegetación saludable. Elaboración Propia.

Figura 14

Imagen NDVI del año 2019 Bahía de Jiquilisco.

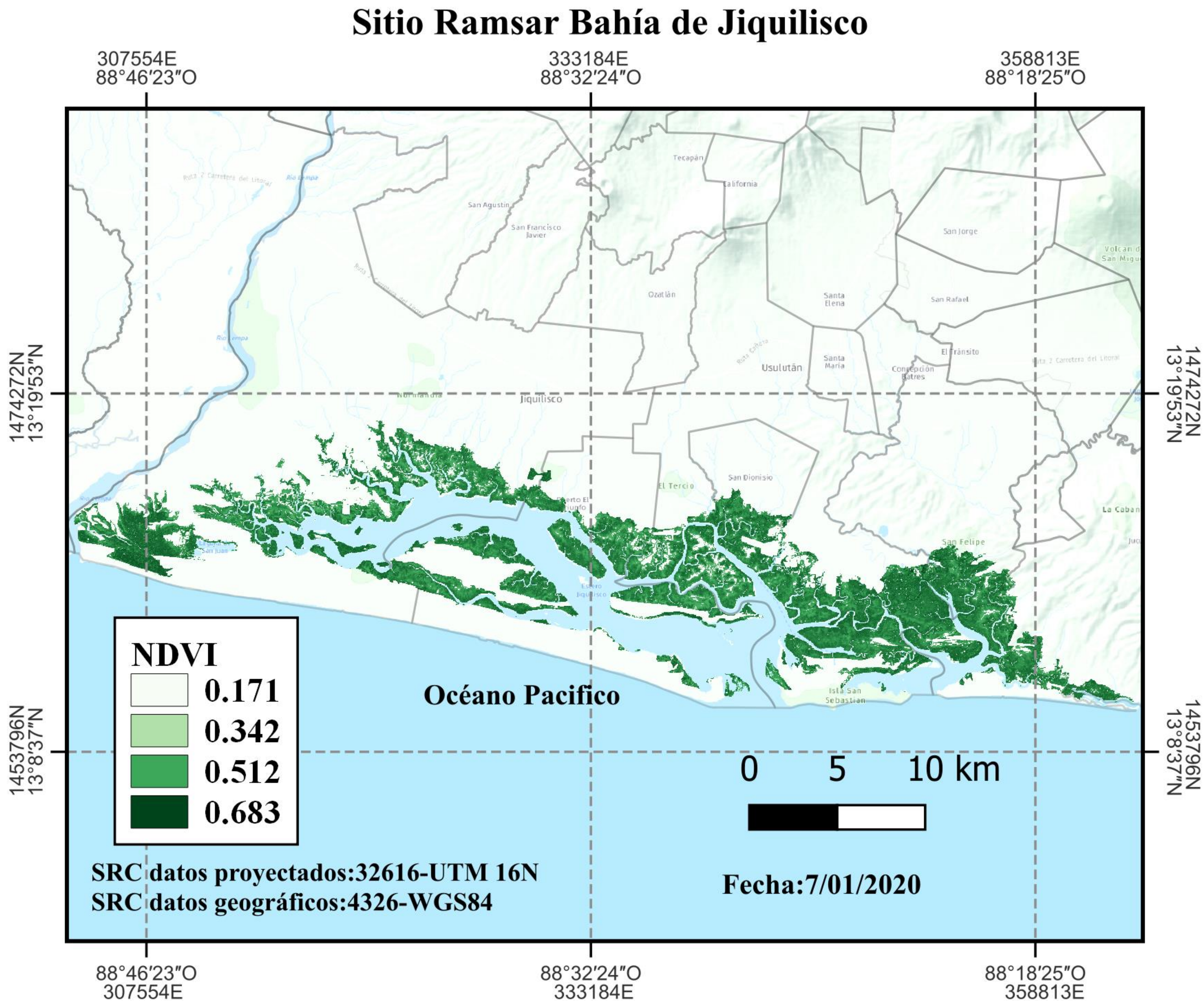


Nota. En el año 2019 se registraron 168.77 km<sup>2</sup> (24,148.085 mz) de cobertura de vegetación, con NDVI > 0.5, indicando alta densidad de vegetación saludable. Elaboración Propia.

Sistema de Conversión de Unidades 1 m<sup>2</sup> = 1x10<sup>06</sup> km<sup>2</sup> -----1 ha = 0.01 km<sup>2</sup>  
 0.7 ha = 1 mz -----1 ha = 10,000 m<sup>2</sup>

Figura 15

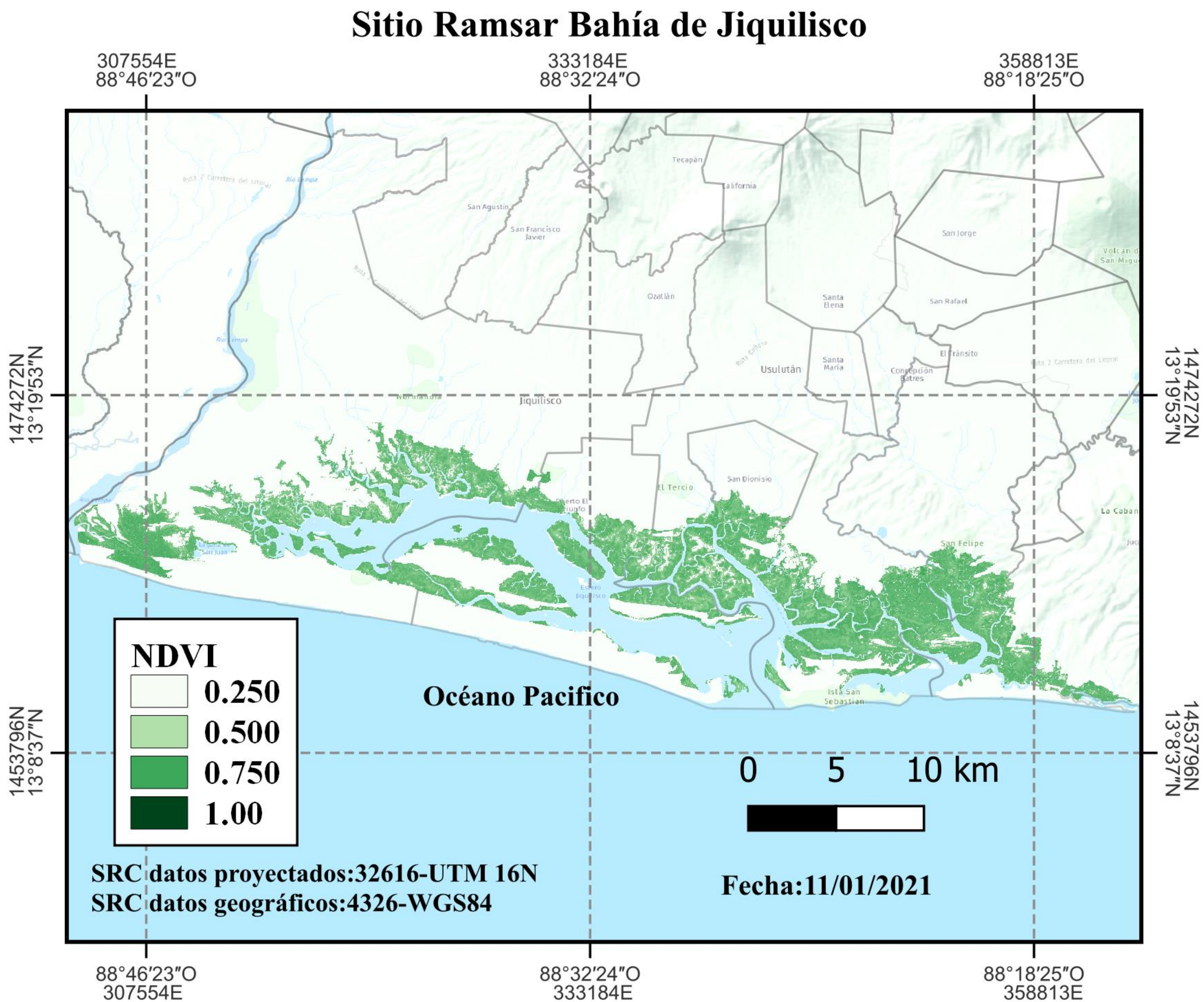
Imagen NDVI del año 2020 Bahía de Jiquilisco.



Nota. En el año 2020 se registraron 187.58 km<sup>2</sup> (26,839.47 mz) de cobertura de vegetación, con NDVI > 0.5, indicando alta densidad de vegetación saludable. Elaboración Propia.

Figura 16

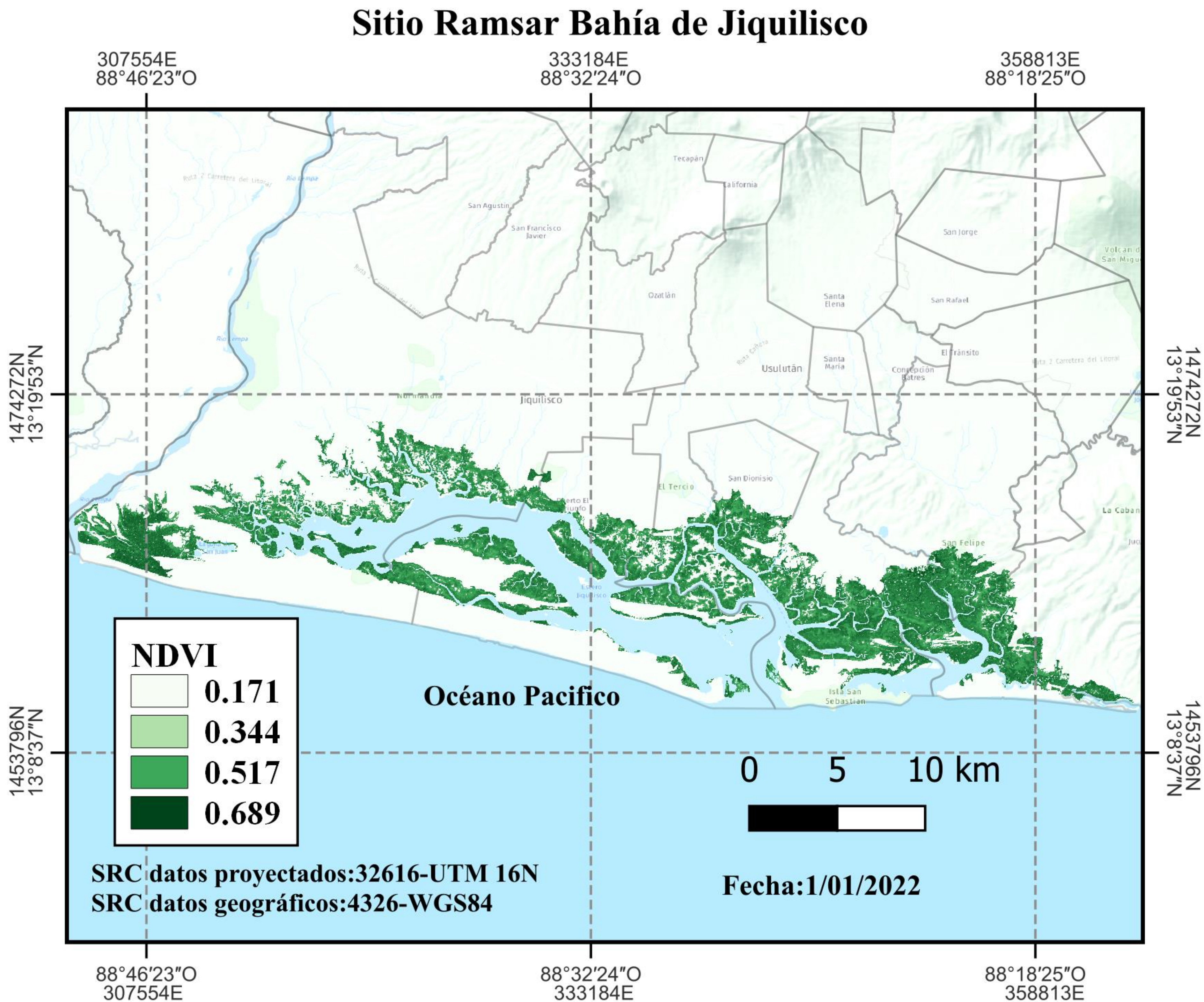
Imagen NDVI del año 2021 Bahía de Jiquilisco.



Nota. En el año 2021 se registraron 189.08 km<sup>2</sup> (27,054.096 mz) de cobertura de vegetación, con NDVI > 0.5, indicando alta densidad de vegetación saludable. Elaboración Propia.

Figura 17

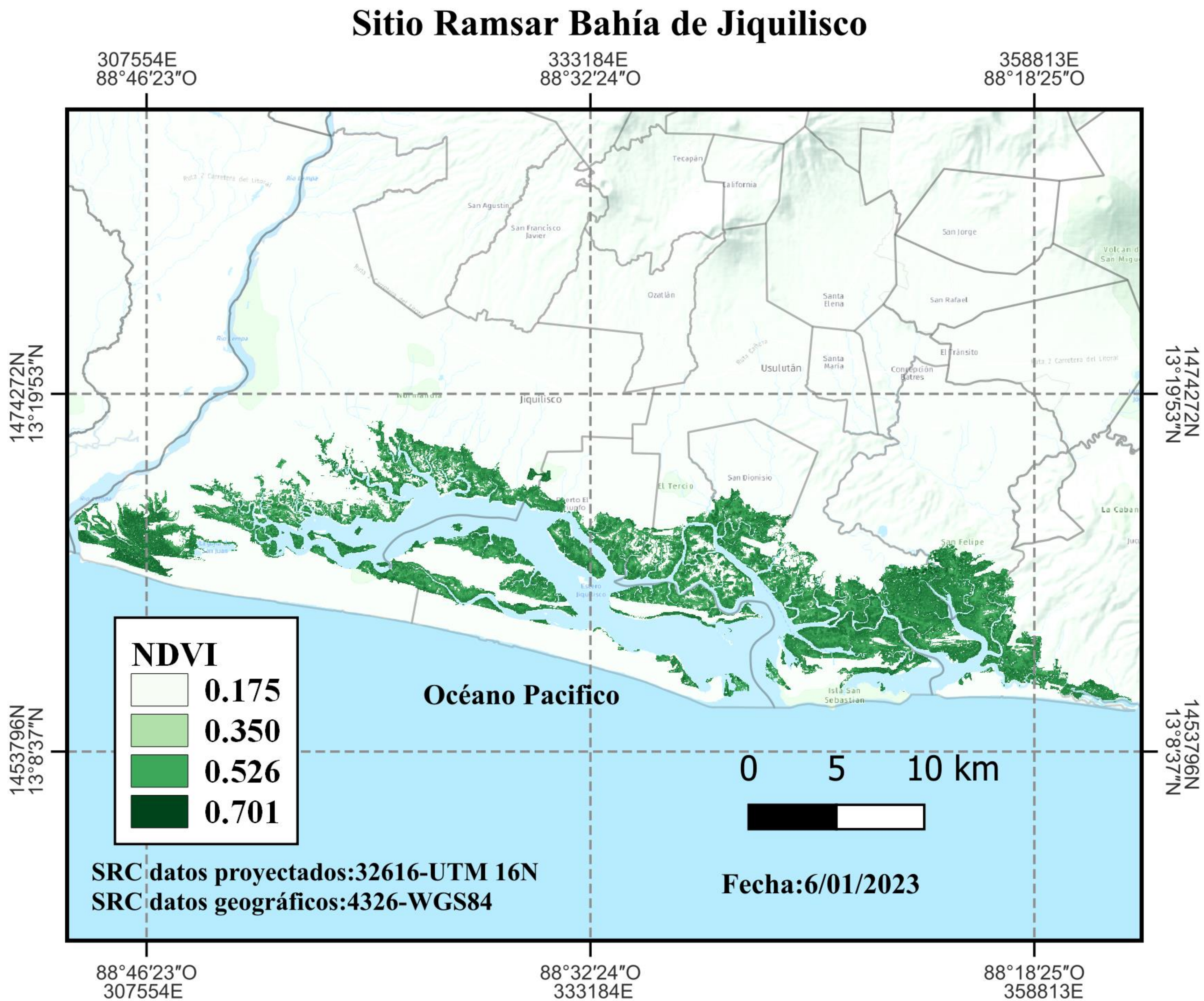
Imagen NDVI del año 2022 Bahía de Jiquilisco.



Nota. En el año 2022 se registraron 176.68 km<sup>2</sup> (25,279.87 mz) de cobertura de vegetación, con NDVI > 0.5, indicando alta densidad de vegetación saludable. Elaboración Propia.

Figura 18

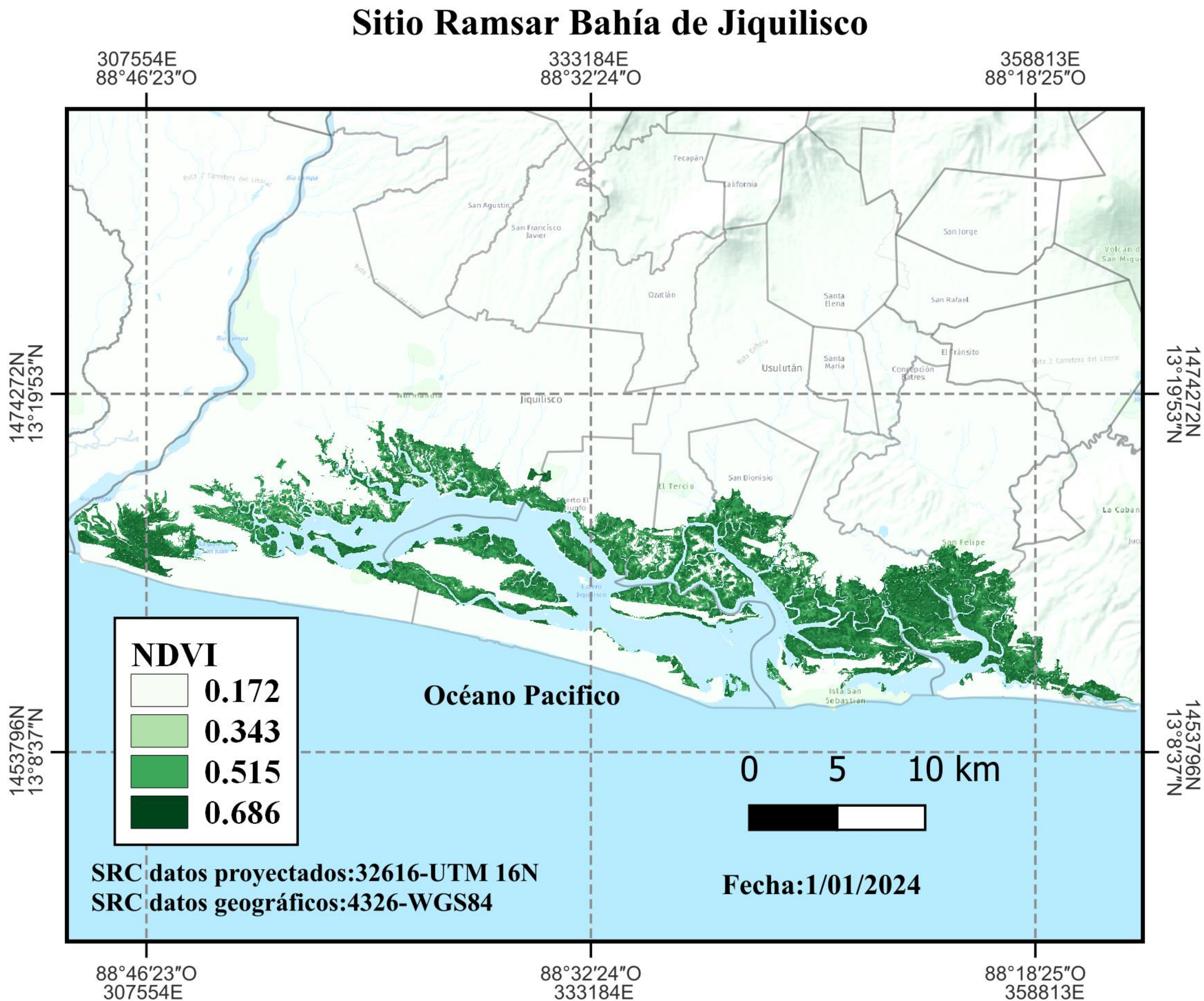
Imagen NDVI del año 2023 Bahía de Jiquilisco.



Nota. En el año 2023 se registraron 182.30 km<sup>2</sup> (26.083.99 mz) de cobertura de vegetación, con NDVI > 0.5, indicando alta densidad de vegetación saludable. Elaboración Propia.

Figura 19

Imagen NDVI del año 2024 Bahía de Jiquilisco.



Nota. En el año 2024 se registraron 185.30 km<sup>2</sup> (26,513.24 mz) de cobertura de vegetación, con NDVI > 0.5, indicando alta densidad de vegetación saludable. Elaboración Propia.

### 3.2. Análisis de la Colección de Imágenes Obtenidas por Zona

#### 3.2.1 Análisis de la Zona Total de estudio

De las imágenes procesadas se calcula el área reconocida como zona manglar obteniendo la Tabla 1 para la zona total de estudio.

**Tabla 1**

*Datos del cambio en la cobertura en la Zona Total de la Bahía de Jiquilisco.*

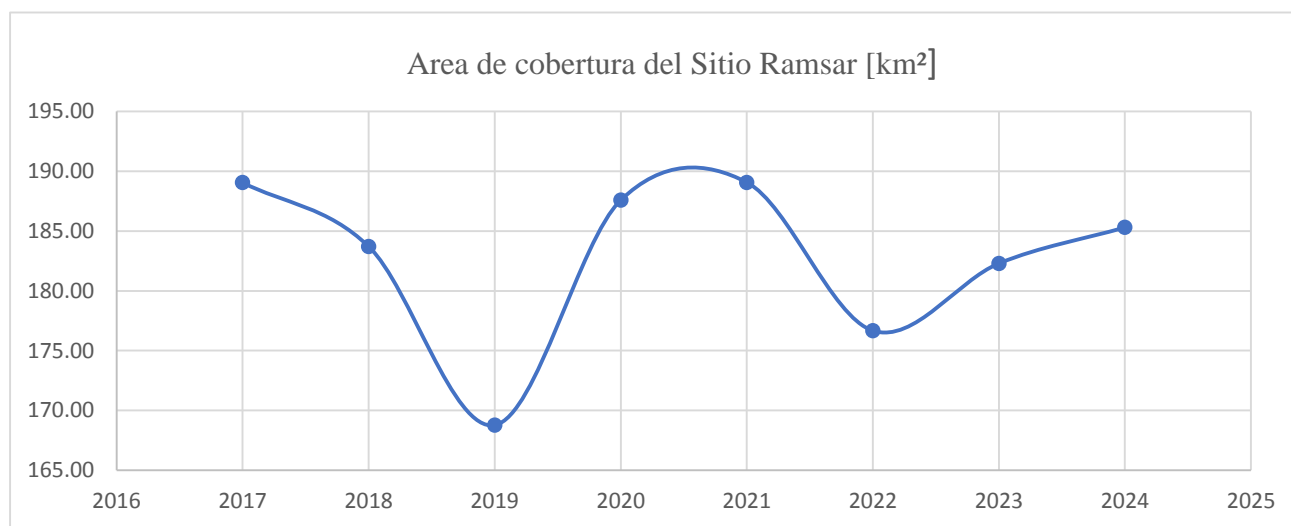
Sitio Ramsar Bahía de Jiquilisco zona total						
Año	Mes	Día	Cobertura(km <sup>2</sup> )	Variación Relativa	Variación Aproximada	Variación de Cobertura (km <sup>2</sup> )
2017	1	12	189.05	100%	0%	-
2018	1	12	183.71	97%	3%	5.34
2019	2	26	168.77	89%	11%	20.28
2020	1	7	187.58	99%	1%	1.47
2021	1	11	189.08	100%	0%	- 0.02
2022	1	1	176.68	93%	7%	12.38
2023	1	6	182.30	96%	4%	6.76
2024	1	1	185.30	98%	2%	3.75

Nota. Datos de cobertura total del área de estudio. Elaboración Propia.

Graficando los datos de la cobertura total del área de estudio utilizando solo las imágenes del mes de enero para evitar la interferencia de cultivos, se obtienen los siguientes resultados:

**Figura 20**

*Resultados del cambio en la cobertura en la Zona Total de la Bahía de Jiquilisco.*



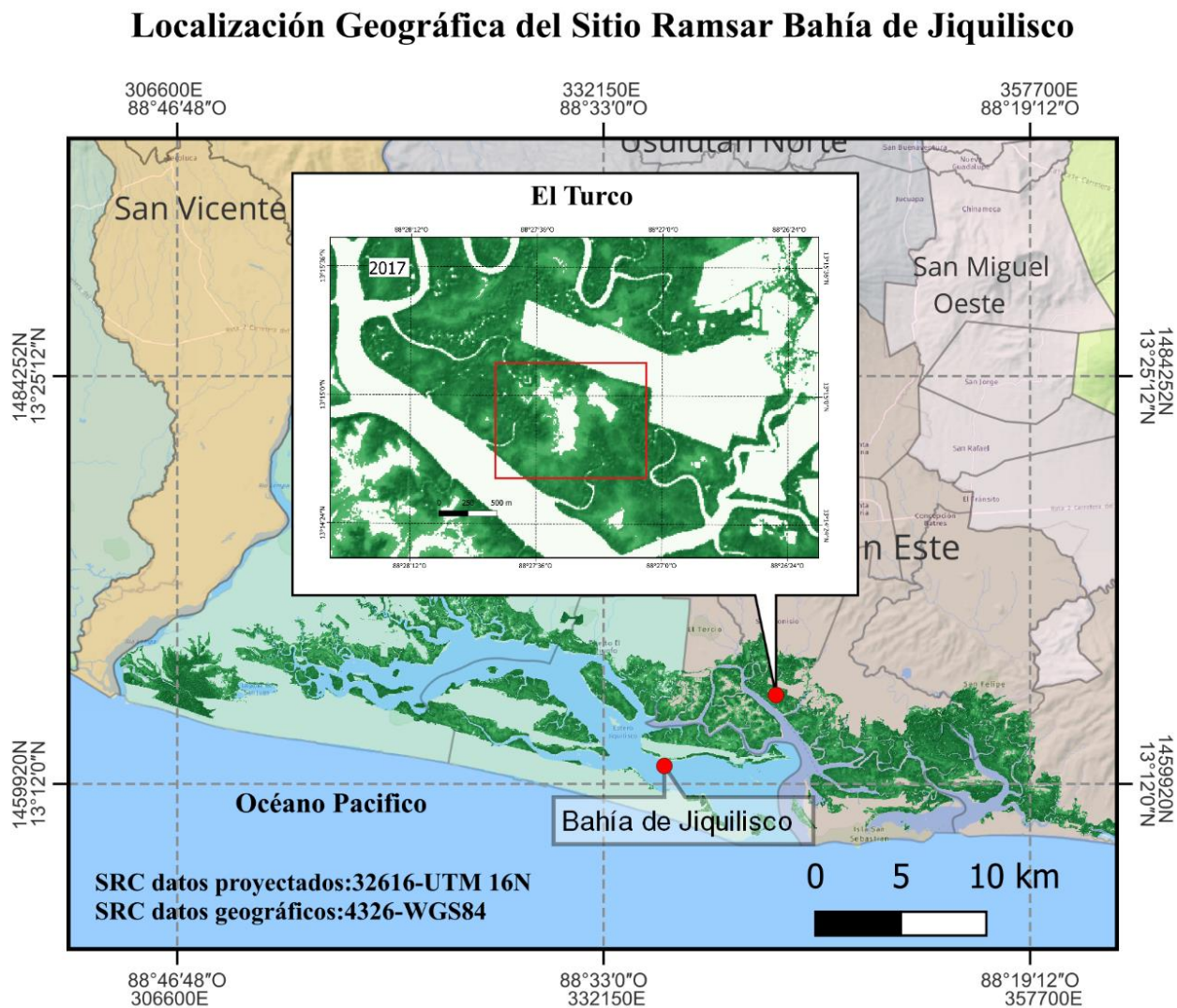
Nota. La figura muestra el cambio de la cobertura de la zona total del sitio Ramsar. Elaboración Propia.

### 3.3 Análisis General.

#### **Caso 1: El Turco (EcoViva y Asociación Mangle, V Foro Nacional De Manglares 2018)**

Durante años, las comunidades organizadas de la Reserva de Biósfera Xirihualtique – Jiquilisco han aplicado, corregido y mejorado los métodos de restauración de los bosques salados, los cuales han mejorado significativamente los manglares.

En Puerto Parada, Usulután, en la zona de los manglares está el área llamada “El Turco”. En 2012, la Asociación Cincahuite con el apoyo de los guardarrecursores del Ministerio de Medio Ambiente se inició la intervención del bosque.

**Figura 21***Ubicación geográfica del sitio el Turco.*

Nota. Localización geográfica del Turco. Elaboración Propia.

**Figura 22**

*Imagen satelital de la zona restaurada “El Turco” en 2015.*



Nota. Restauración de manglar el turco. (Google Earth, 2015).

En el 2015, el área aparentemente estaba mejorando e iba por buen camino. Pero desafortunadamente, había operaciones de cultivo de camarón, y tuvieron algunos problemas de violencia en ese territorio el área que se había restaurado, la convirtieron en un estanque camaronero.

### Figura 23

Imagen satelital de la zona restaurada “El Turco” en 2017.

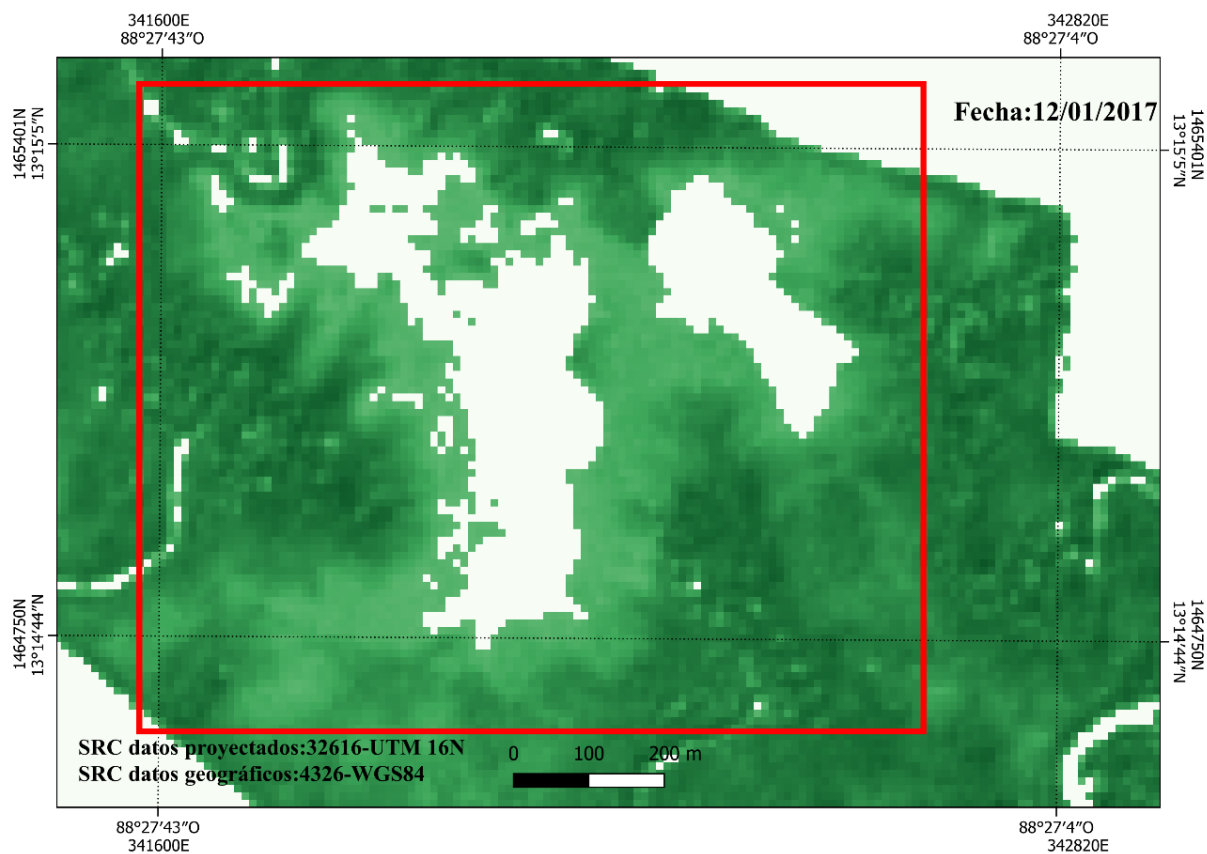


Nota. Pérdida de manglar por operaciones de cultivo de camarón. (Google Earth, 2017)

Haremos un análisis sobre este caso creando series temporales sobre esta zona para observar cómo los productores de camarón han incrementado y expandido sus operaciones a lo largo de los últimos años y como han eliminado aquella regeneración natural que se había logrado con la asociación.

**Figura 24**

*Imagen generada en Qgis del área afectada para el año 2017.*



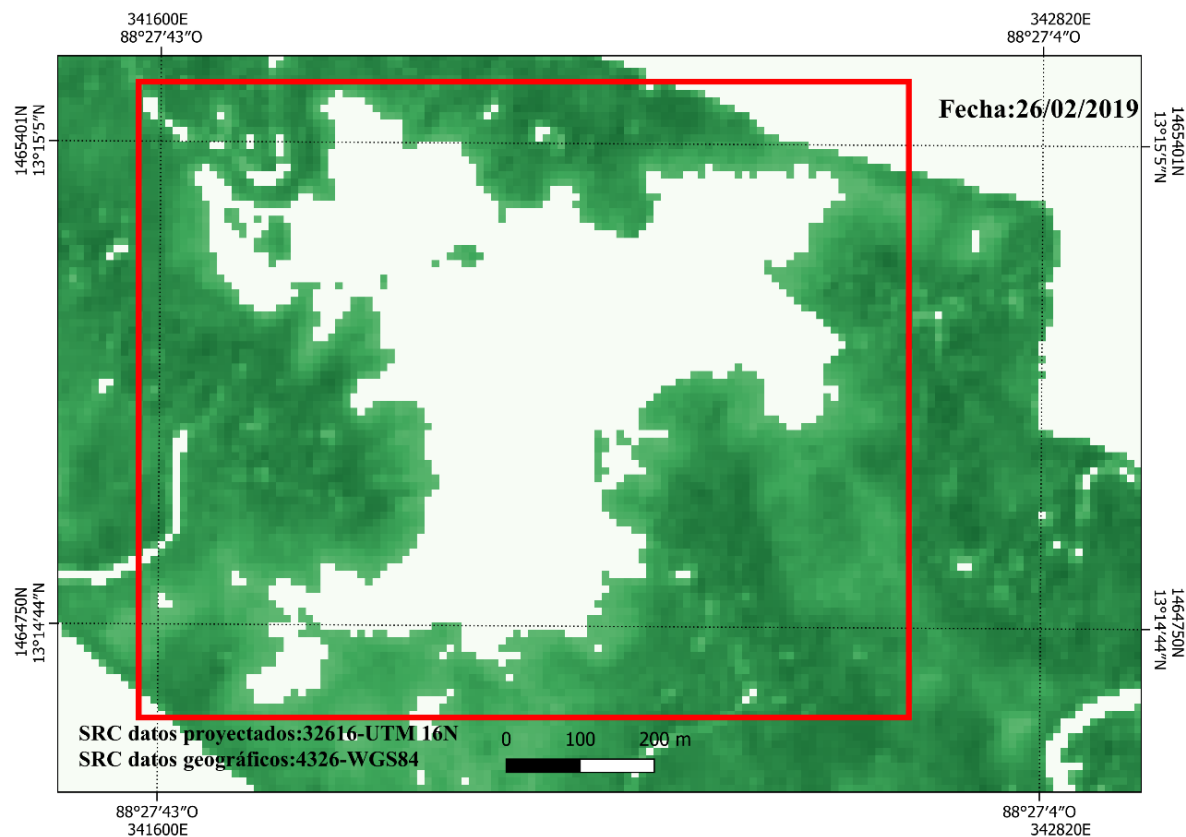
Nota. El área afectada por el crecimiento de la producción de camarones para el año 2017 fue de 147,077 m<sup>2</sup> (21.04 mz). Elaboración Propia.

Sistema de Conversión de Unidades  $1 \text{ m}^2 = 1 \times 10^{-6} \text{ km}^2$  -----  $1 \text{ ha} = 0.01 \text{ km}^2$   
 $0.7 \text{ ha} = 1 \text{ mz}$  -----  $1 \text{ ha} = 10,000 \text{ m}^2$



**Figura 26**

*Imagen generada en Qgis del área afectada para el año 2019.*



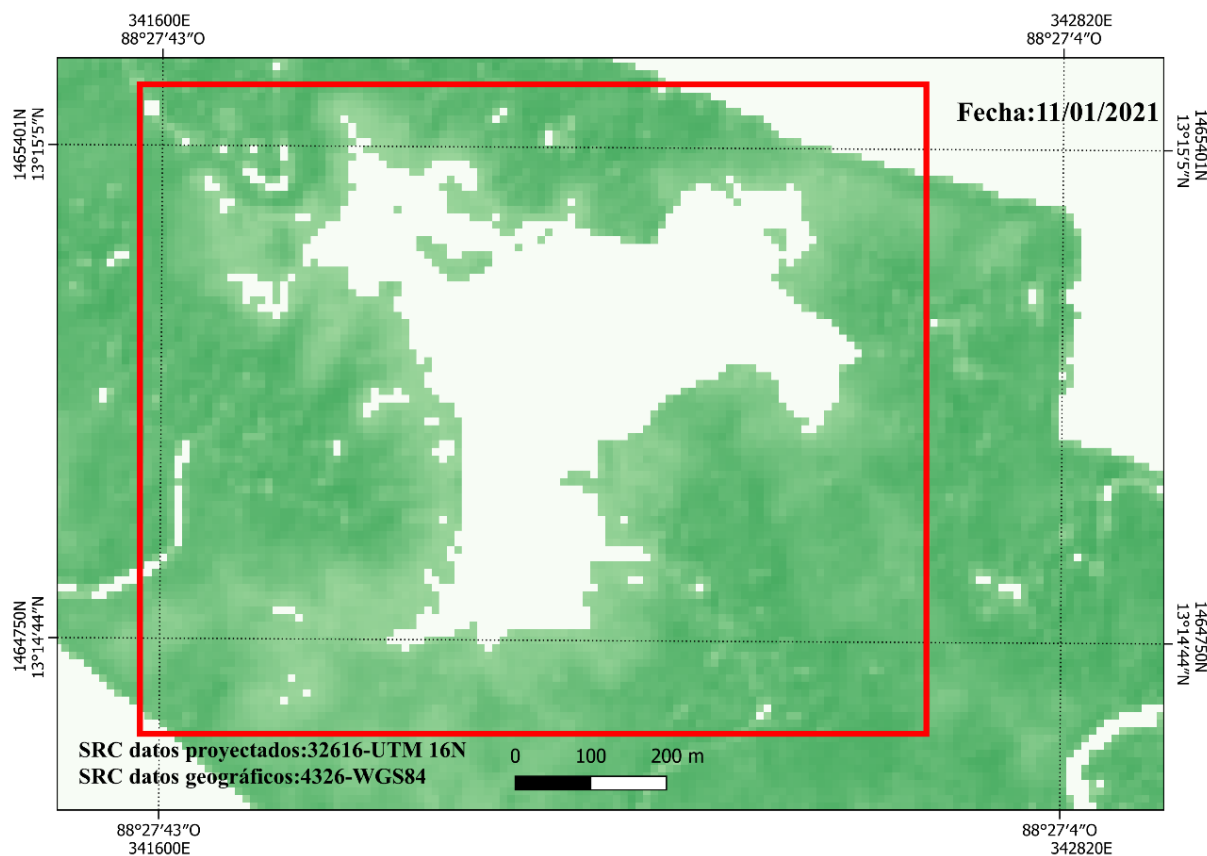
Nota. E área afectada por el crecimiento de la producción de camarones para el año 2019 fue de 322,350 m<sup>2</sup> (46.12 mz). Elaboración Propia.

Sistema de Conversión de Unidades  $1 \text{ m}^2 = 1 \times 10^{-6} \text{ km}^2$  -----  $1 \text{ ha} = 0.01 \text{ km}^2$   
 $0.7 \text{ ha} = 1 \text{ mz}$  -----  $1 \text{ ha} = 10,000 \text{ m}^2$



**Figura 28**

*Imagen generada en Qgis del área afectada para el año 2021.*

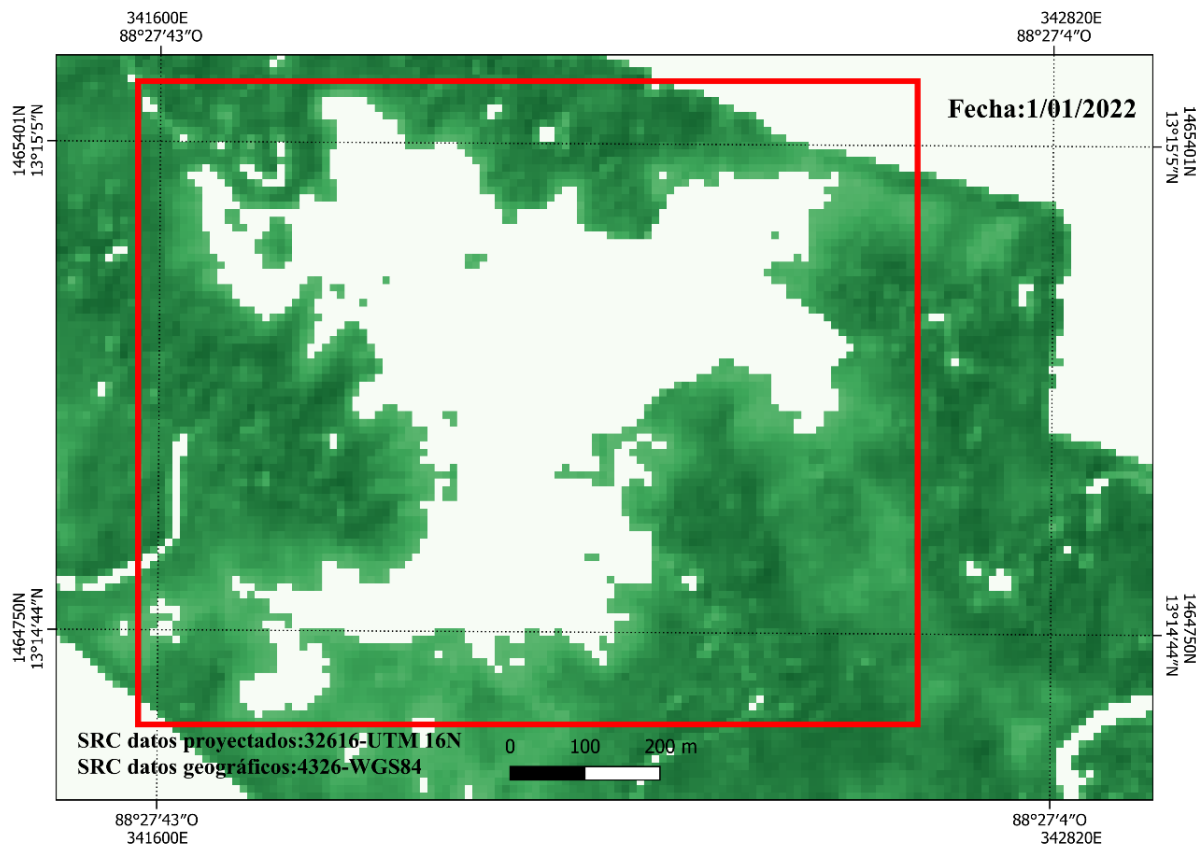


Nota. El área afectada por el crecimiento de la producción de camarones para el año 2021 fue de 214,139 m<sup>2</sup> (30.64 mz). Elaboración Propia.

Sistema de Conversión de Unidades  $1 \text{ m}^2 = 1 \times 10^{-6} \text{ km}^2$  -----  $1 \text{ ha} = 0.01 \text{ km}^2$   
 $0.7 \text{ ha} = 1 \text{ mz}$  -----  $1 \text{ ha} = 10,000 \text{ m}^2$

**Figura 29**

*Imagen generada en Qgis del área afectada para el año 2022.*

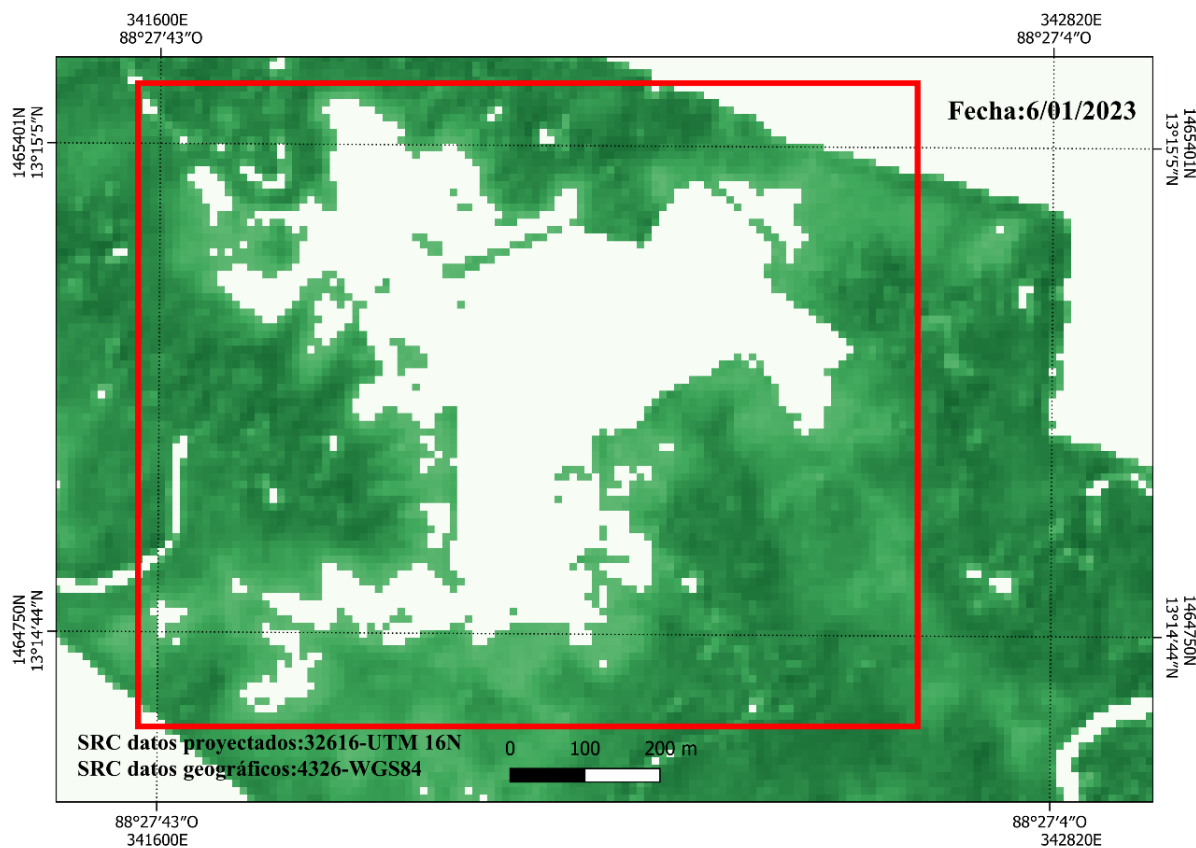


Nota. El área afectada por el crecimiento de la producción de camarones para el año 2022 fue de 317,761 m<sup>2</sup> (45.47 mz). Elaboración Propia.

Sistema de Conversión de Unidades  $1 \text{ m}^2 = 1 \times 10^{-6} \text{ km}^2$  -----  $1 \text{ ha} = 0.01 \text{ km}^2$   
 $0.7 \text{ ha} = 1 \text{ mz}$  -----  $1 \text{ ha} = 10,000 \text{ m}^2$

**Figura 30**

*Imagen generada en Qgis del área afectada para el año 2023.*

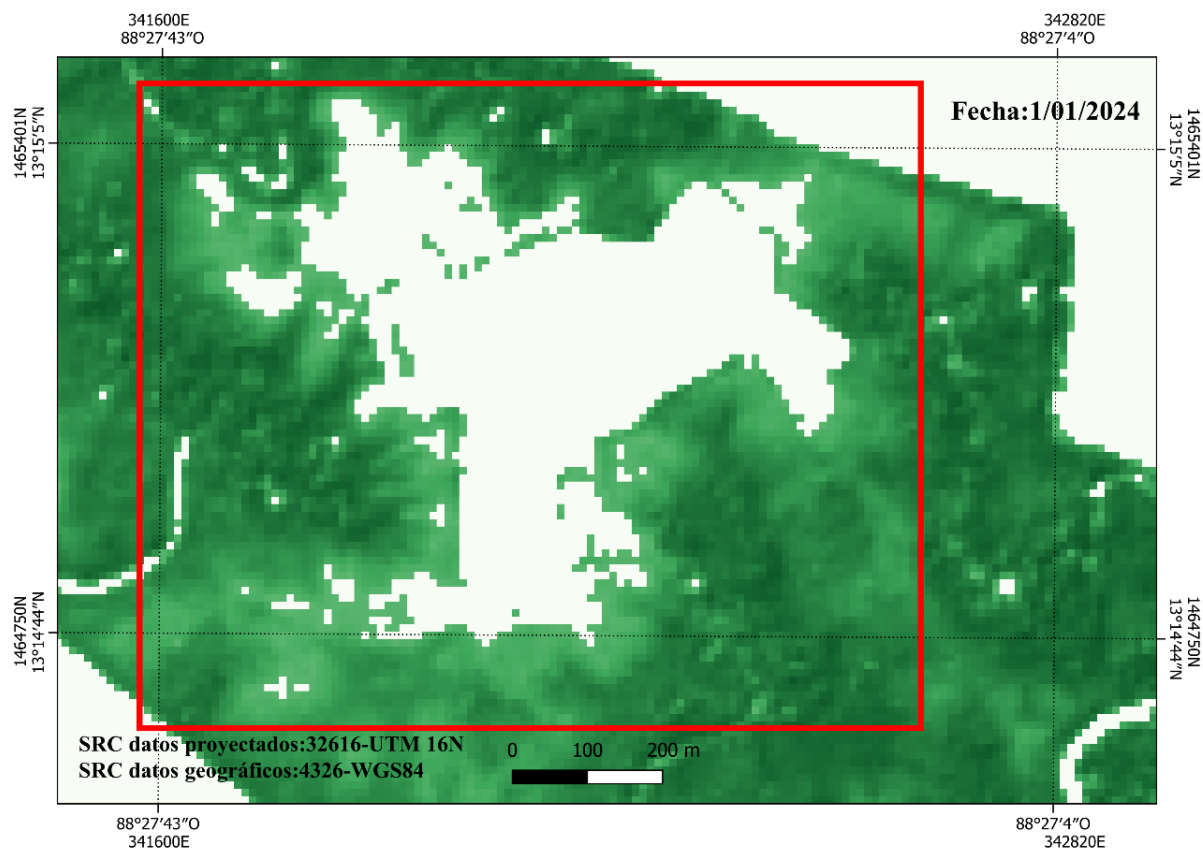


Nota. El área afectada por el crecimiento de la producción de camarones para el año 2023 fue de 263,548 m<sup>2</sup> (37.71 mz). Elaboración Propia.

Sistema de Conversión de Unidades  $1 \text{ m}^2 = 1 \times 10^{-6} \text{ km}^2$  -----  $1 \text{ ha} = 0.01 \text{ km}^2$   
 $0.7 \text{ ha} = 1 \text{ mz}$  -----  $1 \text{ ha} = 10,000 \text{ m}^2$

**Figura 31**

*Imagen generada en Qgis del área afectada para el año 2024.*



Nota. El área afectada por el crecimiento de la producción de camarones para el año 2024 fue de 240,525 m<sup>2</sup> (34.414 mz). Elaboración Propia.

Sistema de Conversión de Unidades  $1 \text{ m}^2 = 1 \times 10^{-6} \text{ km}^2$  -----1 ha = 0.01 km<sup>2</sup>  
 0.7 ha = 1 mz -----1 ha = 10,000 m<sup>2</sup>

**Figura 32**

*Imagen captada por cámara del Dron de los estudiantes.*



Nota. Área afectada por el crecimiento de la producción de camarones y expansión de la salinera desde las coordenadas (13.254, -88.442). Elaboración Propia.

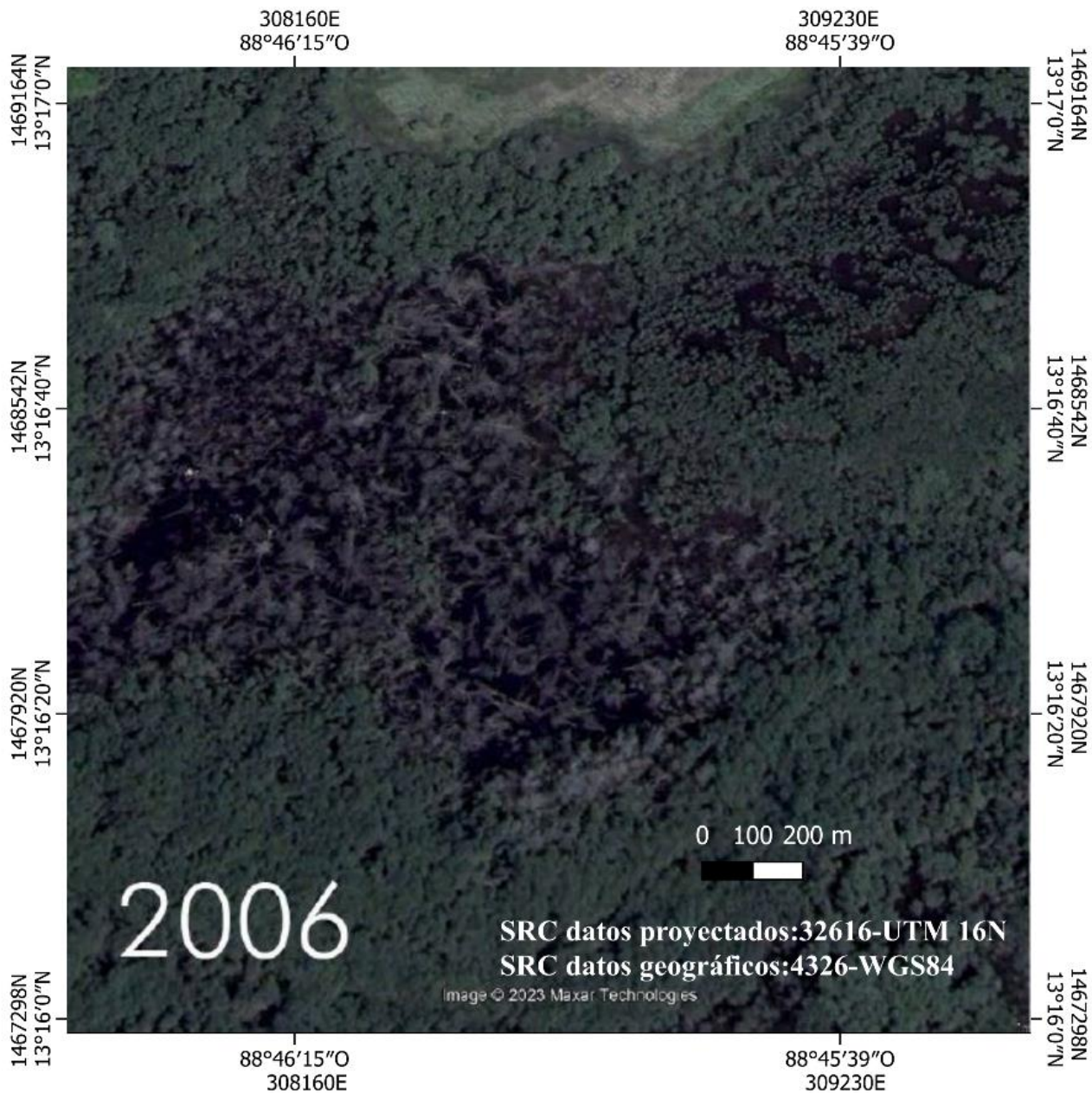
Sistema de Conversión de Unidades  $1 \text{ m}^2 = 1 \times 10^{-6} \text{ km}^2$  -----  $1 \text{ ha} = 0.01 \text{ km}^2$   
 $0.7 \text{ ha} = 1 \text{ mz}$  -----  $1 \text{ ha} = 10,000 \text{ m}^2$





**Figura 34**

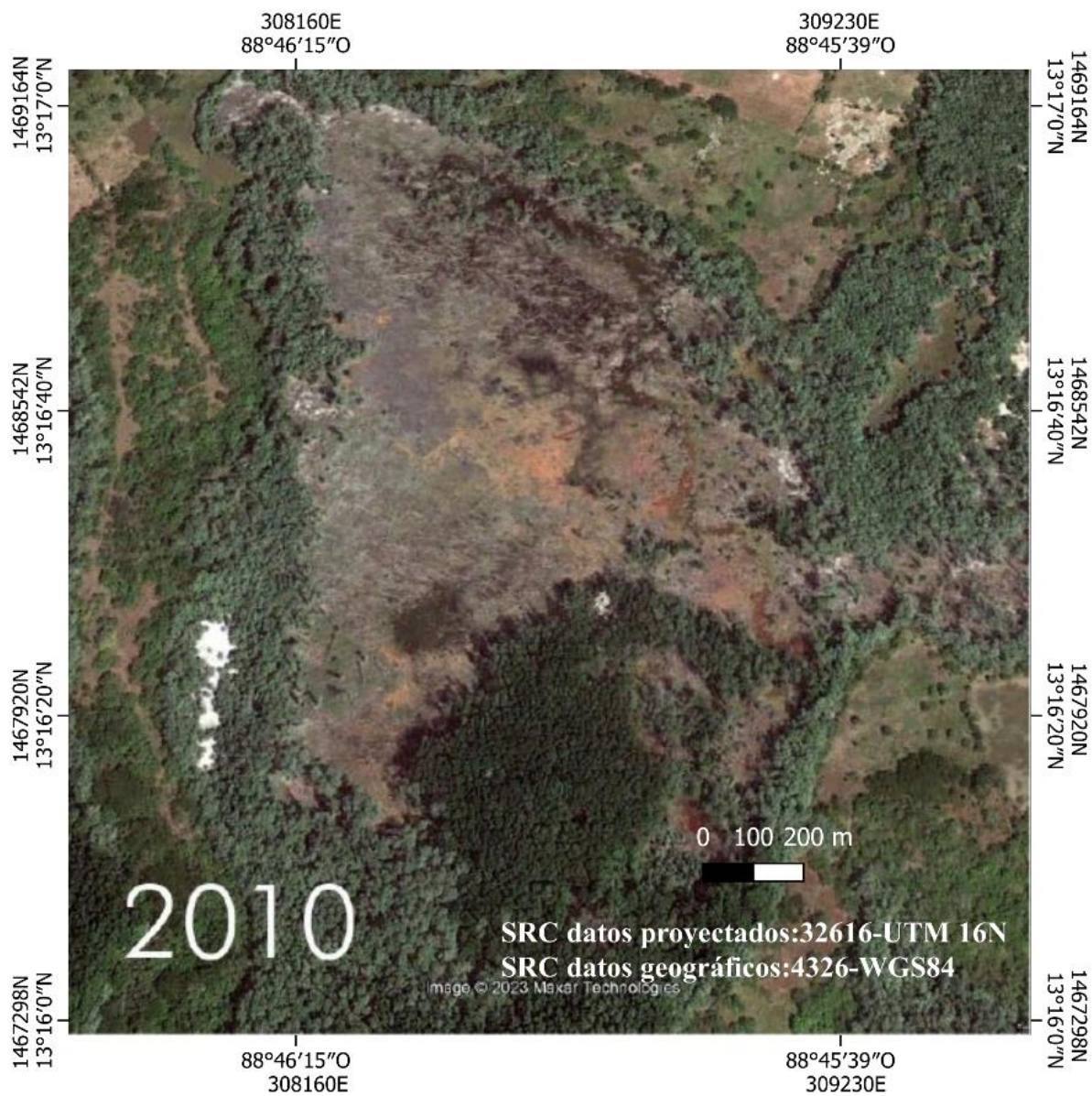
*Presencia de manglares degradados para los años 2006.*



Nota. Manglar afectado por las fuertes tormentas como el huracán Mitch, la sedimentación y la inundación anual del río Lempa. (Google Earth, 2006).

**Figura 35**

*Presencia de manglares degradados para los años 2010.*

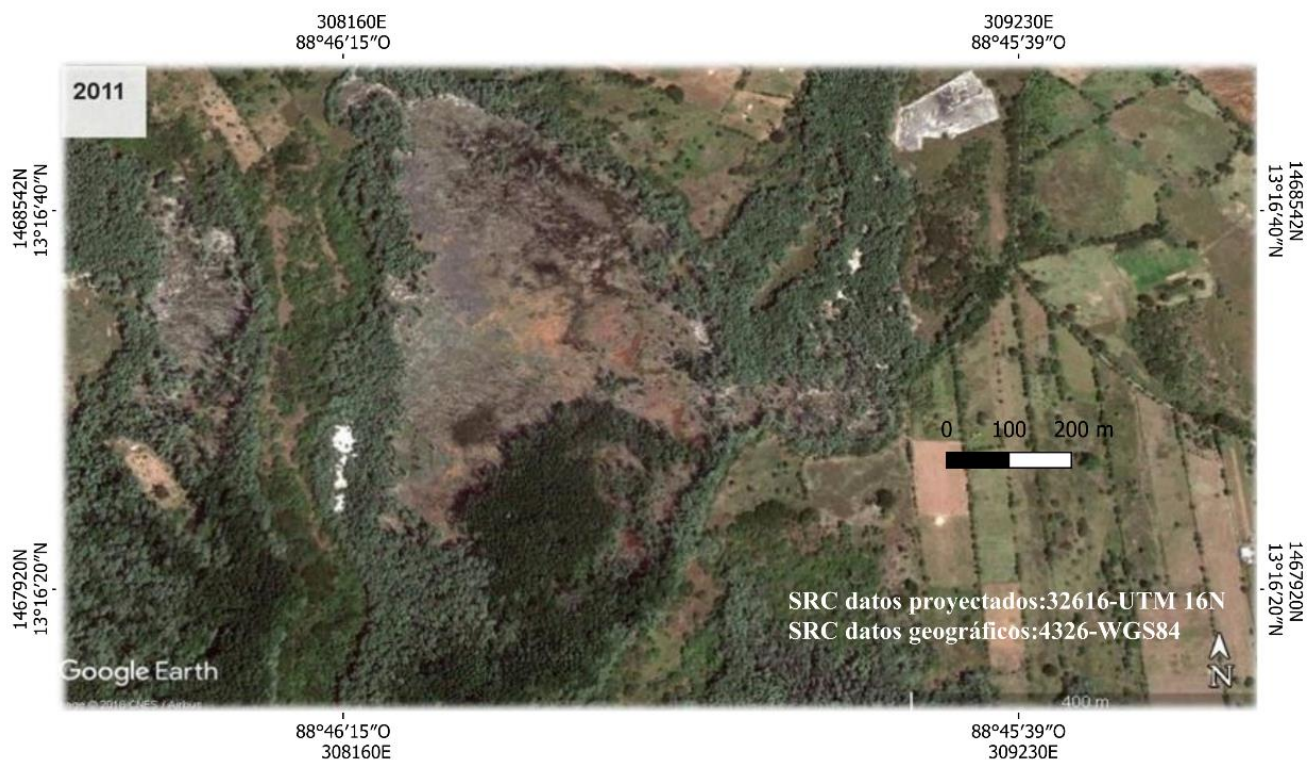


Nota. Manglar afectado por las fuertes tormentas como el huracán Mitch, la sedimentación y la inundación anual del río Lempa. (Google Earth, 2010).

En julio de 2011, MAP, junto con la Asociación Mangle, FIAES y EcoViva, introdujeron la REM en El Salvador.

### Figura 36

*Presencia de manglares degradados para los años 2011.*



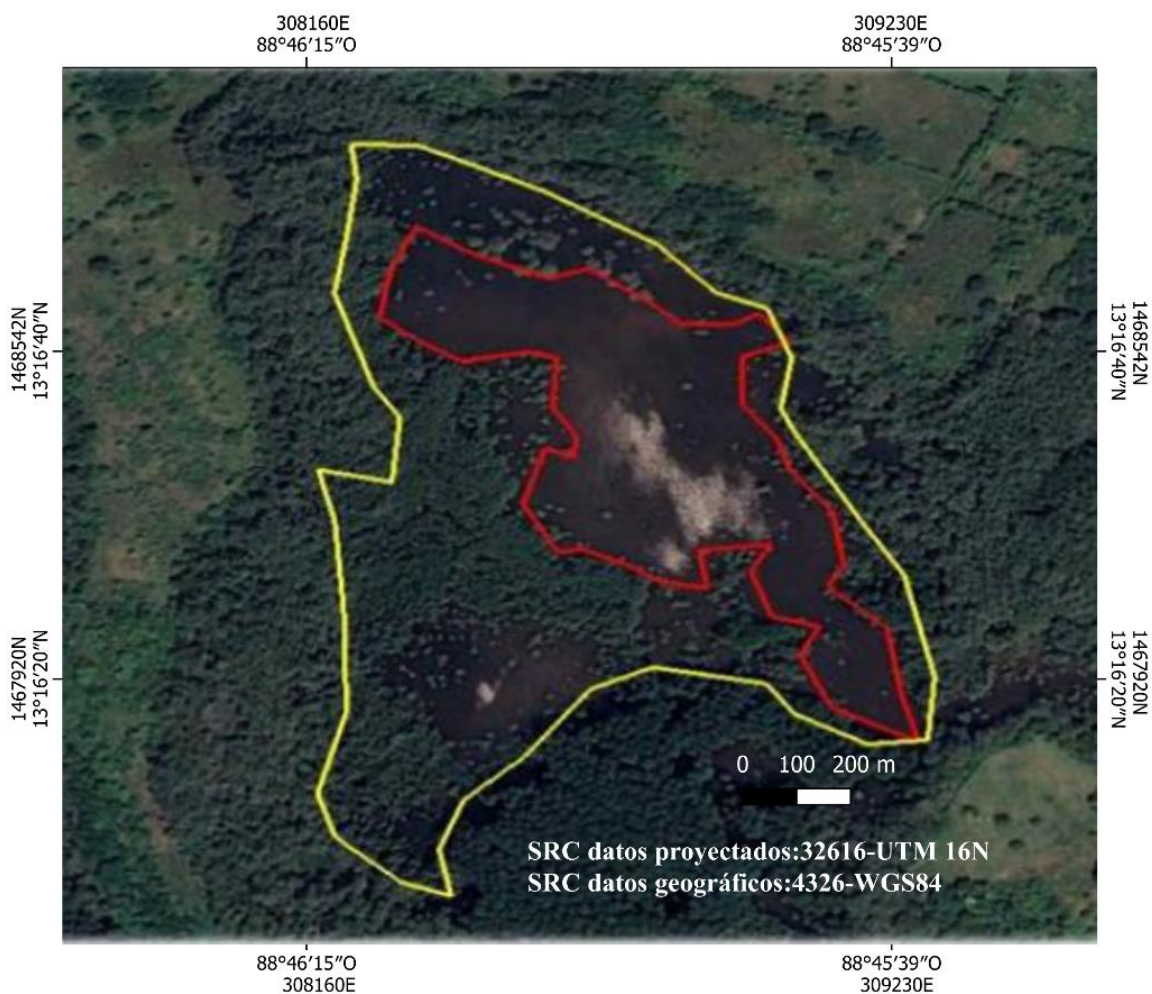
Nota. El Llorón en 2011 antes de la intervención. (Google Earth, 2011).

La intervención inició en 2012, aplicando la técnica REM. El proceso de REM incluye un diagnóstico de cada sitio de manglar, junto con un plan de restauración.

El equipo de restauración ha implementado actividades como:

- Abrir canales para permitir el flujo de agua
- Remoción de árboles Muertos, raíces y exceso de sedimento de canales
- Monitorear el sitio para ver que plantas o animales retornan
- Mantener y monitorear canales para fortalecer la buena hidrología

En el 2015, la regeneración gradual natural comenzó a dar sus frutos, salieron las primeras plántulas. En 2017, se está haciendo la regeneración natural en los Alrededores.

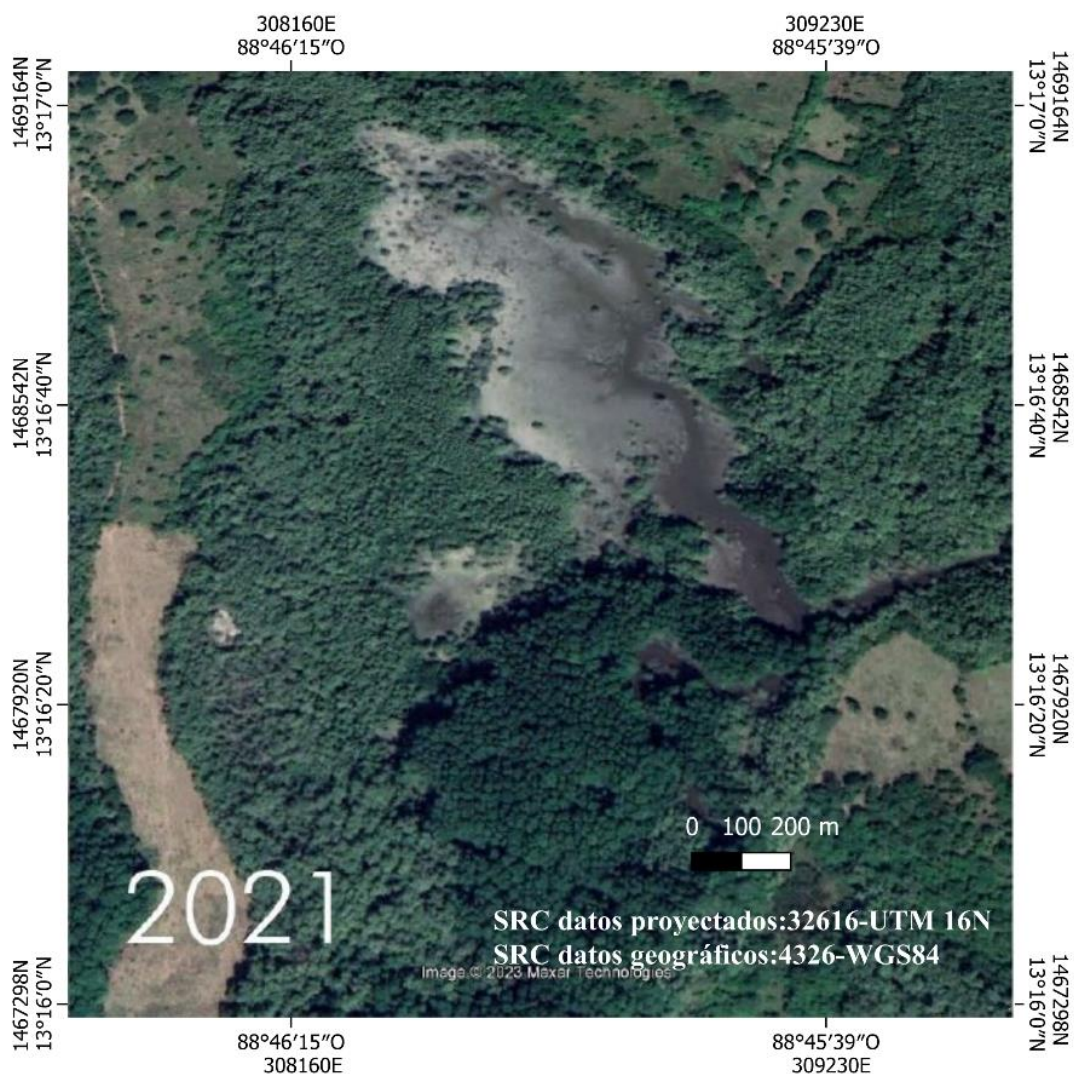
**Figura 37***Cambio gradual natural del mangle.*

Nota. Regeneración natural del mangle aumentando. (Google Earth, 2018).

La Asociación Mangle y miembros de la comunidad local cavaron más de 2 km de canales para mejorar la hidrología en El Llorón y los resultados han sido fantásticos. A través de la regeneración natural y sin plantar árboles, las tres especies de árboles originales han regresado a El Llorón, mangle rojo espigado, mangle negro y mangle blanco.

### Figura 38

*Cambio gradual natural del mangle año 2021.*



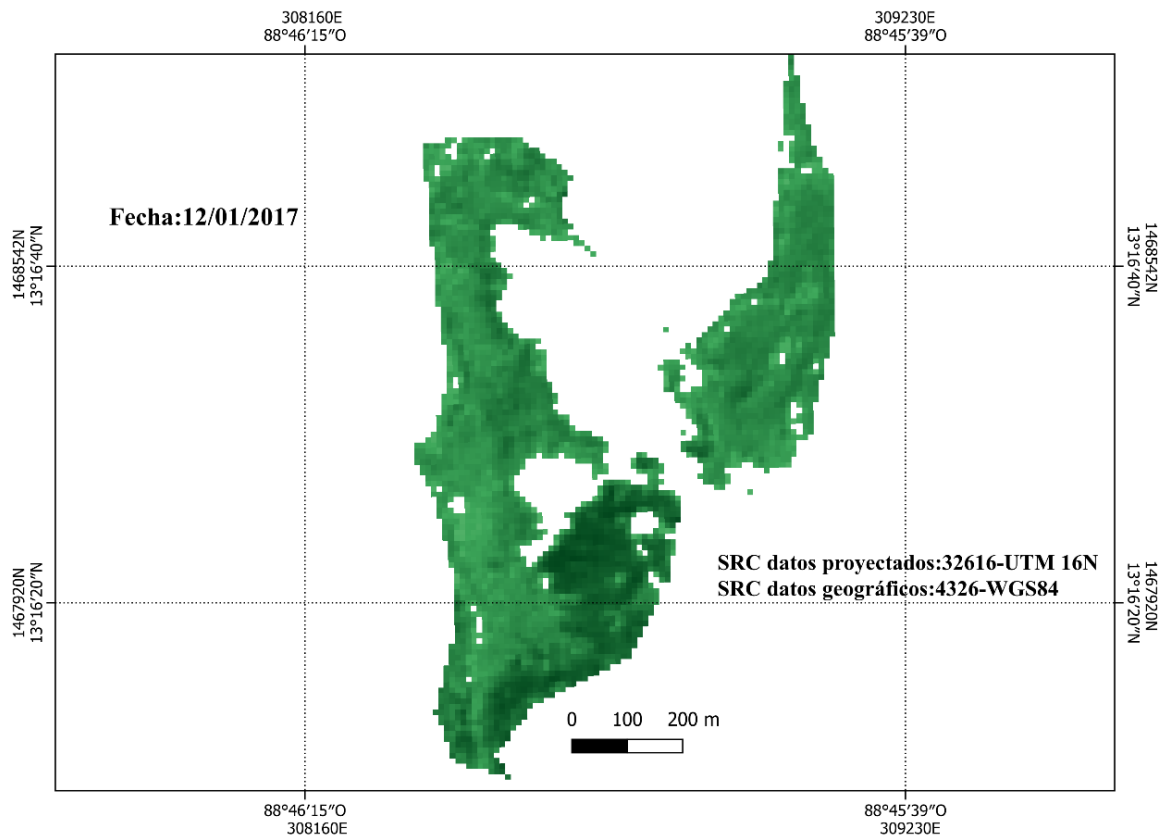
Nota. Regeneración natural del mangle por medio de técnica REM. (Google Earth, 2021).

La hidrología ha mejorado, observando un aumento en el flujo de las mareas y ya no hay áreas profundas de agua estancada. Se recopilaron las condiciones ambientales (salinidad, pH y tipo de suelo) que apuntan a ecosistemas saludables restaurados.

Se agregan algunas imágenes de Qgis donde se logra ver que el sitio el llorón ha estado mejorando en estos años.

**Figura 39**

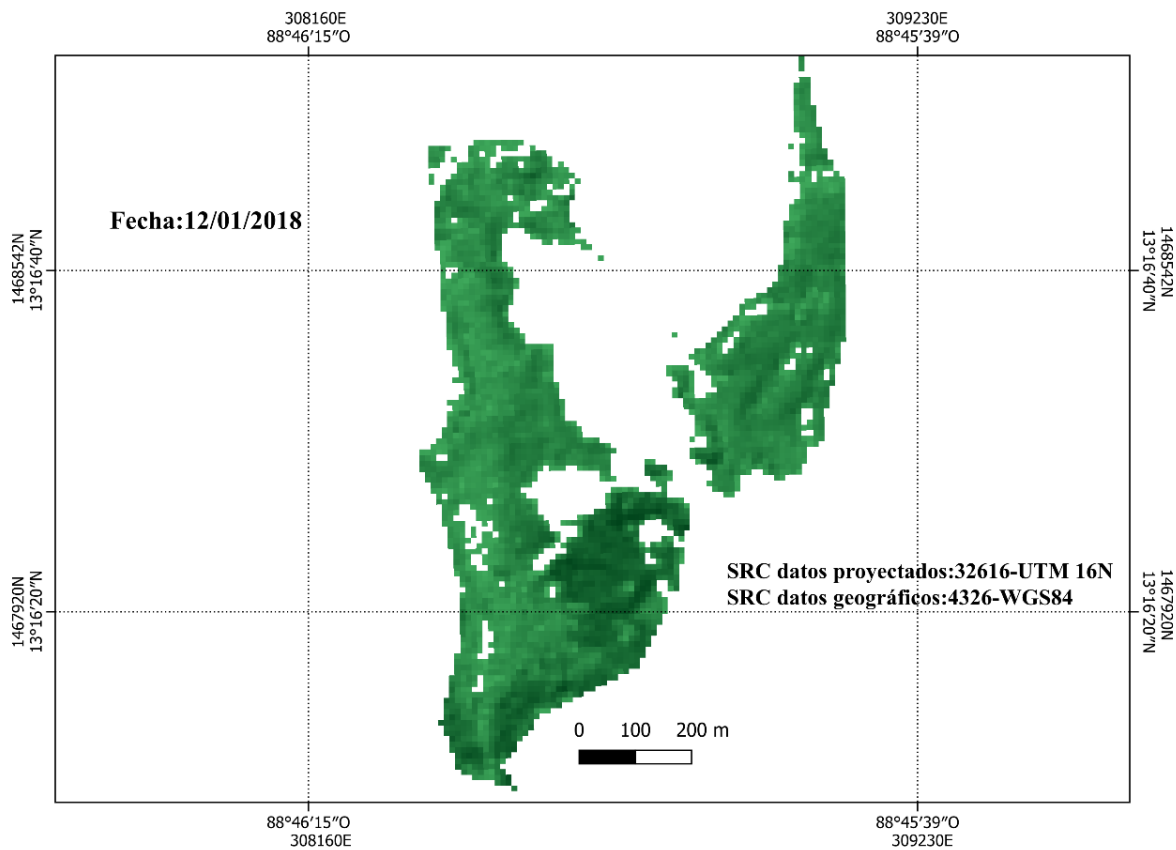
*Imagen generada en Qgis del mangle año 2017.*



Nota. Regeneración natural del mangle aumentando respecto a años anteriores. El área de zona verde para el año 2017 fue 378,800 m<sup>2</sup>. Elaboración Propia.

**Figura 40**

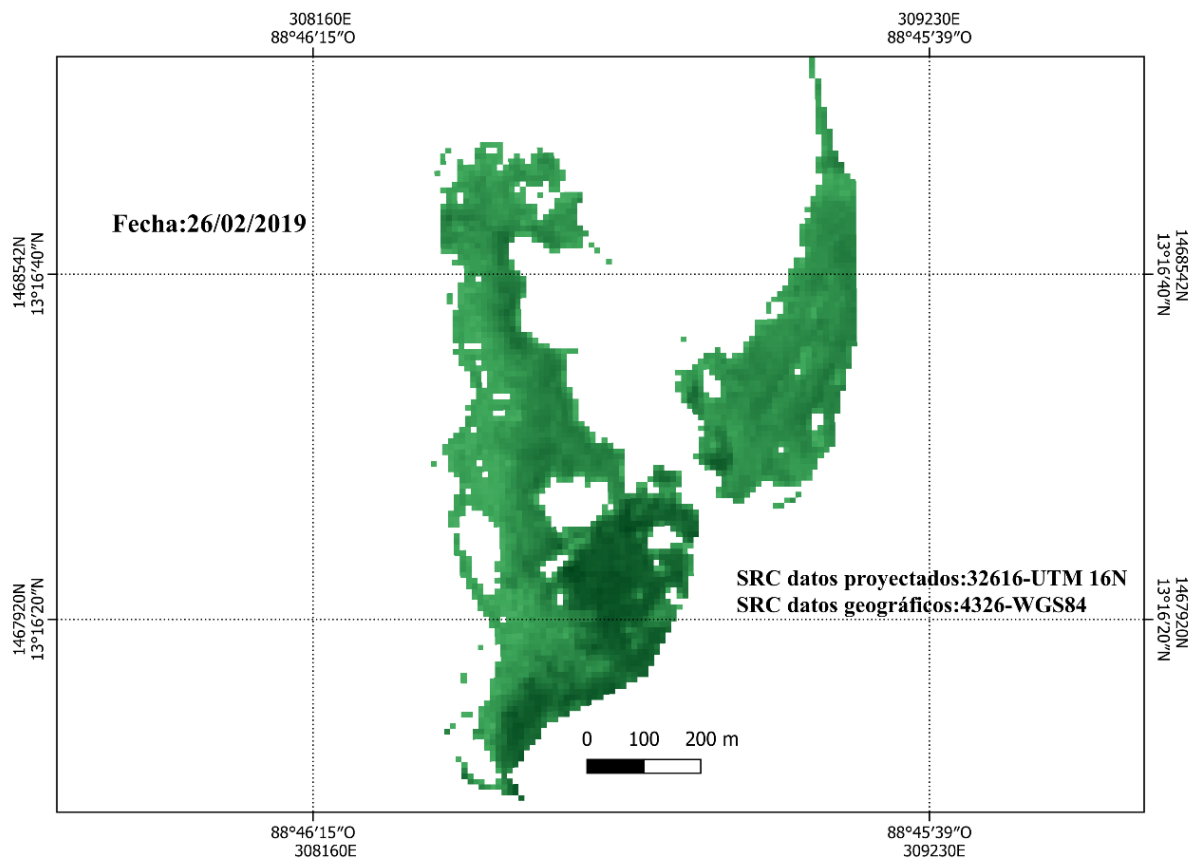
*Imagen generada en Qgis del mangle año 2018.*



Nota. Regeneración natural del mangle aumentando respecto a años anteriores. El área de zona verde para el año 2018 fue de 370,000 m<sup>2</sup>. Elaboración Propia.

**Figura 41**

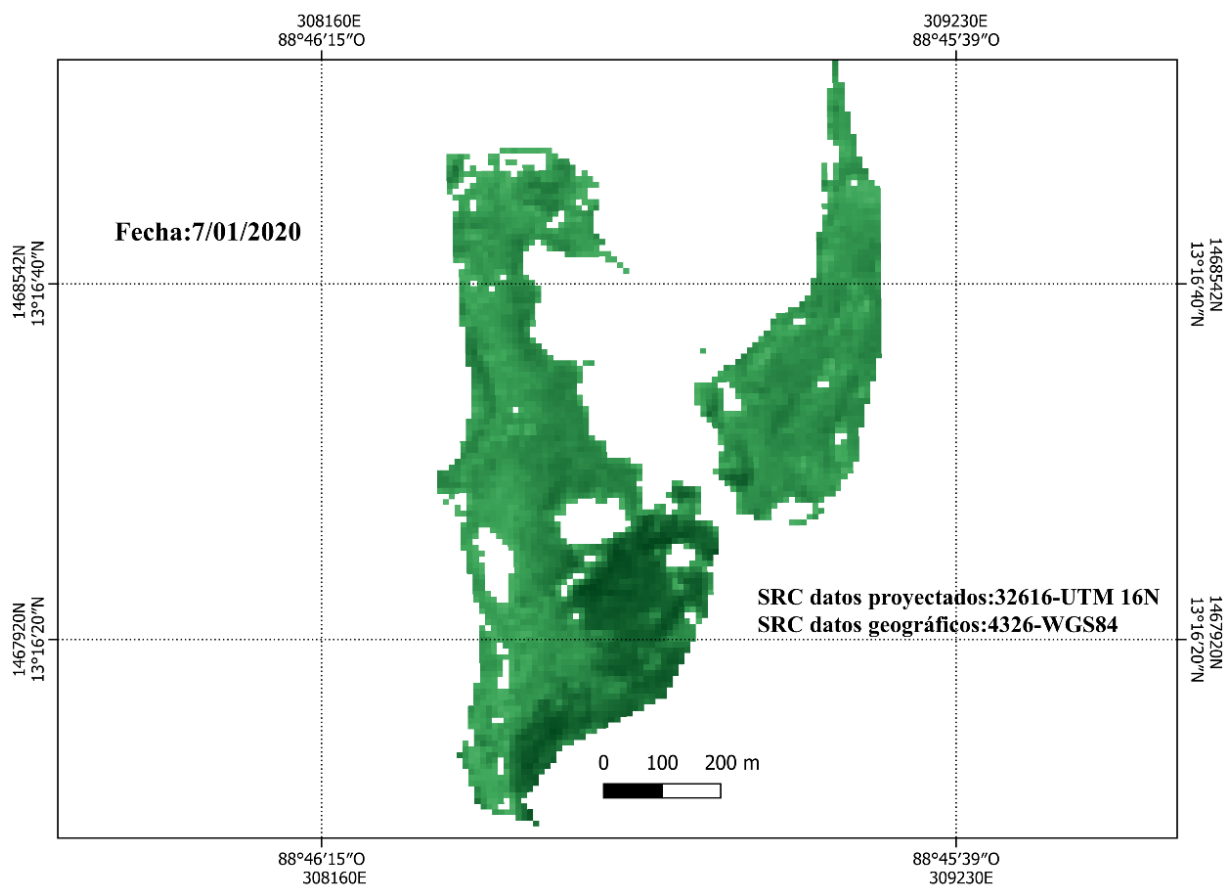
*Imagen generada en Qgis del mangle año 2019.*



Nota. Regeneración natural del mangle aumentando respecto a años anteriores. El área de zona verde para el año 2019 fue de 346,400 m<sup>2</sup>. Elaboración Propia.

**Figura 42**

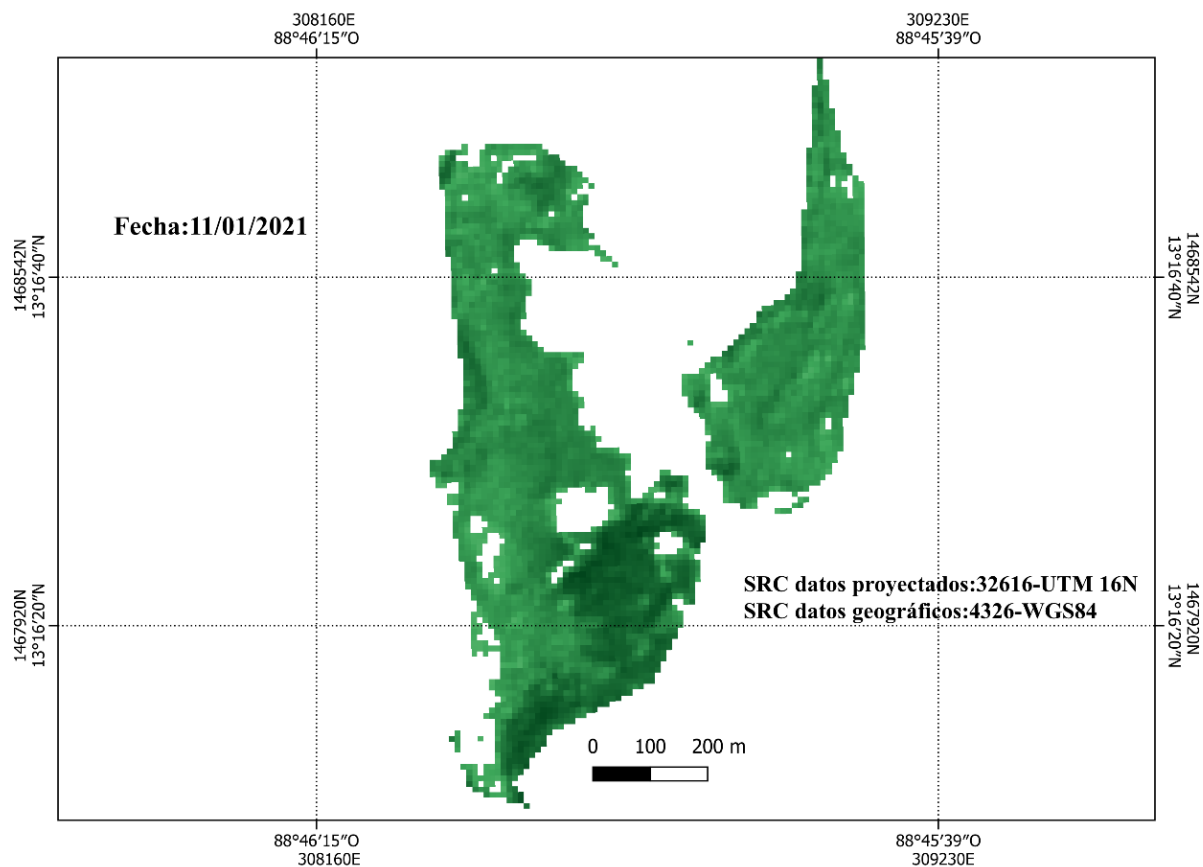
*Imagen generada en Qgis del mangle año 2020.*



Nota. Regeneración natural del mangle aumentando respecto a años anteriores. El área de zona verde para el año 2020 fue de 384,400 m<sup>2</sup>. Elaboración Propia.

**Figura 43**

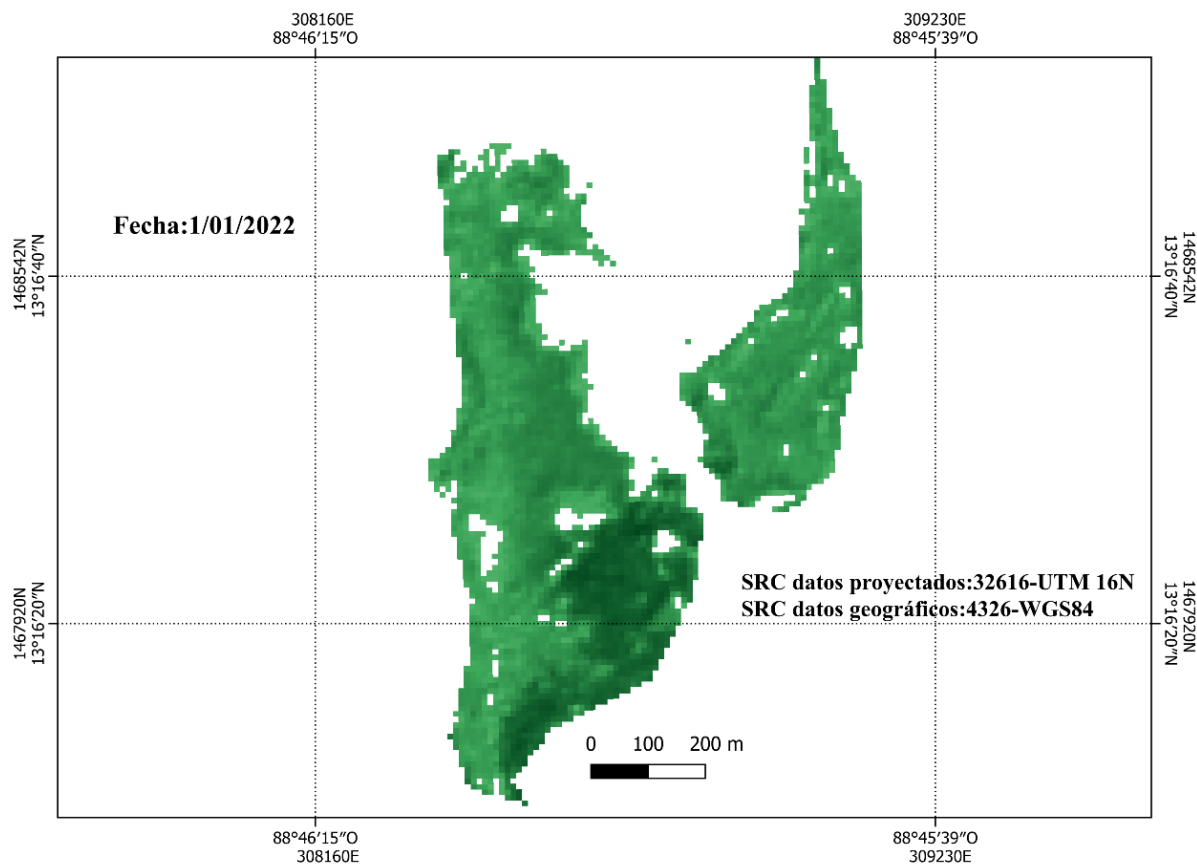
*Imagen generada en Qgis del mangle año 2021.*



Nota. Regeneración natural del mangle aumentando respecto a años anteriores. El área de zona verde para el año 2021 fue de 385,000 m<sup>2</sup>. Elaboración Propia.

**Figura 44**

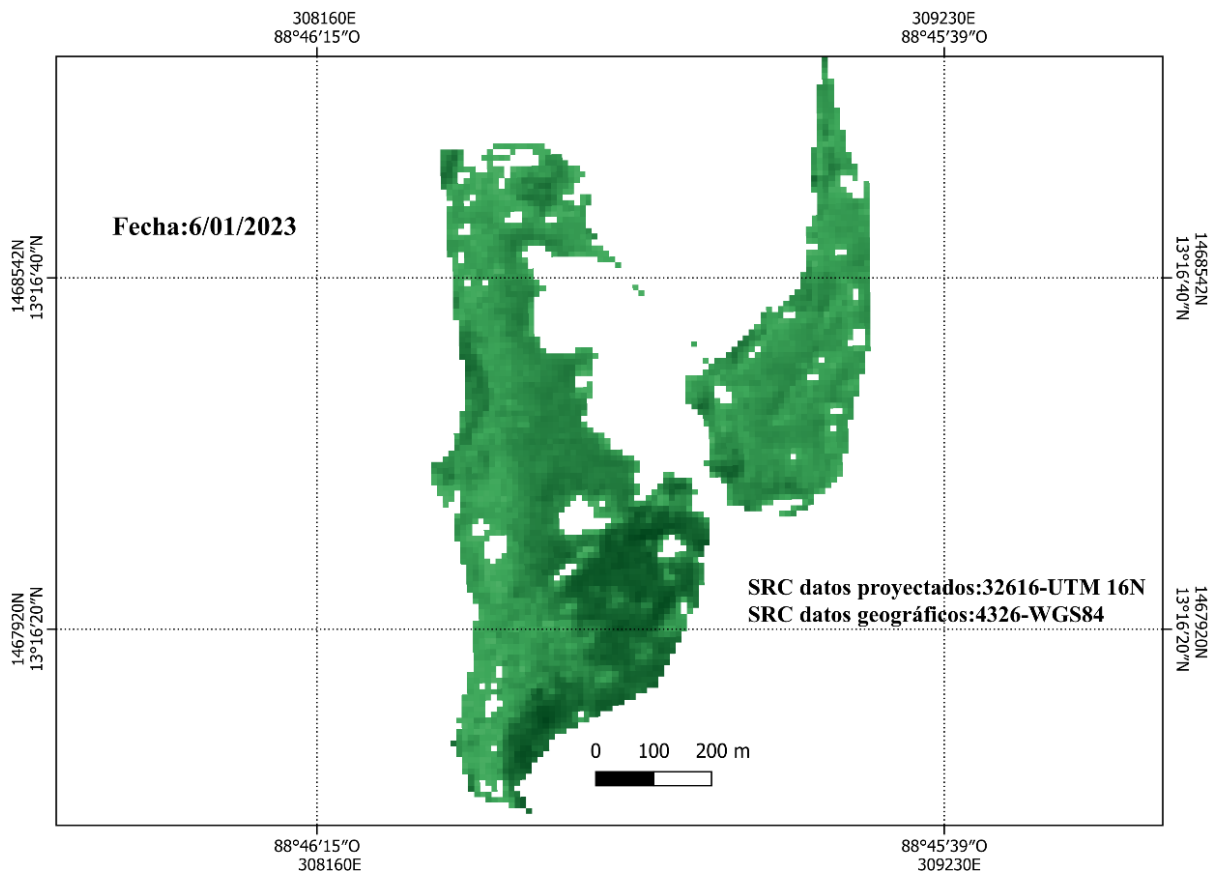
*Imagen generada en Qgis del mangle año 2022.*



Nota. Regeneración natural del mangle aumentando respecto a años anteriores. El área de zona verde para el año 2022 fue de 406,000 m<sup>2</sup>. Elaboración Propia.

**Figura 45**

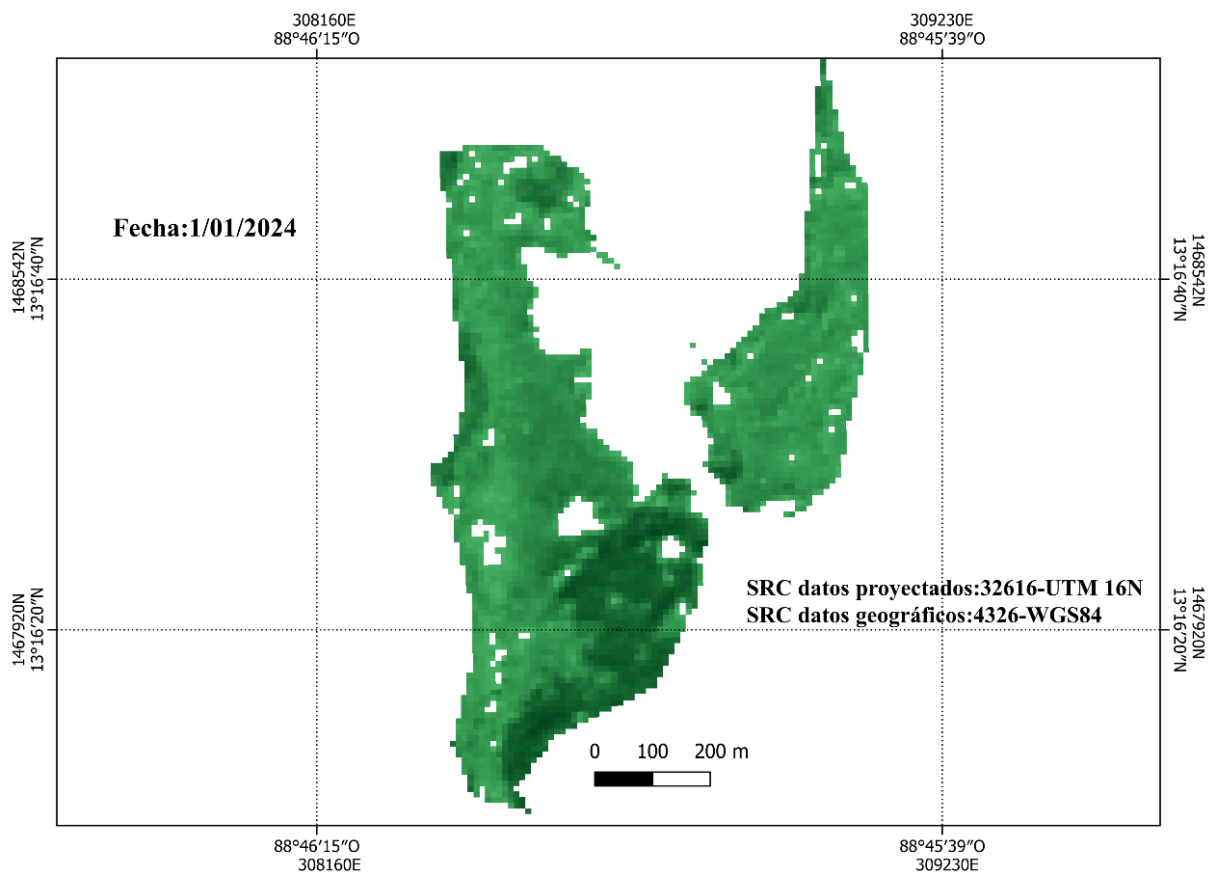
*Imagen generada en Qgis del mangle año 2023.*



Nota. Regeneración natural del mangle aumentando respecto a años anteriores. El área de zona verde para el año 2023 fue de 401,700 m<sup>2</sup>. Elaboración Propia.

**Figura 46**

*Imagen generada en Qgis del mangle año 2024.*



Nota. Regeneración natural del mangle aumentando respecto a años anteriores. El área de zona verde para el año 2024 fue de 406,900 m<sup>2</sup>. Elaboración Propia.

El Llorón es un cauce que recibe el flujo de agua proveniente del Océano Pacífico a través del cauce El Izcana, se encuentra localizado cerca de la desembocadura del río Lempa. Es un claro ejemplo como diversos factores afectan de manera negativa a estos manglares.



### **Caso 3: El Mar destruye al Mangle rojo en la zona occidental de la Bahía de Jiquilisco, Usulután**

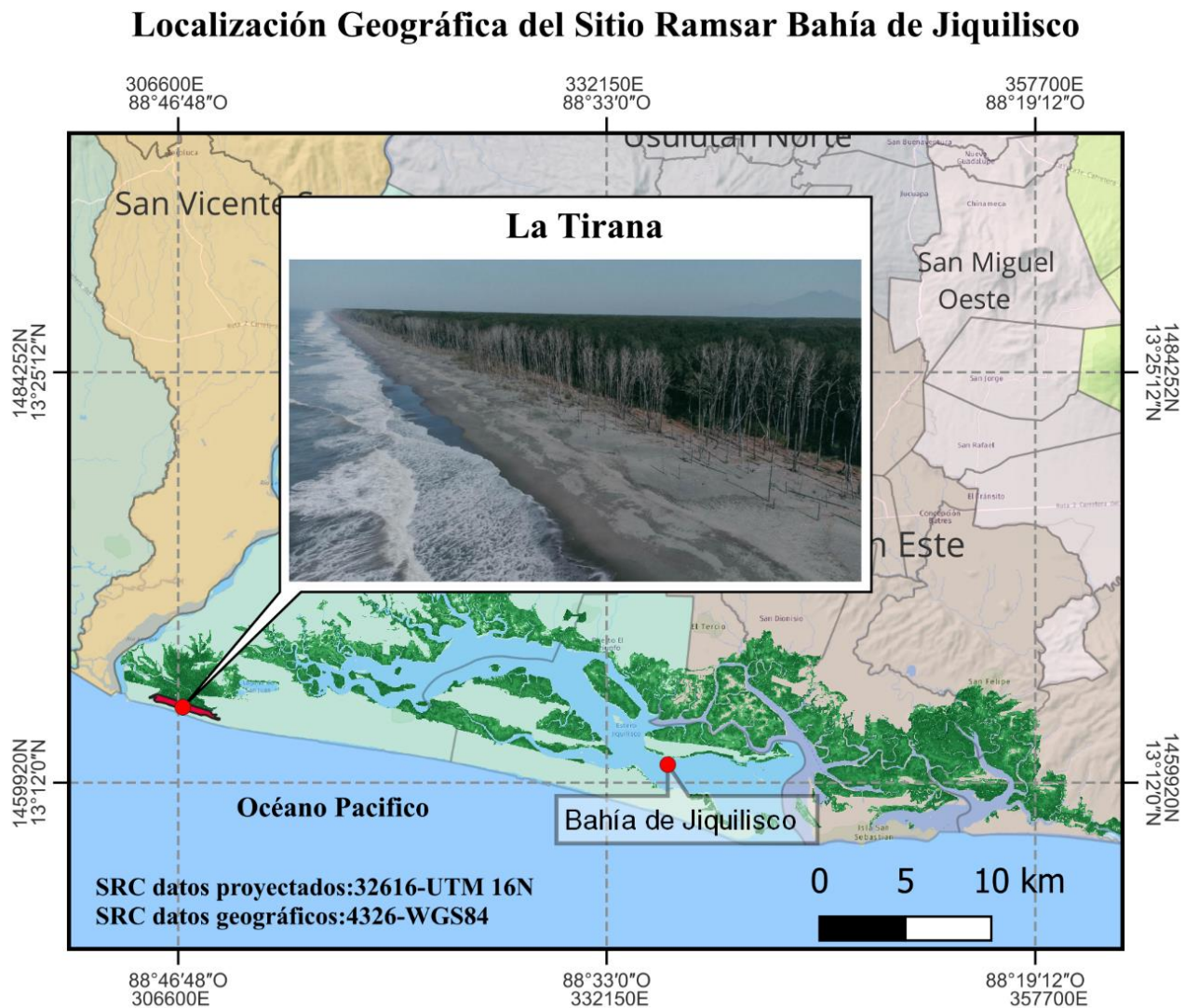
El manglar ubicado frente al océano pacífico ha perdido del tipo de mangle rojo a lo largo de 3.5 km aproximadamente frente al mar.

El estudio de la ONU en 2007 consignaba que la subida del nivel del mar se debe a que la temperatura del planeta aumentó. Expertos han dicho que la presión del cambio climático recae fuertemente sobre el océano.

Solo en los últimos años, la temperatura global, según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) aumentó casi un grado centígrado. El aumento de los niveles del mar se debe a ese calentamiento del planeta: cuando el agua del océano se calienta se expande. Además, grandes formaciones de hielo, como los glaciares y los casquetes polares se derriten más rápidamente y no se recuperan. Organizaciones como la Asociación Mangle y Cesta advierten que el aumento del nivel del mar ha impactado el manglar, que es susceptible a los cambios de salinidad y la estructura de las playas cercanas que sufren el aumento del oleaje que ya arrasó con ranchos y casas.

**Figura 47**

*Ubicación geográfica del sitio de estudio.*



Nota. Localización geográfica de la zona la Tirana. Elaboración Propia.

## Avance del mar hacia el mangle en el periodo de 2015 a 2023

### Figura 48

*Imagen del avance del mar año 2015.*



**11 de marzo de 2015**  
Deterioro estimado: **94.7 metros**

Fuente. (Google Earth), (elfaro, 2024).

**Figura 49**

*Imagen del avance del mar año 2017.*



**29 de octubre de 2017**  
Deterioro estimado: **126.0 metros**

Fuente. (Google Earth), (elfaro, 2024)

**Figura 50**

*Imagen del avance del mar año 2019.*



**18 de diciembre de 2019**  
Deterioro estimado: **132.0 metros**

Fuente. (Google Earth), (elfaro, 2024).

**Figura 51**

*Imagen del avance del mar año 2020.*



**23 de mayo de 2020**  
Deterioro estimado: **116.0 metros**

Fuente. (Google Earth), (elfaro, 2024).

**Figura 52**

*Imagen del avance del mar año 2021.*



**7 de enero de 2021**  
Deterioro estimado: **140.0 metros**

Fuente. (Google Earth), (elfaro, 2024).

**Figura 53**

*Imagen del avance del mar año 2022.*



**1 de diciembre de 2022**  
Deterioro estimado: 112.0 metros

Fuente. (Google Earth), (elfaro, 2024).

**Figura 54**

*Imagen del avance del mar año 2023.*



**10 de noviembre de 2023**  
Muestra final del desplazamiento del manglar  
13°14'26.62"N 88°47'1.47"W

Fuente. (Google Earth), (elfaro, 2024).

### **Otras causas del deterioro del mangle.**

Estas son debido al mal manejo de los recursos del manglar, y malas prácticas por parte de las personas:

#### **1. Tala de árboles.**

##### **Figura 55**

*La tala de árboles y la extracción de madera.*



Fuente. (elfaro, 2024)

## 2. Mal uso de los desechos sólidos.

### Figura 56

*Campañas de limpieza ejecutadas por los mismos habitantes.*



Fuente. (elfaro, 2024)

## 3. Expansión de la caña de azúcar en la zona.

Hay químicos que se utilizan para el desarrollo de este monocultivo que atentan contra la salud de todas las personas, ya el Ministerio de Salud ha señalado que el Glifosato es un causante principal de la insuficiencia renal en los habitantes de la zona marino-costera.

Hace unos tres años habitantes de la comunidad La Tirana detuvo el establecimiento de 450 mz de caña de azúcar que iban a ser plantadas en las cercanías del bosque de manglar donde se da mayormente la producción de punche, y es que, al ser plantada la caña, los agroquímicos que esta requiere para su crecimiento afectarían significativamente a los crustáceos.

**Figura 57**

*Vista aérea de daño al manglar en la cercanía de la desembocadura del río lempa.*



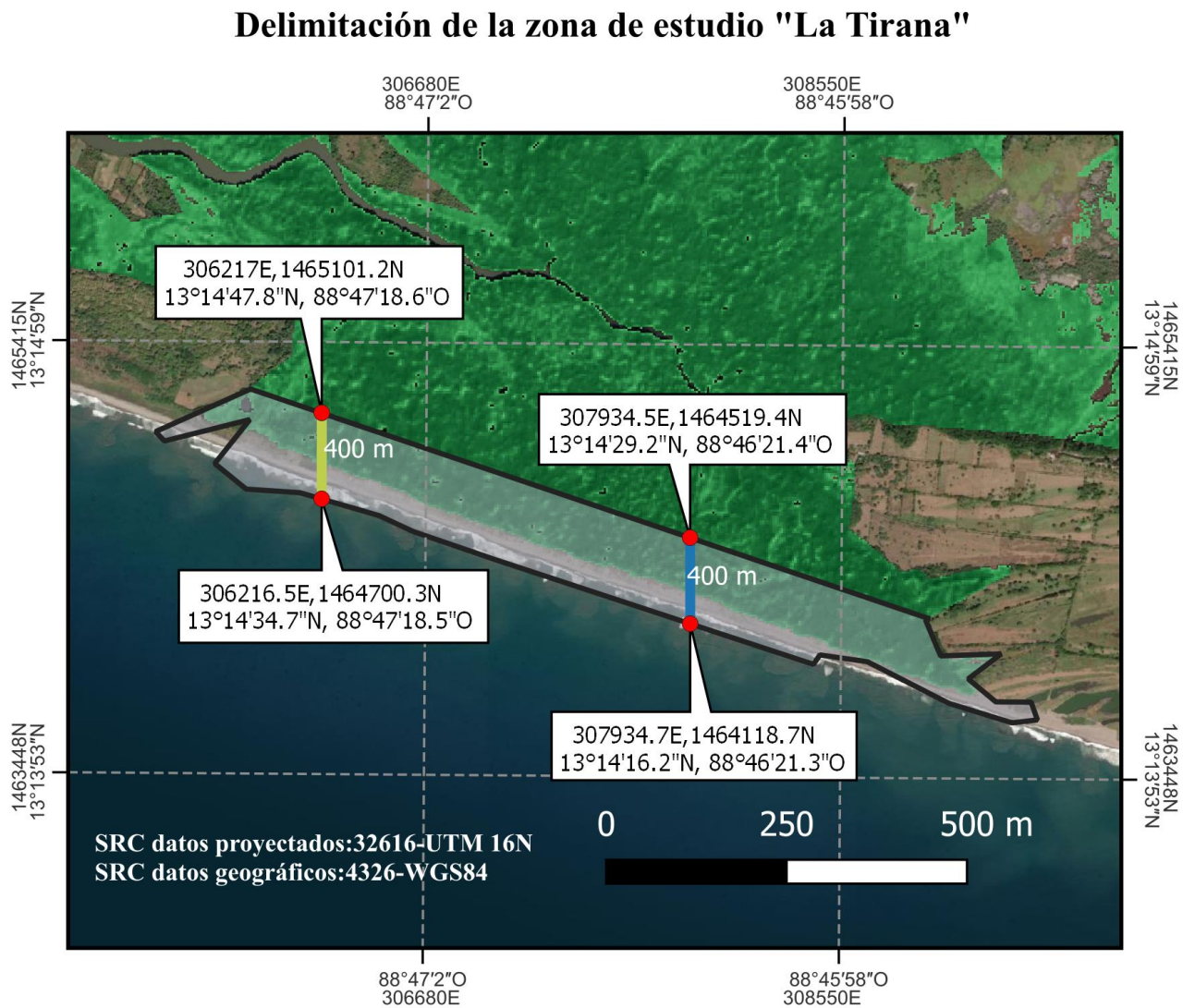
Fuente. (elfaro, 2024).

A continuación, se hace un análisis sobre la cobertura del manglar para estimar la cantidad de manzanas de manglar que se ha perdido desde el año 2017 hasta 2024.

Primeramente, delimitamos la zona de estudio para su posterior análisis.

Figura 58

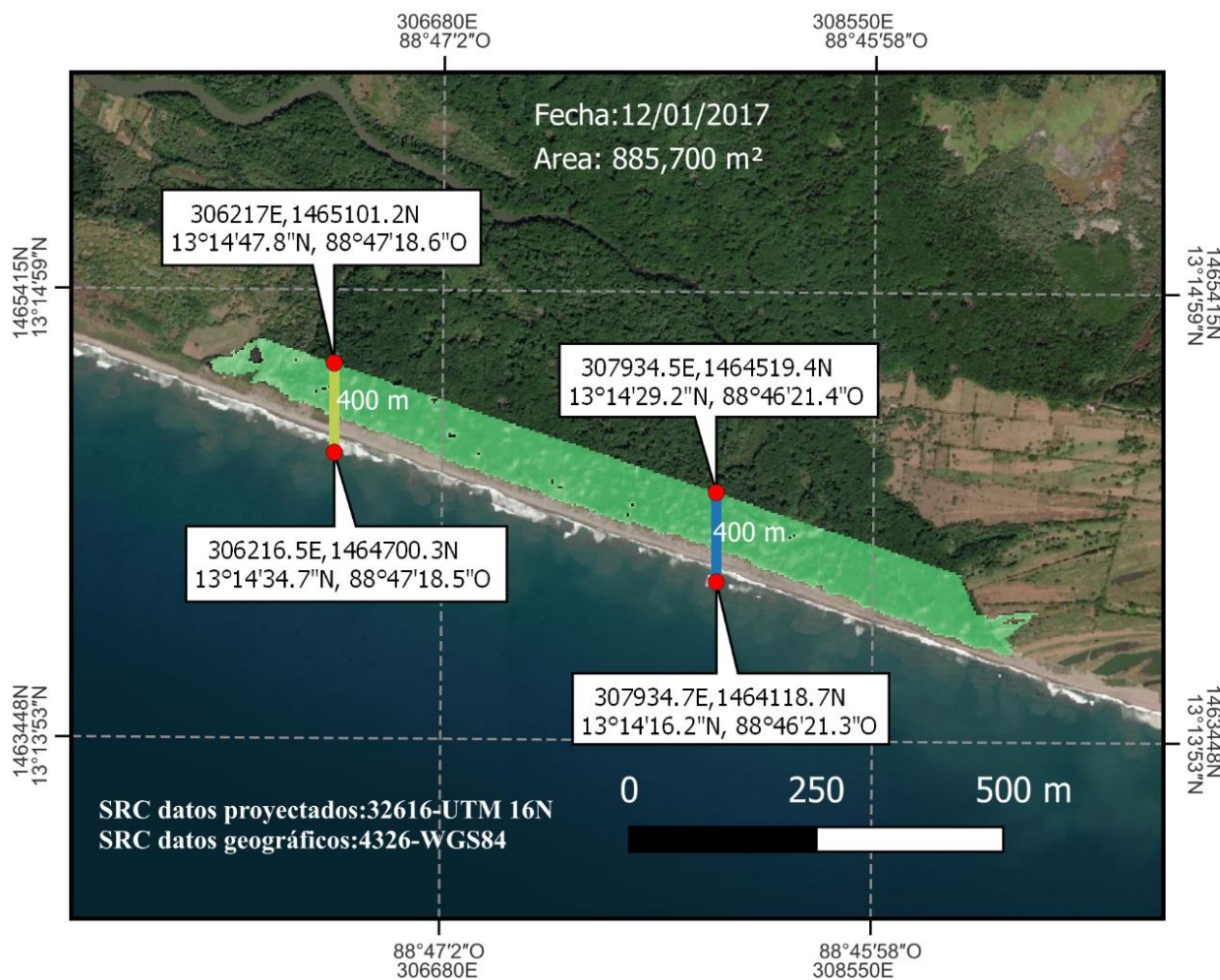
Delimitación del área de estudio.



Nota. Área delimitada de la zona La Tirana para el análisis. Elaboración Propia.

**Figura 59**

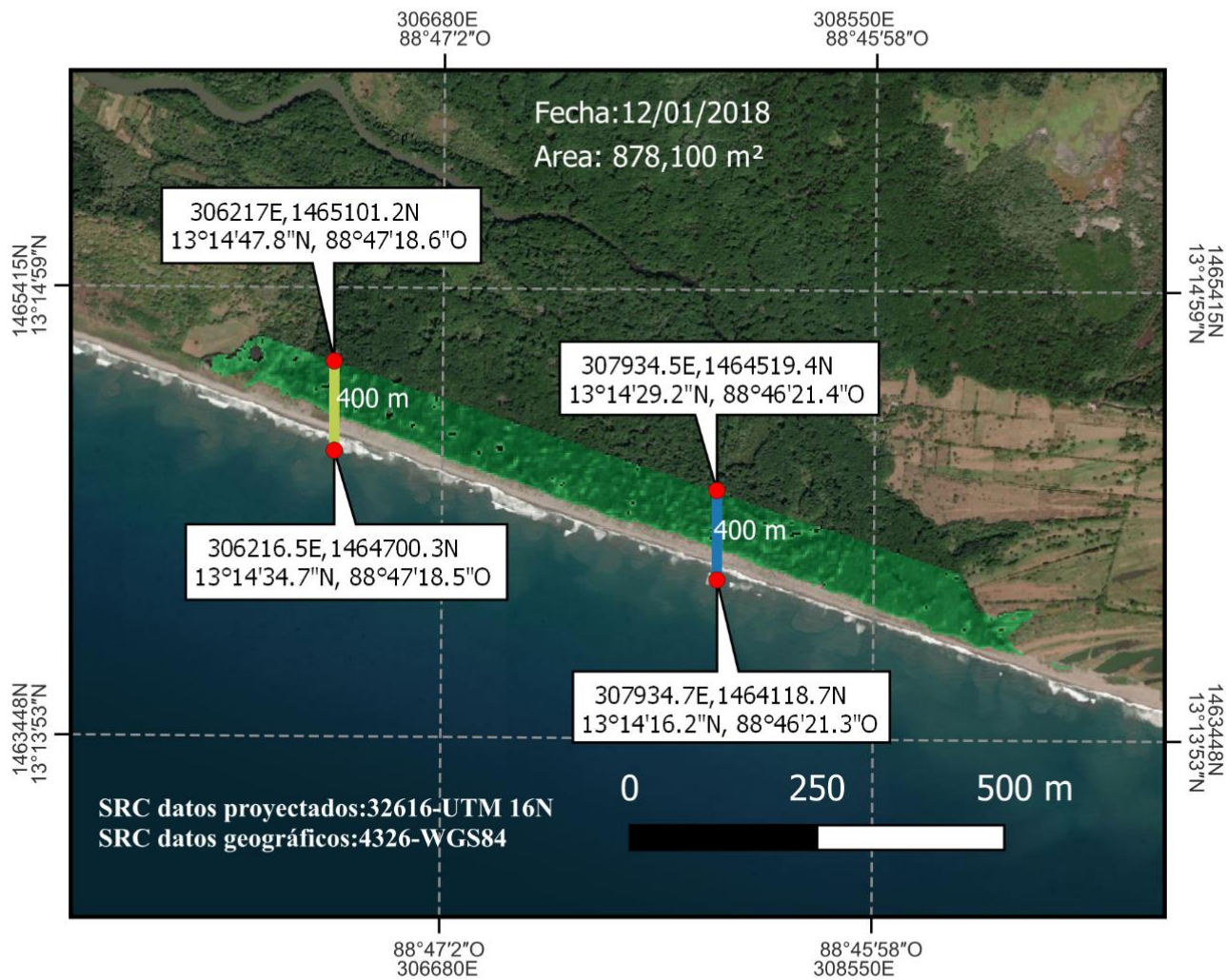
Área afectada para el año 2017.



Nota. El área de cobertura para el año 2017 fue de 885,700 m<sup>2</sup>. Elaboración Propia.

**Figura 60**

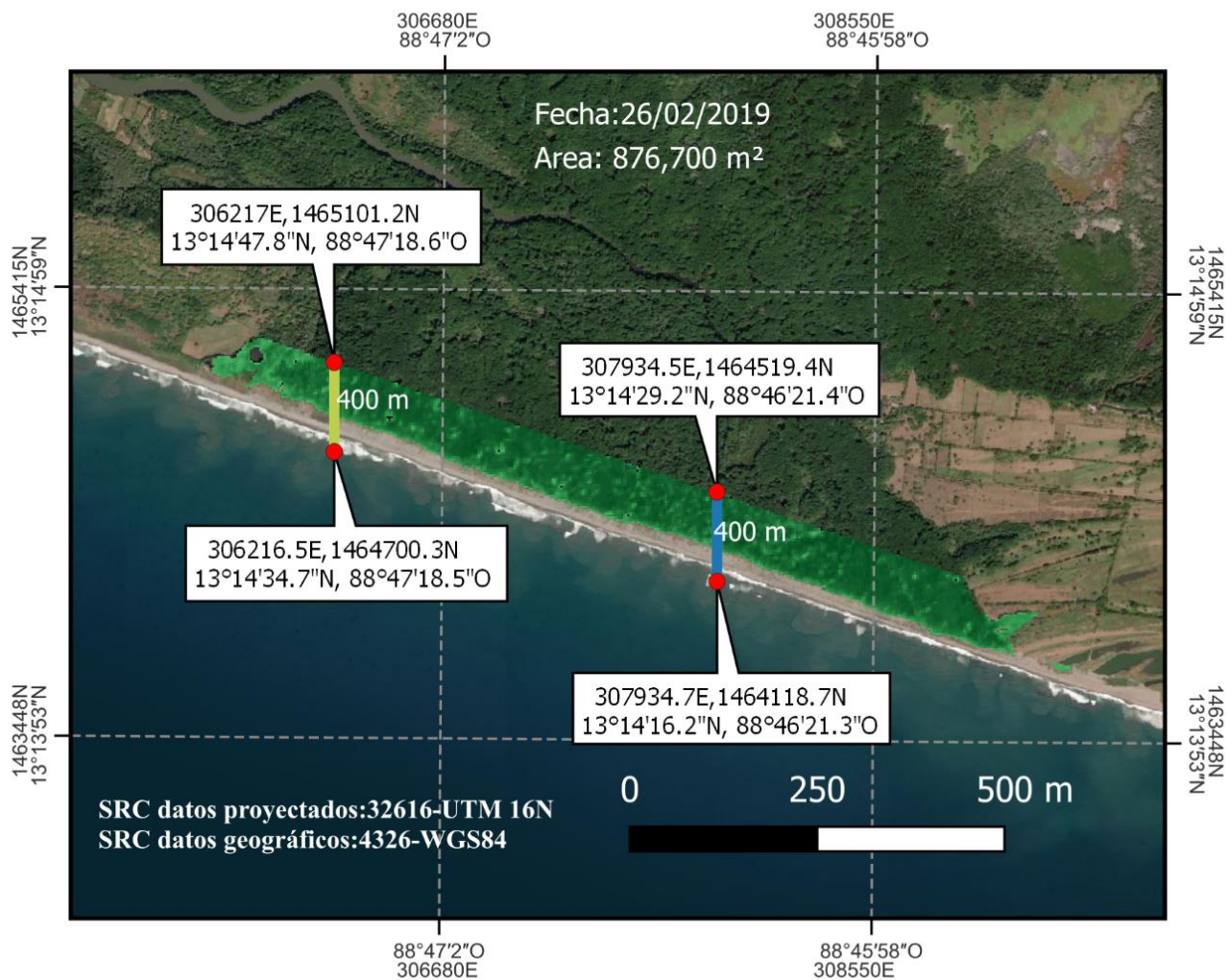
Área afectada para el año 2018.



Nota. El área de cobertura para el año 2018 fue de 878,100 m<sup>2</sup>. Elaboración Propia.

**Figura 61**

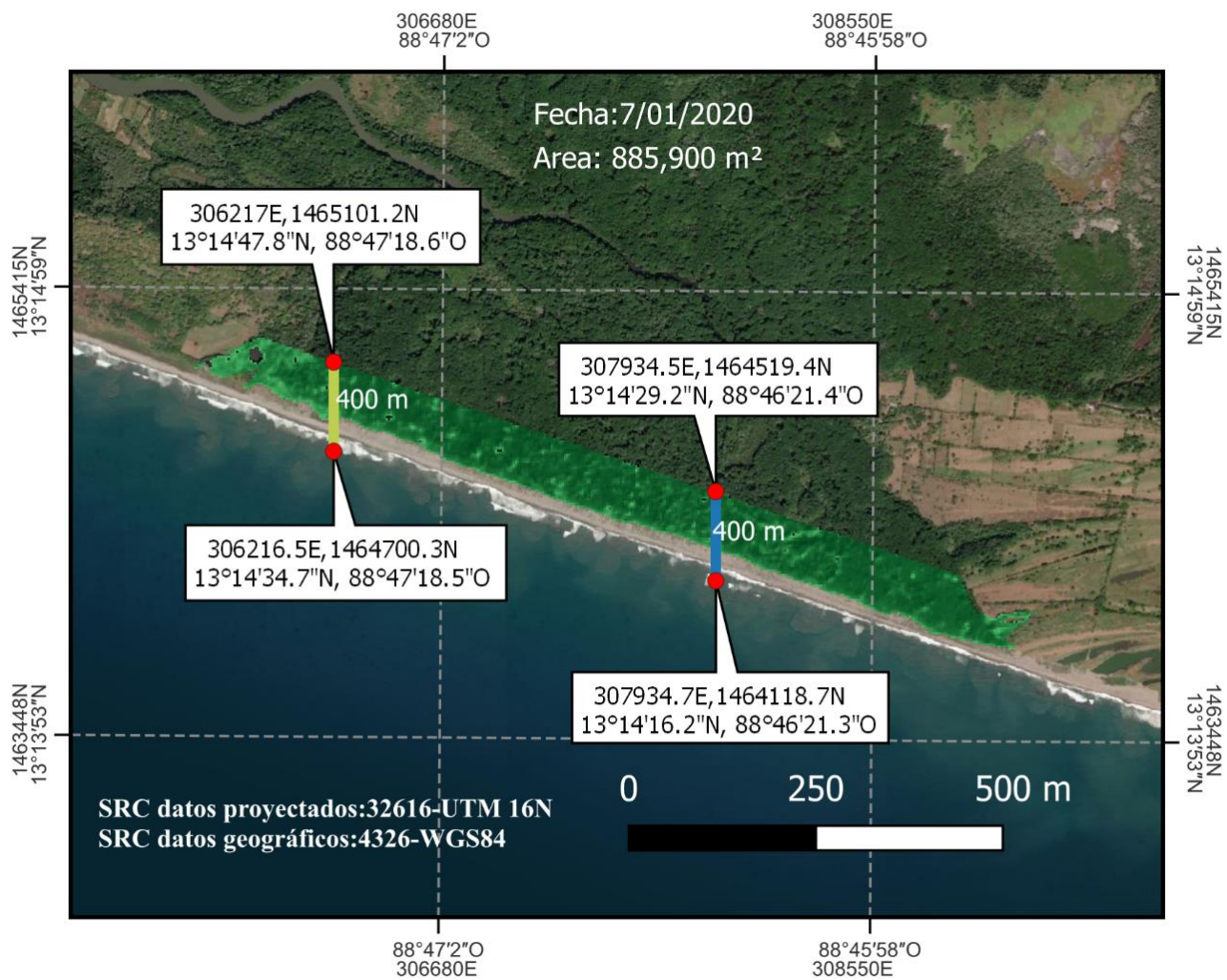
Área afectada para el año 2019.



Nota. El área de cobertura para el año 2019 fue de 876,700 m<sup>2</sup>. Elaboración Propia.

**Figura 62**

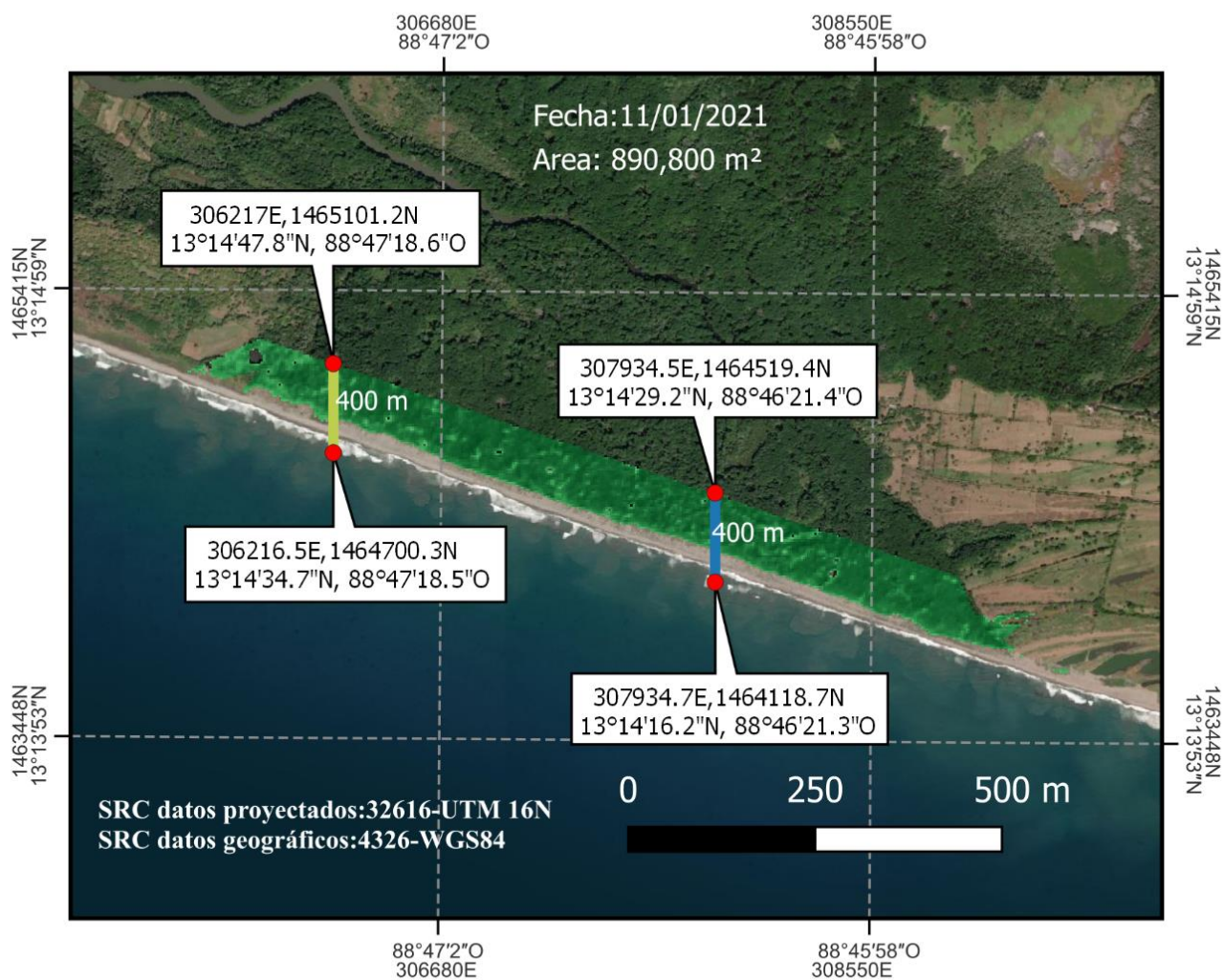
Área afectada para el año 2020.



Nota. El área de cobertura para el año 2020 fue de 885,900 m<sup>2</sup>. Elaboración Propia.

**Figura 63**

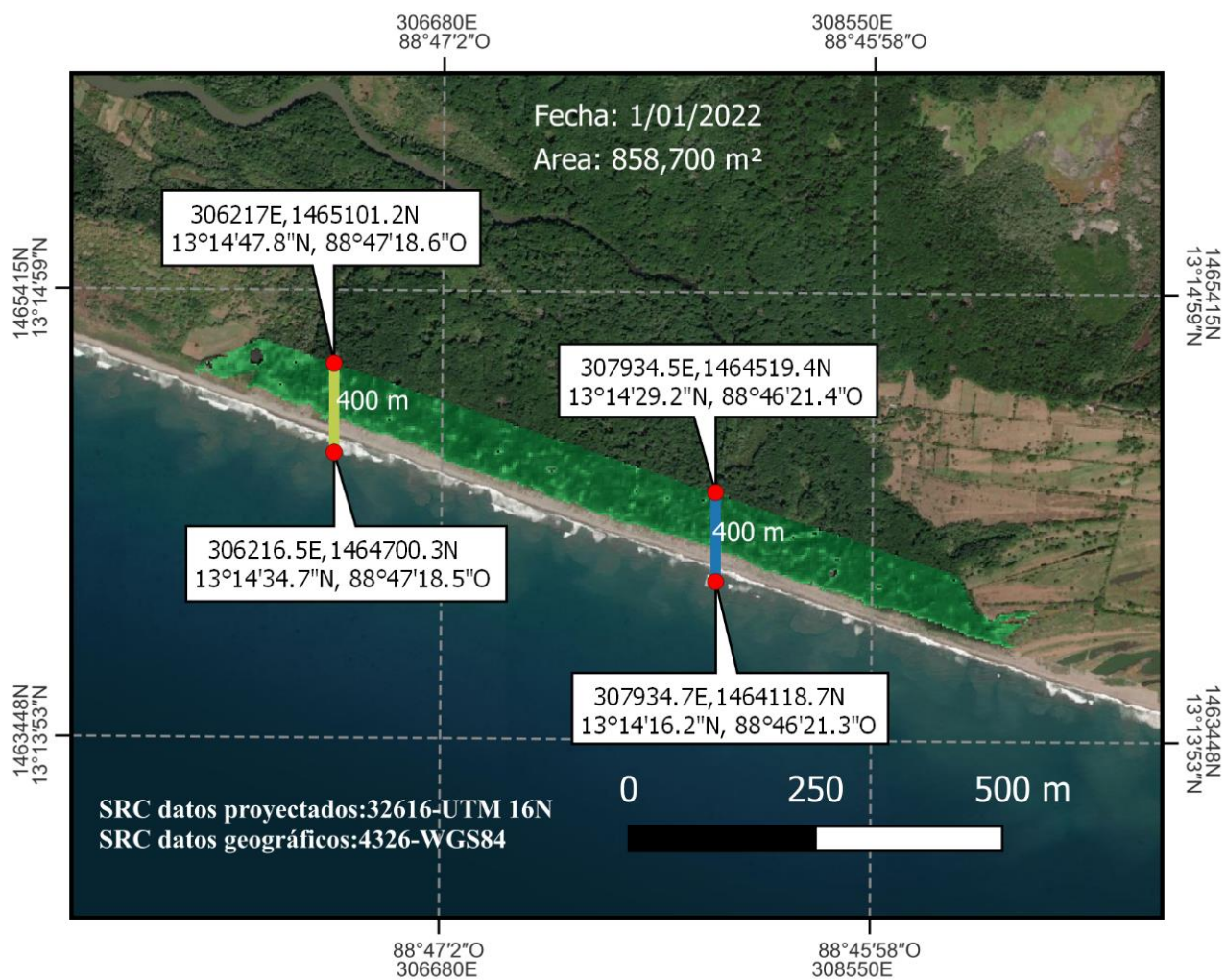
Área afectada para el año 2021.



Nota. El área de cobertura para el año 2021 fue de 890,800 m<sup>2</sup>. Elaboración Propia.

**Figura 64**

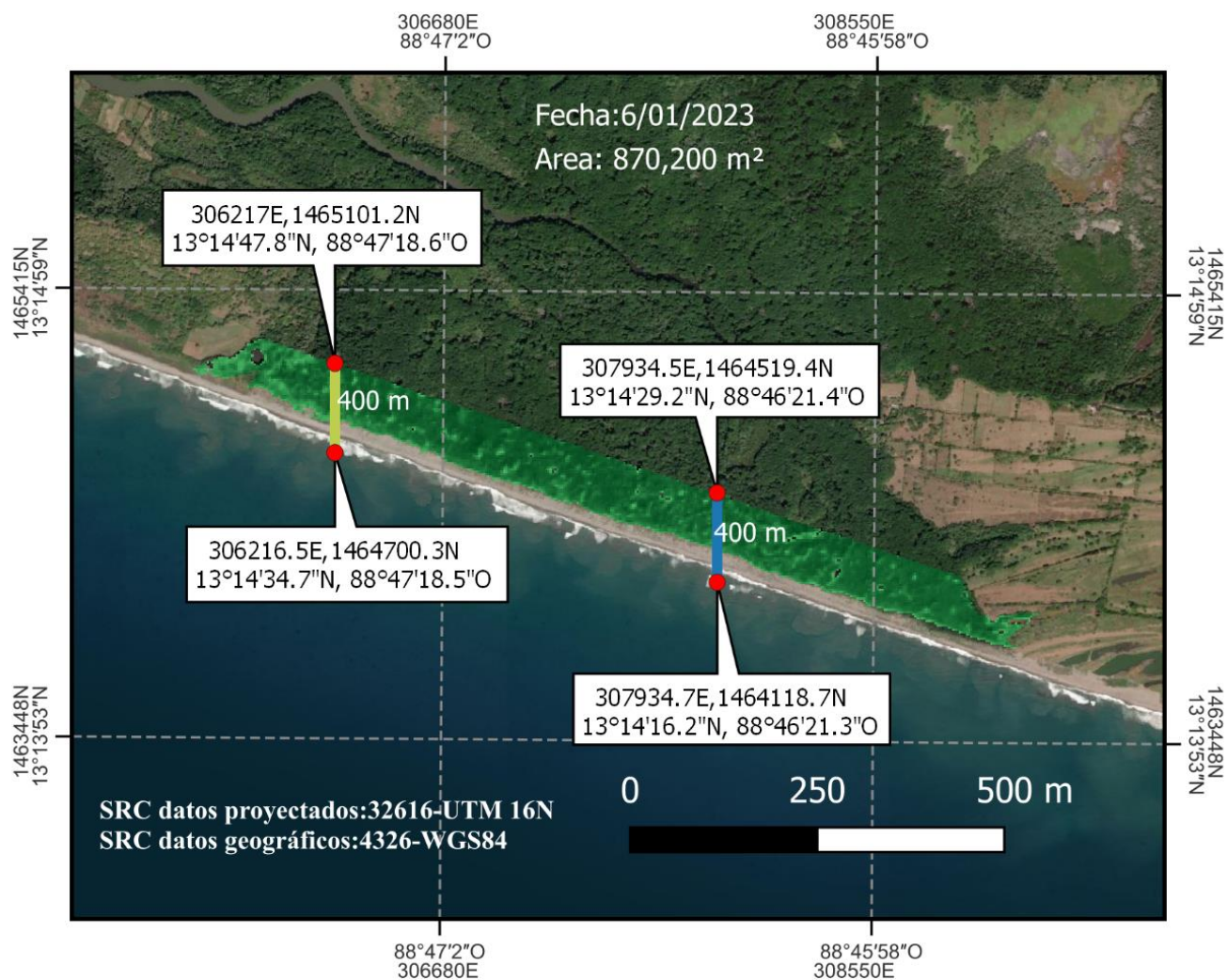
Área afectada para el año 2022.



Nota. El área de cobertura para el año 2022 fue de 858,700 m<sup>2</sup>. Elaboración Propia.

**Figura 65**

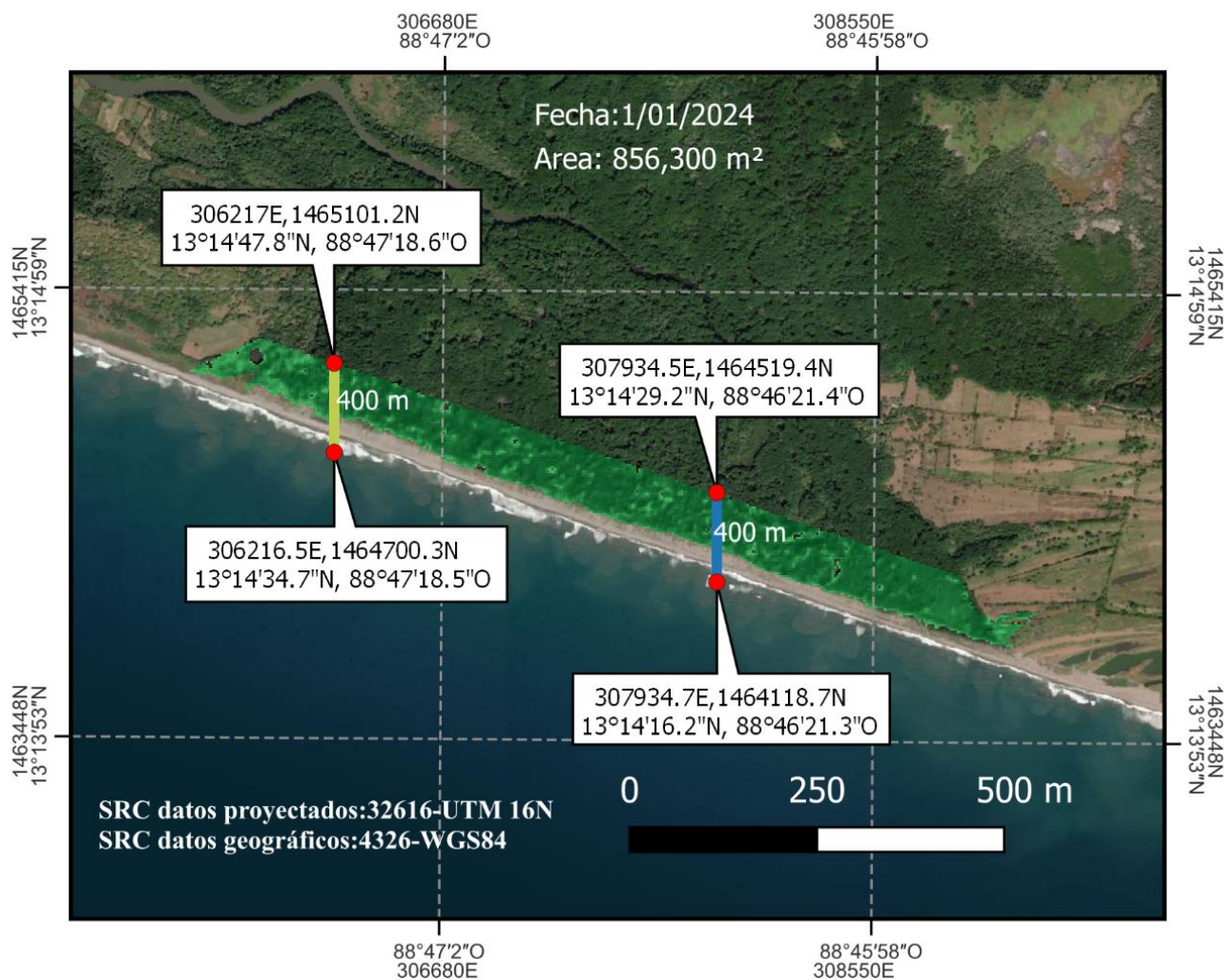
Área afectada para el año 2023.



Nota. El área de cobertura para el año 2023 fue de 870,200 m<sup>2</sup>. Elaboración Propia.

**Figura 66**

Área afectada para el año 2024.



Nota. El área de cobertura para el año 2024 fue de 856,300 m<sup>2</sup>. Elaboración Propia.

Estimando las pérdidas de la cobertura del manglar desde el año 2017 hasta 2024 en esta zona se ha perdido aproximadamente 23,000 m<sup>2</sup> de manglar lo que equivale a 2.3 ha (3.29 mz).

Sistema de Conversión de Unidades  $1 \text{ m}^2 = 1 \times 10^{-6} \text{ km}^2$  -----  $1 \text{ ha} = 0.01 \text{ km}^2$   
 $0.7 \text{ ha} = 1 \text{ mz}$  -----  $1 \text{ ha} = 10,000 \text{ m}^2$

**Tabla 4***Áreas afectadas por el incremento del mar.*

Áreas afectadas por el incremento del nivel del mar				
Año	Mes	Día	Área (m <sup>2</sup> )	Variación de Cobertura (m <sup>2</sup> )
2017	1	12	885,700	-
2018	1	12	878,100	7,600
2019	2	26	876,700	9,000
2020	1	7	885,900	-200
2021	1	11	890,800	-5,100
2022	1	1	858,700	27,000
2023	1	6	870,200	15,500
2024	1	1	856,300	29,400

Fuente. Elaboración Propia.

**3.4 Diagnóstico del estado actual del ecosistema del Sitio Ramsar**

Diagnóstico del estado actual de los manglares y humedales del sitio ramsar bahía de Jiquilisco.

A continuación, se muestra los siguientes mapas 1983 y 1999 de la cobertura y distribución de los manglares en la Bahía de Jiquilisco, según el Centro Nacional de Registro y Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Por lo tanto, para realizar el siguiente análisis se debe delimitar y cuantificar las áreas identificadas como manglares para ambos años, seguidamente, se hace la comparación entre las series temporales creadas del periodo 2017-2024.

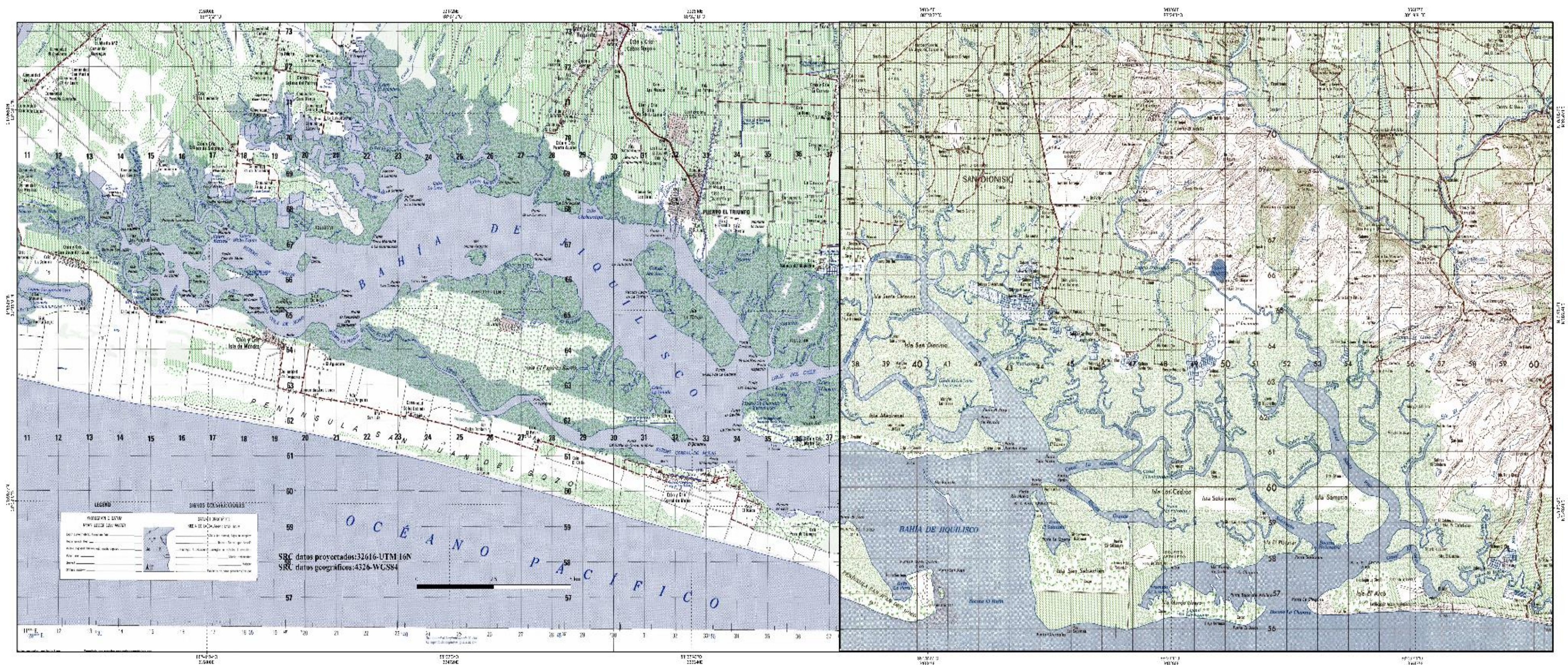
Figura 67

Cobertura y distribución del manglar de la bahía de Jiquilisco para los años 1999 y 1983.

## Cobertura y Distribución de manglares y humedales de la Bahía de Jiquilisco en los años:

1999

1983



Nota. Estado de la cobertura de la bahía de Jiquilisco para los años 1999 y 1983.

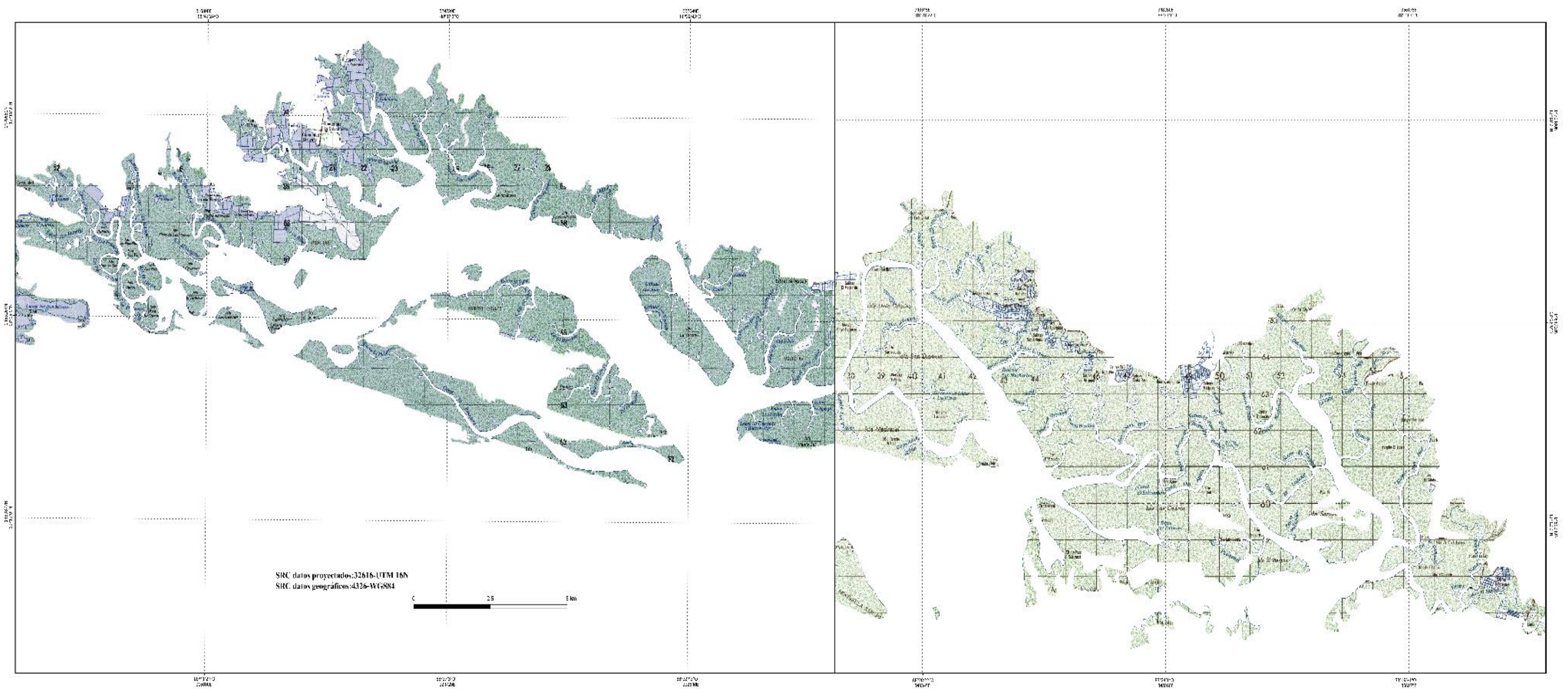
Figura 68

Delimitación del área que contiene los manglares y humedales.

## Cobertura y Distribución de manglares y humedales de la Bahía de Jiquilisco en los años:

### 1999

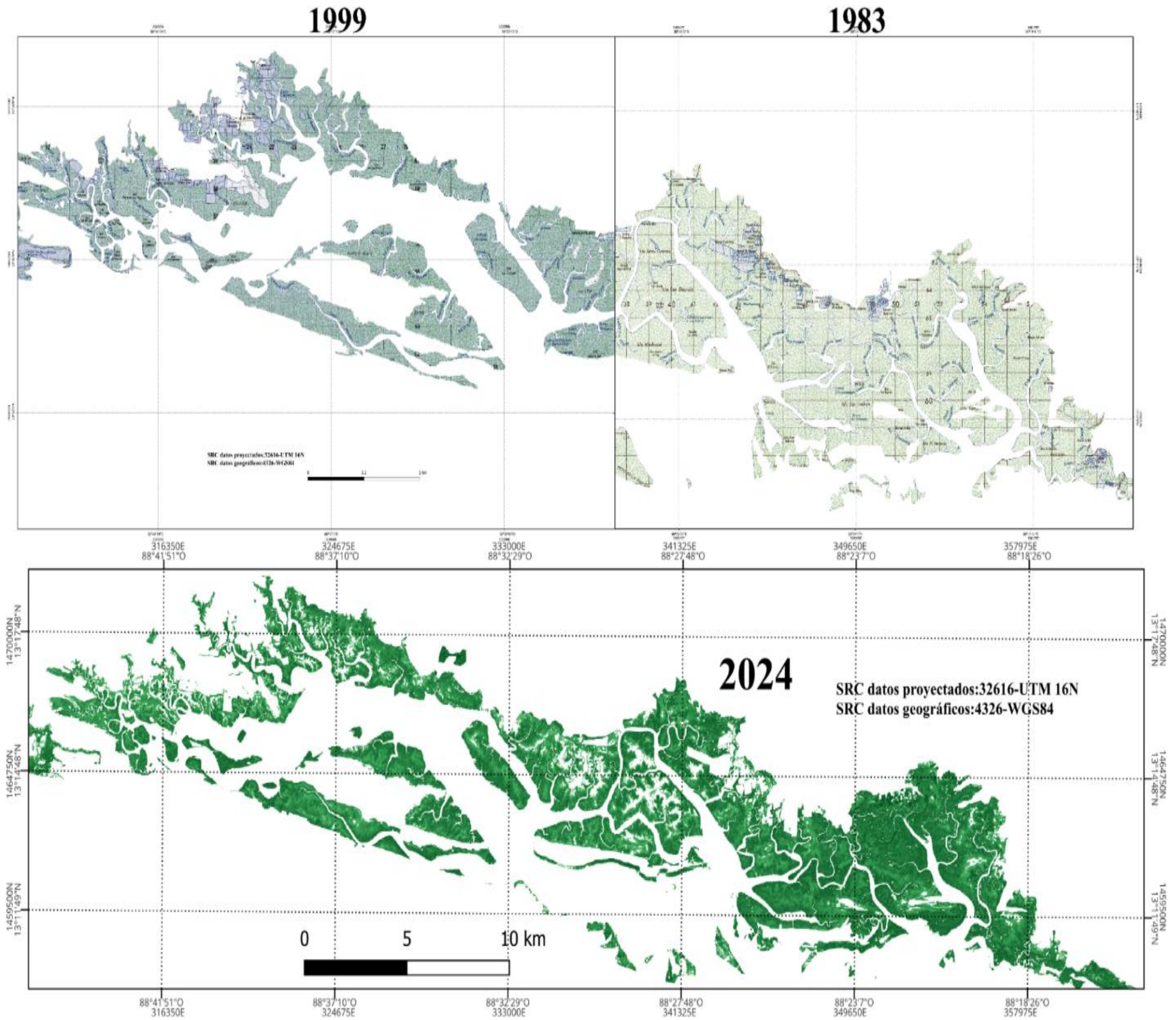
### 1983



Nota. Estado de la cobertura de la bahía de Jiquilisco para los años 1999 y 1983. Elaboración Propia.

Figura 69

Comparación y cuantificación de las áreas.



Nota. Comparación de las áreas de los manglares de los años 1983 y 1999, respecto a las dimensiones de las áreas del año 2024. Elaboración Propia.

Aplicando el análisis tenemos los siguientes resultados.

**Tabla 5**

*(A y B) Análisis de cobertura del sitio Ramsar.*

(A)

Sitio Ramsar Bahía de Jiquilisco en la zona ESTE 1983-2024

Año	Cobertura (Km <sup>2</sup> )	Variación Relativa	Variación Aproximada	Variación de Cobertura (Km <sup>2</sup> )
1983	112.48	100%	0%	0
2017	98.15	87%	13%	14.34
2018	96.79	86%	14%	15.69
2019	90.49	80%	20%	21.99
2020	97.53	87%	13%	14.95
2021	98.22	87%	13%	14.26
2022	93.00	83%	17%	19.48
2023	95.59	85%	15%	16.89
2024	96.90	86%	14%	15.59

Fuente. Elaboración Propia.

(B)

Sitio Ramsar Bahía de Jiquilisco en la zona OESTE 1999-2024

Año	Cobertura (Km <sup>2</sup> )	Variación Relativa	Variación Aproximada	Variación de Cobertura (Km <sup>2</sup> )
1999	93.18	100%	0%	0
2017	74.41	80%	20%	18.78
2018	71.03	76%	24%	22.15
2019	62.75	67%	33%	30.43
2020	73.67	79%	21%	19.51
2021	74.41	80%	20%	18.77
2022	67.51	72%	28%	25.68
2023	70.38	76%	24%	22.80
2024	73.80	79%	21%	19.38

Fuente. Elaboración Propia.

### 3.5 Visita Técnica a la Bahía de Jiquilisco

#### Figura 70

*Imagen tomada desde una salinera de puerto Parada.*



Nota. Coordenadas de ubicación de la toma aérea 13,254, -88,442. Elaboración Propia.

#### Figura 71

*Imagen tomada desde el muelle de puerto Parada Usulután.*



Nota. Coordenadas de ubicación de la toma aérea 13,251, -88,439. Elaboración Propia.

**Figura 72**

*Integrantes del grupo de investigación en el Sitio Ramsar Bahía de Jiquilisco.*



Nota. Fotografía tomada desde una camaronera de salinas El Potrero. Elaboración Propia.

**Figura 73**

*Docente asesor e integrantes del grupo en zona de cultivo, dentro de la Bahía de Jiquilisco.*



Nota. Fotografía tomada desde una camaronera de salinas El Potrero. Elaboración Propia.

### 3.5.1 Imágenes tomadas con dron en visita técnica a la Bahía de Jiquilisco.

#### Figura 74

*Imagen tomada desde el muelle El Malecón, puerto El Triunfo Usulután.*



Nota. Coordenadas de ubicación de la toma aérea 13,268, -88,551. Elaboración Propia.

#### Figura 75

*Imagen tomada desde el muelle El Malecón, puerto El Triunfo Usulután.*



Nota. Coordenadas de ubicación de la toma aérea 13,268, -88,551. Elaboración Propia.

**Figura 76**

*Imagen tomada desde el muelle El Malecón, puerto El Triunfo Usulután.*



Nota. Coordenadas de ubicación de la toma aérea 13,268, -88,551. Elaboración Propia.

**Figura 77**

*Imagen tomada desde la salinera, puerto Parada Usulután.*



Nota. Coordenadas de ubicación de la toma aérea 13,254, -88,442. Elaboración Propia.

**Figura 78**

*Imagen tomada con dron de la bahía de Jiquilisco.*



Nota. Coordenadas de ubicación de la toma aérea 13,251, -88,439. Elaboración Propia.

**Figura 79**

*Imagen tomada con dron de la bahía de Jiquilisco, Puerto Parada.*



Nota. Coordenadas de ubicación de la toma aérea (13,254, -88,442). Elaboración Propia.

**Figura 80**

*Imagen tomada con drone de la bahía de Jiquilisco, Salinas el Potrero.*



Nota. Coordenadas de ubicación de la toma aérea (13,300, -88,671). Elaboración Propia.

**Figura 81**

*Imagen tomada con drone de la bahía de Jiquilisco, Puerto Parada.*



Nota. Coordenadas de ubicación de la toma aérea (13,254, -88,442). Elaboración Propia

## CONCLUSIONES

- ❖ En la zona conocida como El Turco, puerto parada, Usulután (13.248, -88.456), la industria de cultivo de camarón ha incrementado sus operaciones lo que ha provocado la necesidad de expandirse, llegando a ocupar más territorio para sus estanques desde que dio inicio en el 2015 hasta la fecha, en la actualidad abarca un área aproximadamente de 240,525.883 m<sup>2</sup> (24.053 ha, 34.415 mz), las cuales se encuentran dentro del margen de las zonas declaradas por el ministerio de medio ambiente como áreas protegidas de la bahía de Jiquilisco, y es así como las industrias camaroneras y salineras han eliminado aquella regeneración natural que se había logrado con la asociación MANGLE.

Por otra parte, se analizó las series temporales de imágenes NDVI creadas para observar los cambios de la cobertura de la vegetación de los manglares en los alrededores de los estanques dentro del periodo 2017 – 2024, por lo tanto, se logró observar el incremento de 24.053 ha. (34.415 mz) en la expansión territorial de la industria del camarón y la degradación de la vegetación en la zona conocida como el “Turco”.

- ❖ En la zona occidental de la bahía de Jiquilisco (13.241309, -88.780581) exactamente frente al océano pacífico, se ha perdido una gran cantidad del tipo de mangle rojo a lo largo de aproximadamente 3.5 km a la orilla del mar, debido al cambio climático lo cual ha generado la expansión de océano dañando los manglares, hipotéticamente hay dos causas de los principales problemas que según la Asociación Mangle han impactado la vida y biodiversidad del manglar, la primera, es que su cercanía con la desembocadura del Río Lempa deja al manglar expuesto alta carga de sedimentos y cambios geográficos en el paisaje costero; el segundo es que, a causa del aumento en el oleaje y el nivel del mar en 112 m hacia adentro en el año 2022, los sedimentos marinos son arrastrados hasta la orilla, creando playas más extensas, llevando una mayor carga de salinidad a los manglares salobres, es decir aquellos que poseen una mezcla de agua dulce y salada.

- ❖ En la gráfica obtenida de la cobertura total del manglar de la zona de Jiquilisco Usulután, se logró observar mediante el análisis del NDVI para el periodo 2017-2024, que el año más crítico con una disminución significativa fue el año 2019 con un 11%, donde la cobertura de los manglares se ven más deteriorada, y esto es debido a los factores naturales y antropogénicos que hemos identificado. El resultado de nuestro análisis aplicando la teledetección, se identifica el caso antropogénico de la zona conocida como el Turco, en donde se vio reflejado el incremento del área los estanques camaroneros tras el curso del tiempo de 24.053 ha (34.415 mz), lo cual causó una notoria disminución de la regeneración natural que se había logrado en conjunto con los habitantes de la zona y diferentes asociaciones, por otra parte, un factor natural observado en nuestro análisis fue el caso #3, en donde el océano pacífico se está expandiendo en territorio, lo que ha provocado la degradación del manglar aproximadamente de 112 m hacia dentro.
  
- ❖ Para conservar los manglares de la bahía de Jiquilisco y de los otros Sitios Ramsar, se debe continuar con programas destinados a la restauración de los manglares y humedales. También implementar prácticas de manejo sostenible (Técnicas de restauración ecológica de manglares “REM”) y educar a las personas sobre la importancia de los manglares y los humedales. Todas las partes preocupadas por el deterioro de los manglares deben participar, incluidos el gobierno (MARN, FIAES), las ONG (Unidad Ecológica de El Salvador “UNES”, EcoViva), las organizaciones comunitarias (UNAUES, Asociación Mangle, Asociación Cincahuite), los miembros de la comunidad y las empresas privadas sí son adyacentes al sitio. También es fundamental garantizar el cumplimiento de las leyes (Ley General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales “Ley No. 64” y el acuerdo No. 195, Ley de Medio Ambiente “Decreto No. 233”) que, con la legislación nacional, se busca la Protección y vigilancia, la conservación e investigación de vida silvestre, la restauración ecológica y reforestación de manglares, la restauración y reforestación de ecosistemas colindantes. El gobierno forma una parte muy importante en el cuidado de los manglares y humedales, se deben crear leyes sumamente estrictas para protegerlos de la deforestación y la urbanización descontrolada, además, se necesita apoyar la investigación científica para encontrar formas sostenibles de conservación y cuidado de los manglares y humedales.

- ❖ En el análisis realizado para observar el cambio de la cobertura forestal durante el periodo de 2017 a 2024, se observó que el año más crítico en donde la cobertura de los manglares se ve más afectada es durante el año 2019 con un valor de reducción del 11% que representa 168.7749 km<sup>2</sup>. Sin embargo, para el año 2020-2021 en el marco de la pandemia de COVID-19, debido a las restricciones que implementó el gobierno salvadoreño, el manglar se recuperó en un valor entre el 10% y el 11% respecto al año 2019 que representa el punto más crítico con una reducción del 11% respecto al año 2017. Y también gracias a la intervención de agencias nacionales (Asociación Mangle, FIAES y EcoViva) y especialistas de la organización internacional MAP (Mangrove Action Project), que han estado implementando técnicas comunitarias de Restauración Ecológica de Manglares (REM) desde el año 2011. Se ha logrado restaurar parte del manglar que se había perdido. Uno de estos casos es el caso #2 en el sitio protegido conocido como El Llorón o “El Quemado”, en donde se aplicó un análisis en el área para observar el posible aumento de la vegetación debido a la intervención del ser humano, obteniendo un resultado de aproximadamente 18.7 ha (26.8 mz) de incremento para el año 2024 con respecto al año 2017.

## BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA MUNICIPAL DE PUERTO EL TRIUNFO. (1998). Proyecto: Manejo de los desechos sólidos de la ciudad de Puerto El Truinfo, Departamento de Usulután”.

Banco Mundial. (2019). Cinco razones para cuidar los manglares.

<https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2019/01/17/cinco-razones-para-cuidar-los-manglares>

Buendía Buendía, L. L.-, Ramírez, J. A.-, & Roldán Aragón, I. E. (2021). Cambios en la cobertura del bosque de mangle (2000-2017) en el sistema lagunar costero de Mandinga, Veracruz, México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 1–24.

<https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma/article/view/355>

Casasola, P. M., & Infante Mata, D. M. (2016). Conociendo los manglares, las selvas inundables y los humedales herbáceos (Primera Edición).

[https://www.itto.int/files/itto\\_project\\_db\\_input/3000/Technical/Conociendo%20los%20manglares%20y%20selvas%20inundables.pdf](https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/3000/Technical/Conociendo%20los%20manglares%20y%20selvas%20inundables.pdf)

CEUPE - European Business School. (n.d.). QGIS.

<https://www.ceupe.com/blog/qgis.html>

Chapra, S. C., & Canale, R. P. (n.d.). *Métodos numéricos para ingenieros* (5 Edición).

<http://artemisa.unicauca.edu.co/~cardila/Chapra.pdf>

Cherlinka, V. (2019). Preguntas frecuentes sobre el NDVI: Preguntas frecuentes sobre el índice.

<https://eos.com/blog/ndvi-faq-all-you-need-to-know-about-ndvi/>

CNR. (2003). Datos de la Dirección General de Catastro del Centro Nacional de Registro.

Copernicus. (n.d.). Instituto Geográfico Nacional.

<https://www.ign.es/web/copernicus/presentacion>

Copernicus Browser. (n.d.). Copernicus Browser.

[https://browser.dataspace.copernicus.eu/?zoom=5&lat=50.16282&lng=20.78613&themeId=DEFAULTTHEME&visualizationUrl=U2FsdGVkX1%2BX8kYffkUgnyJwFWv2D%2F3CDrfxV%2F83O8OwRN2TUWwTxfxaPFy0TlvoNKqo3rLbn65f9GyvB3kjzc1jes%2BWmNeqF70YvUgZMdNNiyu%2BBAM0ZJsY3qka%2FFus&datasetId=S2\\_L2A\\_CDAS&demSource3D=%22MAPZEN%22&cloudCoverage=30&dateMode=SINGLE](https://browser.dataspace.copernicus.eu/?zoom=5&lat=50.16282&lng=20.78613&themeId=DEFAULTTHEME&visualizationUrl=U2FsdGVkX1%2BX8kYffkUgnyJwFWv2D%2F3CDrfxV%2F83O8OwRN2TUWwTxfxaPFy0TlvoNKqo3rLbn65f9GyvB3kjzc1jes%2BWmNeqF70YvUgZMdNNiyu%2BBAM0ZJsY3qka%2FFus&datasetId=S2_L2A_CDAS&demSource3D=%22MAPZEN%22&cloudCoverage=30&dateMode=SINGLE)

CREHO Ramsar. (2010a). Manuales del curso de inducción.

<https://creho.org/manuales-del-curso-de-induccion/>

CREHO Ramsar. (2010b). TIPOS DE HUMEDALES.

<https://creho.org/humedales/tipos-de-humedales/>

Decreto Legislativo No 268 El Salvador. (1973). LEY FORESTAL.

<https://www.jurisprudencia.gob.sv/DocumentosBodega/D/2/1970-1979/1973/03/88A0B.PDF>

Decreto Legislativo No 852 El Salvador. (2002). Ley Forestal.

DEICO. (1998). Estrategia para el Desarrollo Sostenible de la Bahía de Jiquilisco.

Delgado Álvarez, J. L. (2018). ANALISIS NUMERICO Y ESTADISTICO PARA LA INTERPRETACION Y CLASIFICACION DE IMÁGENES SATELITALES.

[http://gtgiiag.umsa.bo/wp-content/uploads/2022/06/2018\\_ANALISIS-NUMERICO-Y-ESTADISTICO-PARA-LA-INTERPRETACION-Y-CLASIFICACION-DE-IMAGENES-SATELITALES.pdf](http://gtgiiag.umsa.bo/wp-content/uploads/2022/06/2018_ANALISIS-NUMERICO-Y-ESTADISTICO-PARA-LA-INTERPRETACION-Y-CLASIFICACION-DE-IMAGENES-SATELITALES.pdf)

elfaro. (2024, April 4). El manglar que se ahoga en el mar.

[https://elfaro.net/es/202404/ef\\_foto/27293/El-manglar-que-se-ahoga-en-el-mar.htm](https://elfaro.net/es/202404/ef_foto/27293/El-manglar-que-se-ahoga-en-el-mar.htm)

ESA. (n.d.). Satellite constellation.

[https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Satellite\\_constellation](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Satellite_constellation)

FAO. (2015). COMISION FORESTAL PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE.

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/06081551-4775-4662-89e9-5f836c822732/content>

Geoinnova. (2019, August 19). Composiciones RGB de imágenes satélite.

<https://geoinnova.org/blog-territorio/composiciones-rgb-de-imagenes-satelite/>

Google Earth. (2015). Google Earth. [https://earth.google.com/web/@14.12728572,-](https://earth.google.com/web/@14.12728572,-88.22468941,1179.09156214a,368420.9127842d,35y,6.58190162h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAaggBSg0I_ARAA)

[88.22468941,1179.09156214a,368420.9127842d,35y,6.58190162h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAaggBSg0I\\_ARAA](https://earth.google.com/web/@14.12728572,-88.22468941,1179.09156214a,368420.9127842d,35y,6.58190162h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAaggBSg0I_ARAA)

Ignacio Díaz Blasco, I. J. P. M. J. de L. F. E. G. S. L. S.-M. G. (2004). Plan de manejo del área natural y humedal de la bahía de Jiquilisco. 1–258.

Jiménez Pérez, I., Mármol, G., Sánchez Lino, & Funes Ábrego, C. (2004). Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. 1–14.

MARN. (2020, February 5). Presentan avances en la conservación de la biodiversidad de los humedales del país. <https://www.ambiente.gob.sv/presentan-avances-en-la-conservacion-de-la-biodiversidad-de-los-humedales-del-pais/>

MARROQUIN MENA, E. (1992). Diagnóstico de la Situación Actual y Dinámica del Deterioro del Ecosistema Estero-Manglares. 50pp.

Nations United. (2021). Día Mundial de los Humedales.

<https://www.un.org/es/observances/world-wetlands-day/background>

ONU. (2023, July 25). Tres cuartas partes de los manglares del mundo están amenazados |

Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2023/07/1522977>

Promotursv. (n.d.). SITIOS RAMSAR DE EL SALVADOR.

<https://promotursv.wordpress.com/2012/10/09/sitios-ramsar-de-el-salvador/>

QGIS. (n.d.). QGIS Documentation.

[https://docs.qgis.org/3.34/es/docs/user\\_manual/index.html](https://docs.qgis.org/3.34/es/docs/user_manual/index.html)

Ramsar. (2005, November 2). La Convención sobre los Humedales.

<https://www.ramsar.org/es/news/el-salvador-designa-su-segundo-sitio-ramsar>

TNC en América Latina. (n.d.). The Nature Conservancy

<https://www.nature.org/es-us/>

UNAUES. (2021, June 10). Manglares, ecosistemas que generan vida y equilibrio ambiental. 1–

3. <https://unidadambiental.ues.edu.sv/wp-content/uploads/sites/44/2022/07/boletin-10.pdf>

UNAUES. (2023, February 22). Los humedales son determinantes para mitigar el cambio

climático, pero están en peligro de desaparecer. 1–3. <https://unidadambiental.ues.edu.sv/wp-content/uploads/sites/44/2023/02/boletin-22.pdf>

Veterinarios sin Fronteras. (1996). Diagnóstico del sistema agrario de Usulután / Veterinarios sin Fronteras.

[http://abaco.uca.edu.sv/opacbf/verdetalle\\_.php?idobra=108141&searchType=materias&searchText=Desarrollo+agrario+Salvador&tipomaterial=0&cc=0&tipob=2](http://abaco.uca.edu.sv/opacbf/verdetalle_.php?idobra=108141&searchType=materias&searchText=Desarrollo+agrario+Salvador&tipomaterial=0&cc=0&tipob=2)

WAVES. (2016). Managing Coasts with Natural Solutions: Guidelines for Measuring and Valuing the Coastal Protection Services of Mangroves and Coral Reefs.

[www.wavespartnership.org](http://www.wavespartnership.org)

Yanes-Arancibia, A., & Lara-Domínguez, A. L. (1999). Ecosistemas de Manglar en América Tropical (Alejandro & A. Laura, Eds.; Primera).

[http://www1.inecol.edu.mx/cv/CV\\_pdf/libros/Ecosistemas\\_Manglar\\_2014.pdf](http://www1.inecol.edu.mx/cv/CV_pdf/libros/Ecosistemas_Manglar_2014.pdf)