



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



MAPAS DE COBERTURA FORESTAL Y USO DEL SUELO 2019-2021

Área de Usos Múltiples Monterrico y
Área de Usos Múltiples Hawaii

Proyecto de Biodiversidad de USAID Guatemala

4 de mayo de 2021

Esta publicación fue producida para ser revisada por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. Fue preparada por Chemonics International Inc.

MAPAS DE COBERTURA FORESTAL Y USO DEL SUELO 2019-2021

Área de Usos Múltiples Monterrico y
Área de Usos Múltiples Hawaii

DISCLAIMER

Los puntos de vista del autor expresados en esta publicación no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional o del Gobierno de los Estados Unidos.

MAPAS DE COBERTURA FORESTAL Y USO DEL SUELO 2019-2021

Área de Usos Múltiples Monterrico y
Área de Usos Múltiples Hawaii

Contrato No. PBG-132

Foto de portada: Manglares de AUMH y RNUMM (Credit: Alejandro Borrayo y Miguel Avila/Consultor TopoSIG).

DISCLAIMER

Los puntos de vista del autor expresados en esta publicación no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional o del Gobierno de los Estados Unidos.

CONTENIDO

CONTENIDO	2
ACRÓNIMOS	4
I. resumen ejecutivo	1
2. ANTECEDENTES	2
2.1 Cobertura forestal	2
2.2 Ecosistema de manglar pacífico	3
2.3 Monitoreo forestal	4
3. MÉTODO Y MATERIALES	5
3.1 Selección de sensor remoto	5
3.2 Corrección radiométrica	6
3.3 Corte de Área de estudio	6
3.4 Definición de usos a mapear	6
3.5 Clasificación por segmentos a escala 1:15,000	7
3.6 Levantamiento de datos de campo	7
3.7 Edición manual	7
3.8 Mapa de uso del suelo	8
3.9 Validación de productos	8
4. Resultados	9
4.1 Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico	10
4.1.1 Mapa de uso del suelo y Cobertura de mangle 2021	10
4.1.2 Mapa de uso del suelo y Cobertura de mangle 2020	14
4.1.3 Mapa de uso del suelo y Cobertura de mangle 2019	17
4.2 Área de Usos Múltiples Hawaii	20
4.2.1 Mapa de uso del suelo y Cobertura de mangle 2021	20
4.2.2 Mapa de uso del suelo y Cobertura de mangle 2020	23
4.3. Validación de productos	26
5. Conclusiones	27
6. Citas bibliográficas	28
7. Anexos	29
Anexo 1: Bitácora de campo	30
Anexo 2: Mapas finales área de estudio RNUMM y AUMH de uso del suelo 2019-2021	37
Anexo 3: Mapas finales área de estudio RNUMM y AUMH cobertura de mangle 2019-2021	40
Anexo 4: Mapa de uso del suelo y cobertura de mangle AUMH 2019: este mapa no fue solicitado pero se realizó por la importancia que puede tener para los administradores del área protegida.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Método estándar para clasificación supervisada de imágenes seguido por Consultor TopoSIG para la elaboración de los mapas.	5
Figura 2. Mapa de ubicación de Área de estudio.	9
Figura 3. Mapa de uso del suelo RNUMM 2021.....	12
Figura 4. Mapa de cobertura de mangle RNUMM 2021.....	13
Figura 5. Mapa de uso del suelo RNUMM 2020.....	15
Figura 6. Mapa de cobertura de mangle RNUMM 2020.....	16
Figura 7. Mapa de uso del suelo RNUMM 2019.....	18
Figura 8. Mapa de cobertura de mangle RNUMM 2019.....	19
Figura 9. Mapa de uso del suelo AUMH 2021.	21
Figura 10. Mapa de cobertura de mangle del AUMH 2021.	22
Figura 11. Mapa de uso del suelo AUMH 2020.....	24
Figura 12. Mapa de cobertura de mangle 2020.	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Imágenes satelitales del sensor remoto sentinel-2 utilizadas.	6
Tabla 2. Cálculo de métricas por uso del suelo 2021 para la RNUMM.	10
Tabla 3. Cálculo de métricas por uso del suelo 2020.....	14
Tabla 4. Cálculo de métricas por uso del suelo 2019.....	17
Tabla 5. Cálculo de métricas por uso del suelo 2021.....	20
Tabla 6. Cálculo de métricas por uso del suelo 2020.....	23

ACRÓNIMOS

ARCAS	Asociación para el Rescate de Vida Silvestre
AUMH	Área de Usos Múltiples Hawaii
CECON	Centro de Estudios para la Conservación, Universidad de San Carlos
CONAP	Consejo Nacional de Áreas Protegidas
ESA	European Spatial Agency
ESRI	Environmental Systems Research Institute
GIMBUT	Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra
IARNA	Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad, Universidad Rafael Landívar
IGN	Instituto Geográfico Nacional
INAB	Instituto Nacional de Bosques
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
PAFG	Plan de Acción Forestal para Guatemala
RNUMM	Reserva Nacional de Usos Múltiples Monterrico
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
NASA	National Aeronautics and Space Administration
SIGAP	Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas
USAID	United States Agency for International Development
URL	Universidad Rafael Landívar
UVG	Universidad del Valle
WCS	Wildlife Conservation Society

I. RESUMEN EJECUTIVO

A través de servicios profesionales de cartografía digital, se presentan los siguientes “Mapas de la cobertura forestal y uso de la tierra a través de sensores remotos para el Área de Usos Múltiples Monterrico y Área de Usos Múltiples Hawaii para los años 2020 y 2021” para el primer componente I, del Proyecto de Biodiversidad de USAID Guatemala, Sub Resultado 1.3.2 "Implementación del monitoreo de los indicadores de biodiversidad a través de la generación de planes de monitoreo", Actividad I. Elaborar, implementar Planes de monitoreo de indicadores de especies y ecosistemas clave, de acuerdo con las identificadas en las PIRS, 1.3 Plan de Monitoreo de la Costa Sur, a. sensores remotos para monitoreo de cobertura de manglares y humedales.

El servicio consiste en la generación de productos geoespaciales clasificados presentados en archivos electrónicos compatibles con ESRI para ser ingresados en un Sistema de Información Geográfico. Los datos geoespaciales de cobertura vegetal provienen de imágenes satelitales con resolución de 10 metros, apoyada en información generada por dron y otra información de campo levantada previamente y en tiempo real.

Para la elaboración de los mapas de uso del suelo y cobertura de las áreas protegidas RNUMM y AUMH; se utilizaron imágenes satelitales del sensor remoto europeo Sentinel-2, correspondientes a la época seca de los años 2019, 2020 y 2021, el propósito de analizar el año 2019, consiste en revisar la información que el Proyecto posee para estandarizar y/o mejorar estos datos.

Para diferenciar visualmente la cobertura de mangle de otros tipos de vegetación se utiliza la combinación de bandas espectrales, lo cual permitió analizar y clasificar los usos de la tierra además de los bosques. Los productos requieren de una fase de clasificación supervisada que toma puntos de control utilizando aplicaciones de datos móviles de campo y consultando los mapas de uso del suelo previamente elaborados por MAGA, MARN, CONAP e INAB y servidores de datos como Google Earth, ESRI maps y Bing maps.

2. ANTECEDENTES

2.1 COBERTURA FORESTAL

Como antecedentes, en materia de la cobertura forestal en Guatemala, se realizó un primer esfuerzo el año 1988 como iniciativa de la FAO, por medio de la oficina del PAFG.

En 1999 el INAB, inició un segundo esfuerzo por delinear no sólo las áreas con bosques sino lo que se llamó asociaciones, es decir áreas con fragmentos de bosque intercalados con otros usos del suelo. Paralelamente, el MAGA generó un Mapa de Uso de la Tierra, que incluía una capa de cobertura forestal, distinta a la capa reportada por INAB (INAB, CONAP, UVG, & URL, 2012).

En el año 2000 la UVG, inició un estudio de la dinámica forestal de varias municipalidades de Guatemala en apoyo a una investigación iniciada por la Universidad de Indiana en Estados Unidos. Dicho estudio evolucionó en el mapa nacional de cobertura forestal 2001, siendo este el tercer esfuerzo de mapeo forestal a nivel nacional (INAB, CONAP, UVG, & URL, 2012).

El cuarto esfuerzo fue una continuación del anterior, generando un Mapa de la Dinámica de la Cobertura Forestal de Guatemala durante los años 1991, 1996 y 2001, el cual incluyó una revisión al Mapa de Cobertura Forestal 2001.

La cobertura y dinámica forestal a nivel nacional para la República de Guatemala, ha sido objeto de estudio por un equipo interinstitucional que incluye entidades de Estado y de la academia desde el año 2001. En dicho año la Universidad del Valle de Guatemala junto al CONAP e INAB realizaron esfuerzos conjuntos para implementar un sistema de mapeo de la dinámica de la cobertura forestal de Guatemala. Como resultado de tal esfuerzo, se publicó con el apoyo del MAGA el Mapa de la Cobertura Forestal 2001, a inicios del año 2004.

En el año 2006 se publicó el estudio de la Dinámica Forestal de Guatemala 1991-2001. Desde el año 2007, a solicitud del CONAP, se iniciaron los esfuerzos para actualizar el mapeo de la cobertura forestal para el año 2006 y dinámica forestal 2001-2006. A este esfuerzo de actualización se sumaron la URL a través del IARNA y MARN los resultados fueron publicados en mayo de 2011 (INAB, CONAP, UVG, & URL, 2012).

Posteriormente, a partir del año 2006, se iniciaron negociaciones para dar inicio al quinto proyecto de este tipo. Dichas negociaciones, por aspectos principalmente administrativos, demorarían el proceso por al menos tres años. Adicionalmente, los limitados recursos financieros obtenidos hicieron que el proyecto se prolongase hasta el año 2011.

La cobertura forestal en el año 2010 para Guatemala fue estimada en 3, 722,595 hectáreas, equivalente a un 34% del territorio nacional. El valor de la cobertura forestal para el año 2006, publicado en mayo de 2011, fue revisado y se obtuvo uno nuevo estimado de 3, 868,708 ha. Estos valores representan una pérdida neta de 146,112 ha de bosque, equivalentes a una tasa neta de deforestación del -1.0 % anual a nivel nacional (con respecto al total de bosque existente en 2006). Los resultados muestran que la tasa neta de deforestación nacional continúa reduciéndose con respecto a los estudios anteriores (-1.43 % en Mapa de Cobertura Forestal de Guatemala 2010 y Dinámica de la Cobertura Forestal 2006-2010 y 1991-2001 y -1.16% en 2001-2006) lo cual responde a incrementos sustanciales en áreas con ganancia de cobertura forestal. Sin embargo, la deforestación bruta continúa incrementándose, alcanzando un área de 132,137 hectáreas anuales para el período analizado (INAB, CONAP, UVG, & URL, 2012).

Según CONAP el 52.0 % de la cobertura forestal nacional se ubica dentro del SIGAP y éste a su vez cubre una tercera parte del territorio nacional. El restante 48.0% de la cobertura forestal se distribuye, de manera fragmentada, en las otras dos terceras partes del país. Ante esta concentración de cobertura forestal dentro de áreas protegidas, por cada cuatro hectáreas de pérdida en el período 2006-2010, tres de ellas ocurrieron dentro del áreas protegidas y una fuera del mismo (INAB, CONAP, UVG, & URL, 2012).

El mapa nacional de cobertura forestal 2010 y de dinámica forestal 2006-2010 cuenta con un grado de precisión del 91%, según la evaluación de esta, a cargo de un equipo externo.

Para el mapeo de zonas no forestales, o uso de la tierra, el MAGA ha coordinado y realizado los esfuerzos en el país. El último mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra generado fue en el año 2003. Éste fue actualizado para el año 2005 (no publicado oficialmente). La última publicación oficial de MAGA corresponde al 2010.

El mapa 2003 y actualización al 2005 fueron generados también a partir de imágenes Landsat, y el mapa 2010 tuvo como fuente de información geográfica primaria imágenes del satélite Aster, con una resolución de píxel de 15m x 15m. Estos esfuerzos de mapeo han sido coordinados por el mismo MAGA.

Para el Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra 2010, a cargo de MAGA, la metodología de mapeo es distinta a la utilizada para los mapas de cobertura forestal 2001-2006-2010, entre otros factores, por la alta cantidad de categorías a ser mapeada y la diferencia en unidad mínima de mapeo.

Hay que mencionar que tanto los mapas generados por el Grupo de Mapeo Forestal como los generados por MAGA, cuentan con una escala cartográfica de 1: 50,000.

El mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del 2012 tiene una escala de 1: 25,000 siendo el resultado del séptimo esfuerzo a nivel nacional por generar un mapa de cobertura forestal basado en la interpretación de imágenes satelitales de alta resolución como las RapidEye (RE) de 5m (Catalán, S., 2014).

Por último, el Mapa de Cobertura forestal 2016 y de la Dinámica de la Cobertura Forestal 2010-2016; publicados el año 2019; son el resultado del análisis de mapeo a escala nacional, realizado a través de un trabajo conjunto de coordinación e integración de esfuerzos entre las instituciones que conforman el Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra (GIMBUT), el cual actualmente está integrado por cuatro instituciones de gobierno: INAB, CONAP, MAGA y MARN y dos instituciones de la academia: UVG y URL (INAB, CONAP, MAGA y otros., 2019).

2.2 ECOSISTEMA DE MANGLAR PACÍFICO

Los ecosistemas de manglar al estar conformados por una gran variedad de especies, con importancia económica, social y ecológica se constituyen en elementos esenciales para el desarrollo de los ciclos reproductivos de especies marinas de relevancia económica para el sector pesquero; constituyen barreras naturales que regulan los procesos de erosión y sedimentación en las áreas marino costeras; evitan la salinización de los suelos, regulan los procesos hidrológicos y mantienen la calidad del agua, constituyen un importante refugio de vida silvestre, amortiguan el efecto de los huracanes y ofrecen atractivos para una serie de bienes y servicios de diferente índole, que son la base para la subsistencia de asentamientos humanos ubicados en las zonas costeras (MARN, 2013).

Definimos manglar como un ecosistema costero compuesto por una comunidad de plantas siempre verde, formada por árboles y/o arbustos halófitos, distribuidos en esteros, lagunas costeras y desembocaduras de ríos. Por lo general dichos hábitats se encuentran en zonas donde la influencia de la marea inunda los suelos fangosos de forma periódica (Jiménez, 1994).

El mangle se encuentra conformado por especies vegetales, típicamente arbóreas, halófilas facultativas. Presentan adaptaciones fisiológicas estructurales que les permiten adaptarse a un sistema dinámico, estable y sujeto al efecto de las mareas. En nuestro país los géneros más representativos son: *Rhizophora*, *Laguncularia*, *Avicennia* y *Conocarpus* (MARN, 2013).

2.3 MONITOREO FORESTAL

Según INAB, el monitoreo forestal tiene como finalidad recopilar información sobre los recursos forestales para la toma de decisiones políticas y el desarrollo de estrategias, programas y acciones para el manejo forestal sostenible. Dentro del contexto nacional se ha definido que el monitoreo forestal debe desarrollarse de tal forma que sea medible, reportable y verificable. Los sistemas de monitoreo forestal también deben tener un enfoque multipropósito, es decir que debe considerar en la medida de lo posible la medición de co-beneficios y salvaguardas como biodiversidad y gobernanza.

3. MÉTODO Y MATERIALES

El método para la teledetección satelital de los usos del suelo incluye una serie de pasos y procedimientos ordenados que deben llevarse a cabo para la obtención de resultados; existen diversas técnicas de clasificación e interpretación de datos, basados en los datos radiométricos y de reflectancia de los sensores remotos.

Para llevar a cabo la obtención de mapas 2019-2021 para la Área de Usos Múltiples Monterrico (RNUMM) y Área de Usos Múltiples Hawaii (AUMH), se utilizó un método de clasificación supervisada a través de segmentos estadísticos a escala 1:15,000. El cual permitió identificar con apoyo de datos de campo e información secundaria un total de 12 usos de suelo diferentes. La Figura 1, muestra el procedimiento llevado a cabo para la obtención del producto final.

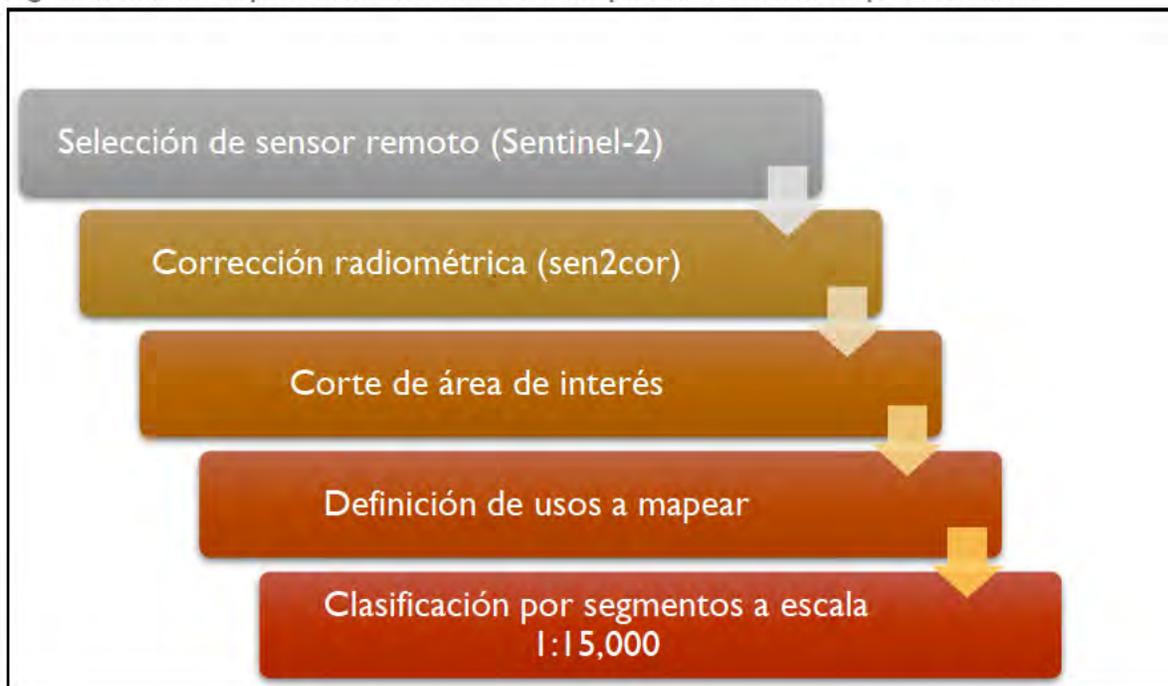


Figura 1. Método estándar para clasificación supervisada de imágenes seguido para la elaboración de los mapas.

3.1 SELECCIÓN DE SENSOR REMOTO

El sensor remoto utilizado para esta investigación fue el sensor Sentinel-2 de la ESA (Agencia Espacial Europea). El cual en sus bandas roja, verde, azul e infrarroja tiene una resolución espacial de 10 metros. Esta constelación óptica está conformada por los satélites A y B los cuales permiten una obtención de datos en resoluciones temporales de 6 días, las imágenes utilizadas para llevar a cabo estos productos se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Imágenes satelitales del sensor remoto sentinel-2 utilizadas.

TABLA 1. IMÁGENES SATELITALES DEL SENSOR REMOTO SENTINEL-2 UTILIZADAS.			
No.	ID	FECHA	NUBES (%)
1	S2B_MSIL2A_20190410T161839_N0207_R040_T15PYR_20190410T212946	10/04/2019	0
2	S2A_MSIL2A_20200409T161901_N0209_R040_T15PYR_20200409T195034	09/04/2020	0
3	S2A_MSIL2A_20210404T161901_N0300_R040_T15PYR_20210404T213404	04/04/2021	0

3.2 CORRECCIÓN RADIOMÉTRICA

El procedimiento de corrección radiométrica o calibración de la imagen satelital es un proceso mediante el cual se corrigen los valores de las unidades mínimas o píxeles; este procedimiento toma los metadatos de las imágenes y asigna correcciones de luz, vapor, humedad y reflectancia: Corrigiendo la imagen de nivel 1C a 2A. Este procedimiento se lleva a cabo por una herramienta ejecutable de la ESA llamado se2cor.

3.3 CORTE DE ÁREA DE ESTUDIO

Las imágenes satelitales suelen tener marcos de referencia mayores a los de las áreas de estudio; siendo así, se hace necesario extraer únicamente la información que nos interesa, esto permitirá que los procedimientos de segmentación e interpretación se ejecuten de manera más rápida. Para extraer el Área de estudio se usa la herramienta de cortar o clip, la cual permite mediante un archivo vectorial hacer un corte de la imagen satelital siempre y cuando esta información tenga el mismo sistema de proyección espacial; la proyección espacial utilizada para este producto es GTM.

3.4 DEFINICIÓN DE USOS A MAPEAR

Los usos que pueden mapearse en una imagen satelital suelen responder a metodologías previamente definidas como el proyecto CORINE Land Cover, también conocido con el acrónimo CLC, desarrolla la creación de una base de datos sobre la cobertura y uso del territorio en la Unión Europea. Sin embargo, este tipo de clasificación no siempre cuenta con todos los usos que se necesitan mapear a una escala más local. Para ello a través de una reunión con los interesados y partiendo de CORINE Land Cover se definen los siguientes usos del suelo:

- Cobertura de manglar: comprende toda la cobertura forestal correspondiente a manglares incluyendo todas las especies como una misma clase.
- Bosque latifoliado: comprende toda aquella cobertura forestal que no es cobertura de manglar, como plantaciones y pequeños parches de bosque seco que existen en los bordes de la cobertura de manglar.
- Tulares: comprende todos los pastos que crecen dentro de los humedales, principalmente en RUNMM donde al noroccidente de esta existe gran cantidad en humedales.
- Zonas inundables: identifica aquellas áreas donde áreas terrestres inundadas de agua de manera estacional o permanente.
- Zona de producción y habitación: comprende toda la zona de infraestructura doméstica, sin embargo, por ser áreas de tipo de rural las prácticas de producción agrícola se encuentran

en los jardines y patios de las casas. Debido a esta dinámica local de ambos sitios se define con este nombre, ya que son producciones pequeñas de subsistencia y alimentación.

- Acuicultura: comprende aquellas actividades de acuicultura de producción industrial como las piletas de camarones y criaderos de otras especies marinas para venta.
- Playas y dunas: comprende toda la zona costera de playa a lo largo de ambas áreas, el borde entre la zona de producción y habitación y el océano.
- Cuerpos de agua: comprende la red de canales que existen dentro de las áreas, conocidas como el canal de Chiquimulilla que conecta ambas áreas protegidas u otros afluentes.
- Océano Pacífico: comprende la gran masa de agua oceánica de las áreas costero-marinas.
- Agricultura: prácticas agrícolas de gran extensión, en su mayoría administradas por gente que no reside dentro del Área de estudio como palma africana y caña de azúcar, entre otras.
- Bosque seco: comprende los parches de bosque que cumplen con las características de este tipo de ecosistema.
- Bordos: Son zonas deforestadas o vacíos dentro del mangle que han sido intervenidos por los lugareños con el objetivo de aumentar la altura de estos para otros usos no definidos, en su mayoría son zonas inundables que han sido rellenadas de materiales con el objetivo que dejen de inundarse.

3.5 CLASIFICACIÓN POR SEGMENTOS A ESCALA 1:15,000

La clasificación por segmentos consiste en un proceso automatizado, en el cual los softwares espaciales asocian estadísticamente los datos almacenados en la unidad mínima de la imagen satelital. Estas asociaciones estadísticas crean grupos de píxeles cercanos, asignando un único valor para cada grupo de píxeles según sus valores. Dentro del procedimiento se debe definir la unidad mínima de mapeo, la cual según ESA para las imágenes Sentinel-2 es la escala 1:15,000.

3.6 LEVANTAMIENTO DE DATOS DE CAMPO

El levantamiento de datos de campo consiste en datos levantados en la visita del Área de estudio.

Durante la visita de campo el técnico realizó recorridos aleatorios en los cuales se levantó puntos de información de uso actual en base a las categorías previamente definidas (ver apartado, definición de usos a mapear). Estos datos fueron levantados en la fecha más cercana a la imagen satelital utilizada; esto con el objetivo de que existe una correlación directa entre los datos de campo y los segmentos, es importante mencionar que algunos de los usos vistos en campo no pueden ser mapeados por el sensor Sentinel-2 debido a la escala con que este se trabaja; sin embargo, el anexo I, describe un breve resumen de la bitácora de campo y los fenómenos naturales y sociales identificados. Este levantamiento busca reforzar los segmentos de uso del suelo garantizando una clasificación con mayor precisión, previo a la edición manual.

3.7 EDICIÓN MANUAL

Este procedimiento consiste en la revisión y sobreposición del levantamiento de datos de campo con los segmentos obtenidos. De manera individual se va revisando cada uno de los segmentos con los datos secundarios definiendo con cual uso se corresponden, todos aquellos que durante el proceso de segmentación presentó errores deben editarse con el objetivo de tener un resultado más preciso al momento de realizar la validación final de precisión e incertidumbre.

3.8 MAPA DE USO DEL SUELO

Llamamos al procedimiento mapa de uso del suelo a la manera por medio del cual convertimos el uso del suelo de nuestros segmentos en píxeles, transformando nuestra información vectorial en archivo de imagen ráster. El cuál es el resultado final de la clasificación supervisada.

3.9 VALIDACIÓN DE PRODUCTOS

La validación de los resultados se realizó a través de las matrices de confusión (Olofsson, y otros, 2014), que consiste en calcular dos tipos de errores, el error de comisión que es el error tipo A y el error de omisión que el error tipo B. Para calcular el tamaño de la muestra se utiliza la fórmula de cálculo de muestras finitas al azar. El cálculo se realiza en base al número total de píxeles que comprenden el Área de estudio, para estos productos se realizó un cálculo de 96% de precisión con un error máximo de 5%; el tamaño total de la muestra fueron 855 puntos aleatorios (384 para RNUMM y 471 AUMH).

4. RESULTADOS

Los productos finales corresponden al área protegida de la RNUMM y a la AUMH ambos con un área de influencia de 1,000 metros de distancia, como zona de amortiguamiento o zona de influencia con un total de 11,935.27 hectáreas (ver Figura 2)



Figura 2. Mapa de ubicación de Área de estudio.

El área de estudio se ubica al sureste de Guatemala, en los municipios de Taxisco, Guazacapán y Chiquimulilla del departamento de Santa Rosa. Geográficamente se ubica dentro de las coordenadas geográficas X: $-90^{\circ}31'00''$ y $-90^{\circ}19'30''$ y las coordenadas geográficas Y: $13^{\circ}49'30''$ y $13^{\circ}57'30''$ la altura terrestre promedio a lo largo del área de estudio según el modelo digital de elevación de IGN es de 4 msnm siendo la más baja 1 msnm y la más alta 7 msnm, siendo áreas propensas a inundaciones por su cercanía al Océano Pacífico. Según INSIVUMEH las temperaturas promedio en esta área son de 25.5°C a 28°C con precipitaciones medias anuales que oscilan desde 700 mm hasta los 1,000 mm. Por ser áreas costero-marinas, el área de influencia sur se encuentra 1,000 metros dentro del Océano Pacífico.

4.1 RESERVA NATURAL DE USOS MÚLTIPLES MONTEERRICO

4.1.1 MAPA DE USO DEL SUELO Y COBERTURA DE MANGLE 2021

Los resultados obtenidos del análisis satelital del sensor remoto Sentinel-2 para la RNUMM, se resumen en la Tabla 2. Tomando en cuenta el área protegida y la zona de influencia analizada, se describe a continuación el uso y cobertura de las clases previamente indicadas:

Dentro del área del área protegida el uso con mayor cobertura es Manglares (Figura 3 y 4) con un total de 1,220.63 hectáreas equivalente al 43.66%, seguido de los Tulares con un total de 360.41 hectáreas equivalente al 12.89%. El resto del área se complementa con los usos Océano Pacífico, Zona de producción y habitación y Cuerpos de agua equivalentes al 10.22%, 9.43% y 9.05% respectivamente; otro uso importante dentro del área protegida es la agricultura la cual presenta un área total de 229.63 hectáreas equivalente al 8.21%.

Dentro de la Zona de Influencia, sin incluir el uso del suelo Océano Pacífico el comportamiento es diferente siendo el uso del suelo Agricultura el de mayor cobertura con un total de 603.90 hectáreas equivalente al 24.07%. Seguido de Manglares con un total de 295.54 hectáreas equivalentes a 11.78% (Figura 4), Tulares con un total de 240.58 hectáreas equivalente al 9.59% y Zona de producción y habitación con 235.54 hectáreas equivalente al 9.39%. Otro uso del suelo importante son los Cuerpos de Agua los cuales se encuentran asociados a los ecosistemas de manglares con un total de 473.64 hectáreas equivalente 8.93% del área de estudio.

Tabla 2. Cálculo de métricas por uso del suelo 2021 para la RNUMM.

TABLA 2. CÁLCULO DE MÉTRICAS POR USO DEL SUELO 2021.			
USO DEL SUELO	ÁREA PROTEGIDA (ha)	ZONA DE INFLUENCIA (ha)	TOTAL (ha)
Acuicultura	6.48	0.66	7.14
Agricultura	229.63	603.90	833.53
Bosque latifoliado	38.27	90.81	129.07
Bosque seco	15.42	0.00	15.42
Cuerpos de agua	252.90	220.73	473.64
Manglares	1,220.63	295.54	1,516.16
Océano Pacífico	285.68	800.74	1086.42
Playas y dunas	20.53	17.81	38.34
Tulares	360.41	240.58	600.99
Zona de producción y habitación	263.63	235.54	499.17
Zonas inundables	102.38	2.82	105.20
Total	2,795.96	2,509.12	5,305.08

En la Figura 3, se puede visualizar la distribución espacial de los usos del suelo, notando que existen grandes grupos de usos del suelo que predominan siendo estos al sur el Océano Pacífico, y la Zona de producción y habitación, al centro y al este la cobertura de manglares, al oeste la cobertura de Tulares y al norte la Agricultura, otros usos importantes en términos de conservación son las áreas

identificadas como Bosque seco y Bosque latifoliado, en el caso del Bosque seco su mayor cobertura se encuentra dentro de la Zona de producción y habitación siendo una barrera natural entre las cobertura de Manglares, además se encontraron pequeños arbustos de características secas y espinosas dentro de la clase Bosque latifoliado, el cual se ubica en su mayor parte en los bordes y zonas en descanso o regeneración natural donde ocurre un crecimiento mixto entre manglares, bosque latifoliado, palmas y arbustos.

Otro aspecto que debe de tomarse en cuenta dentro de la RNUMM es que dentro del área protegida se identificaron muchas zonas habitacionales dentro del uso del suelo Manglares lo cual puede tener un impacto mayor en el futuro; de igual manera el crecimiento de la aldea La Avellana, la cual debe ser acompañada de un plan de ordenamiento territorial con el objetivo de que la misma no tenga un impacto negativo como por ejemplo extracción de recursos naturales, cambios de uso del suelo de manglares a agricultura, establecimiento de actividades de acuicultura y contaminación por agua residuales, por mencionar algunos.



Figura 4. Mapa de cobertura de mangle RNUMM 2021.

4.1.2 MAPA DE USO DEL SUELO Y COBERTURA DE MANGLE 2020

Los resultados obtenidos del análisis satelital del sensor remoto Sentinel-2 para la RNUMM, se resumen en la Tabla 3. Dentro del área protegida el uso con mayor cobertura es Manglares con un total de 1,189.33 hectáreas equivalente al 42.54% (Figura 5 y 6), seguido de los Tulares con un total de 341.92 hectáreas equivalente al 12.23%. El resto del área se complementa con los usos Océano Pacífico, Zona de producción y habitación y Cuerpos de agua equivalentes al 10.00%, 9.51% y 9.28%; otro uso importante dentro del área protegida es la agricultura la cual presenta un área total de 237.49 hectáreas equivalente al 8.49%.

Dentro de la Zona de Influencia, sin incluir el uso del suelo Océano Pacífico el comportamiento es diferente siendo el uso del suelo Agricultura el de mayor cobertura con un total de 613.04 hectáreas equivalente al 24.43%. Seguido de Manglares con un total de 286.85 hectáreas equivalentes a 11.43% (Figura 6), Tulares con un total de 274.49 hectáreas equivalente al 10.94% y Zona de producción y habitación con 229.57 hectáreas equivalente al 9.15%. Otro uso del suelo importante son los Cuerpos de Agua los cuales se encuentran asociados a los ecosistemas de manglares con un total de 446.97 hectáreas equivalente 8.43% del área de estudio.

Tabla 3. Cálculo de métricas por uso del suelo 2020.

TABLA 3. CÁLCULO DE MÉTRICAS POR USO DEL SUELO 2020.			
USO DEL SUELO	ÁREA PROTEGIDA (ha)	ZONA DE INFLUENCIA (ha)	TOTAL (ha)
Acuicultura	6.50	3.15	9.65
Agricultura	237.49	613.04	850.53
Bosque latifoliado	33.19	90.00	123.19
Bosque seco	15.26		15.26
Cuerpos de agua	259.48	187.49	446.97
Manglares	1,189.33	286.85	1,476.17
Océano Pacífico	279.64	793.92	1,073.56
Playas y dunas	26.80	24.19	50.99
Tulares	341.92	274.49	616.41
Zona de producción y habitación	265.77	229.57	495.33
Zonas inundables	140.58	6.42	147.00
Total	2,795.96	2,509.11	5,305.07

En la Figura 5, se puede visualizar la distribución espacial de los usos del suelo, notando que existen grandes grupos de usos del suelo que predominan siendo estos al sur el Océano Pacífico, y la Zona de producción y habitación, al centro y al este la cobertura de manglares, al oeste la cobertura de Tulares y al norte la Agricultura, otros usos importantes en términos de conservación son las áreas identificadas como Bosque seco y Bosque latifoliado, en el caso del Bosque seco su mayor cobertura se encuentra dentro de la Zona de producción y habitación, se encontraron pequeños arbustos de características espinosas dentro del Bosque latifoliado, se encuentran dispersos, y fueron verificados en campo debido a que por la temporalidad de las imágenes satelitales se dificultaba su clasificación.

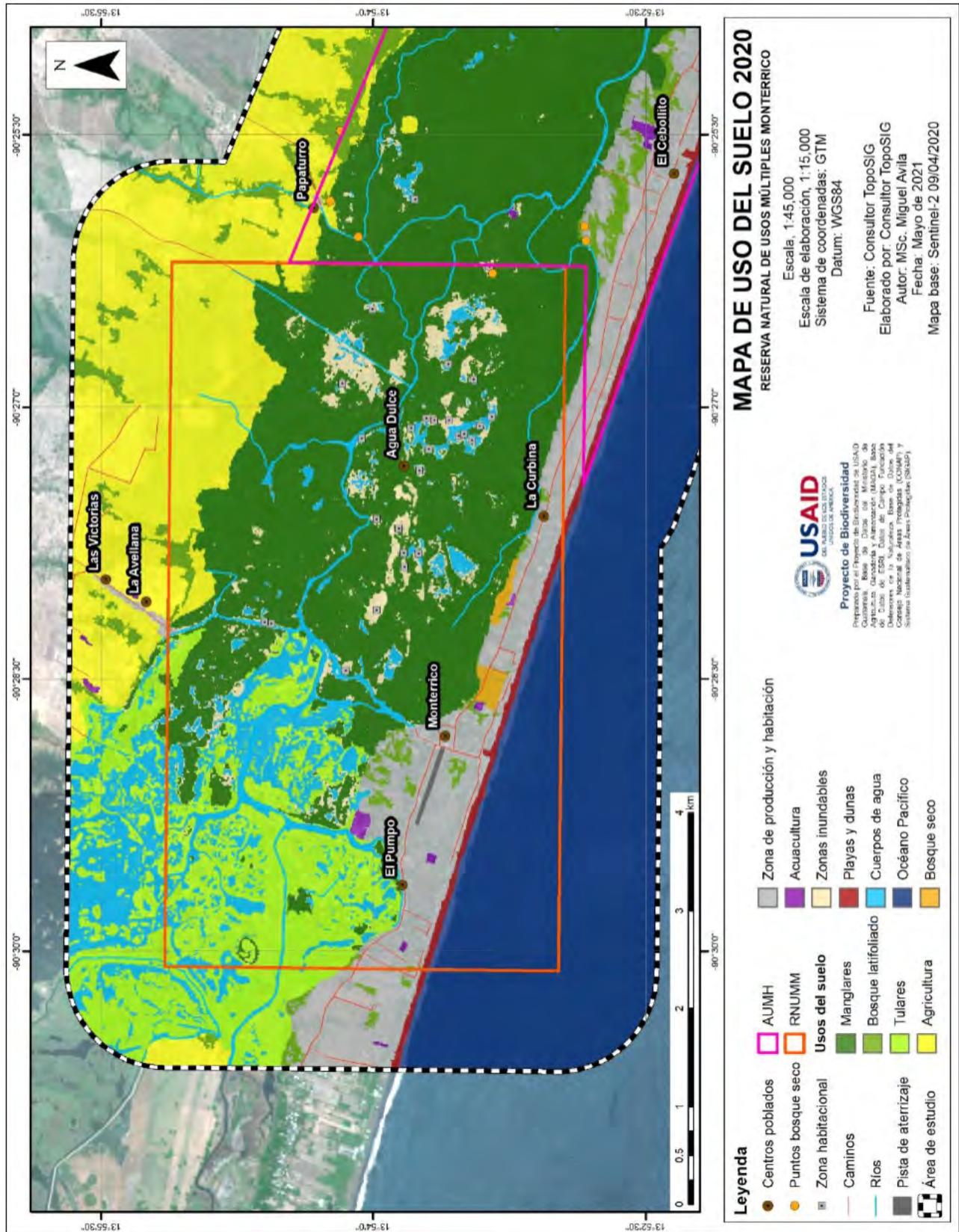


Figura 5. Mapa de uso del suelo RNUMM 2020.

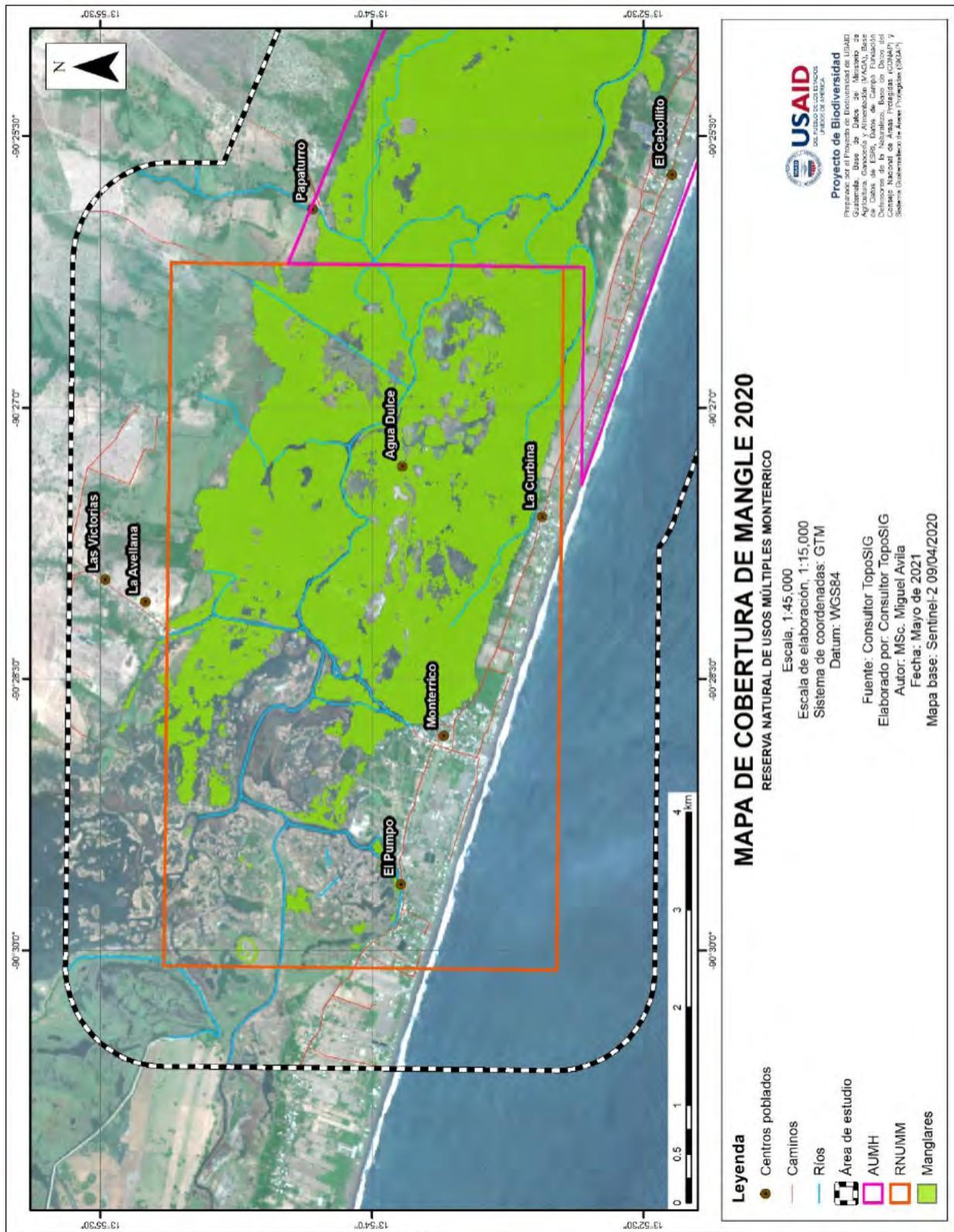


Figura 6. Mapa de cobertura de mangle RNUMM 2020.

4.1.3 MAPA DE USO DEL SUELO Y COBERTURA DE MANGLE 2019

Los resultados obtenidos del análisis satelital del sensor remoto Sentinel-2 para la RNUMM, se resumen en la Tabla 4. Dentro del área protegida el uso con mayor cobertura es Manglares con un total de 1,201.43 hectáreas equivalente al 42.97% (Figura 7 y 8), seguido de los Tulares con un total de 394.91 hectáreas equivalente al 14.12%. El resto del área se complementa con los usos Océano Pacífico, Zona de producción y habitación y Cuerpos de agua equivalentes al 9.99%, 9.83% y 7.17 %; otro uso importante dentro del área protegida es la agricultura la cual presenta un área total de 224.24 hectáreas equivalente al 8.02% (Figura 7).

Dentro de la Zona de Influencia, sin incluir el uso del suelo Océano Pacífico el comportamiento es diferente siendo el uso del suelo Agricultura el de mayor cobertura con un total de 595.04 hectáreas equivalente al 23.72%. Seguido de Manglares con un total de 288.70 hectáreas equivalentes a 11.51% (Figura 8), Tulares con un total de 288.49 hectáreas equivalente al 11.50% y Zona de producción y habitación con 233.07 hectáreas equivalente al 9.29%. Otro uso del suelo importante son los Cuerpos de Agua los cuales se encuentran asociados a los ecosistemas de manglares con un total de 374.46 hectáreas equivalente 7.06% del área de estudio (Figura 7).

Tabla 4. Cálculo de métricas por uso del suelo 2019.

TABLA 4. CÁLCULO DE MÉTRICAS POR USO DEL SUELO 2019.			
USO DEL SUELO	ÁREA PROTEGIDA (ha)	ZONA DE INFLUENCIA (ha)	TOTAL (ha)
Acuicultura	4.72	0.54	5.26
Agricultura	224.24	595.04	819.27
Bosque latifoliado	40.84	105.96	146.80
Bosque seco	15.77		15.77
Cuerpos de agua	200.51	173.95	374.46
Manglares	1,201.43	288.70	1,490.12
Océano Pacífico	279.45	796.54	1,075.99
Playas y dunas	23.49	19.24	42.73
Tulares	394.91	288.49	683.39
Zona de producción y habitación	274.96	233.07	508.03
Zonas inundables	135.65	7.59	143.24
Total	2,795.96	2,509.12	5,305.08

En la Figura 7, observamos la distribución espacial de los usos del suelo, notando que existen grandes grupos de usos del suelo que predominan siendo estos al sur el Océano Pacífico, y la Zona de producción y habitación, al centro y al este la cobertura de manglares, al oeste la cobertura de Tulares y al norte la Agricultura, otros usos importantes en términos de conservación son las áreas identificadas como Bosque seco y Bosque latifoliado, en el caso del Bosque seco la mayor parte se encuentra dentro de la Zona de producción y habitación, además se encontraron pequeños arbustos de características espinosas dentro del Bosque latifoliado, el cual se asocia en los bordes a zonas en descanso o regeneración natural donde ocurre un crecimiento mixto entre manglares, bosque latifoliado, palmas y arbustos.

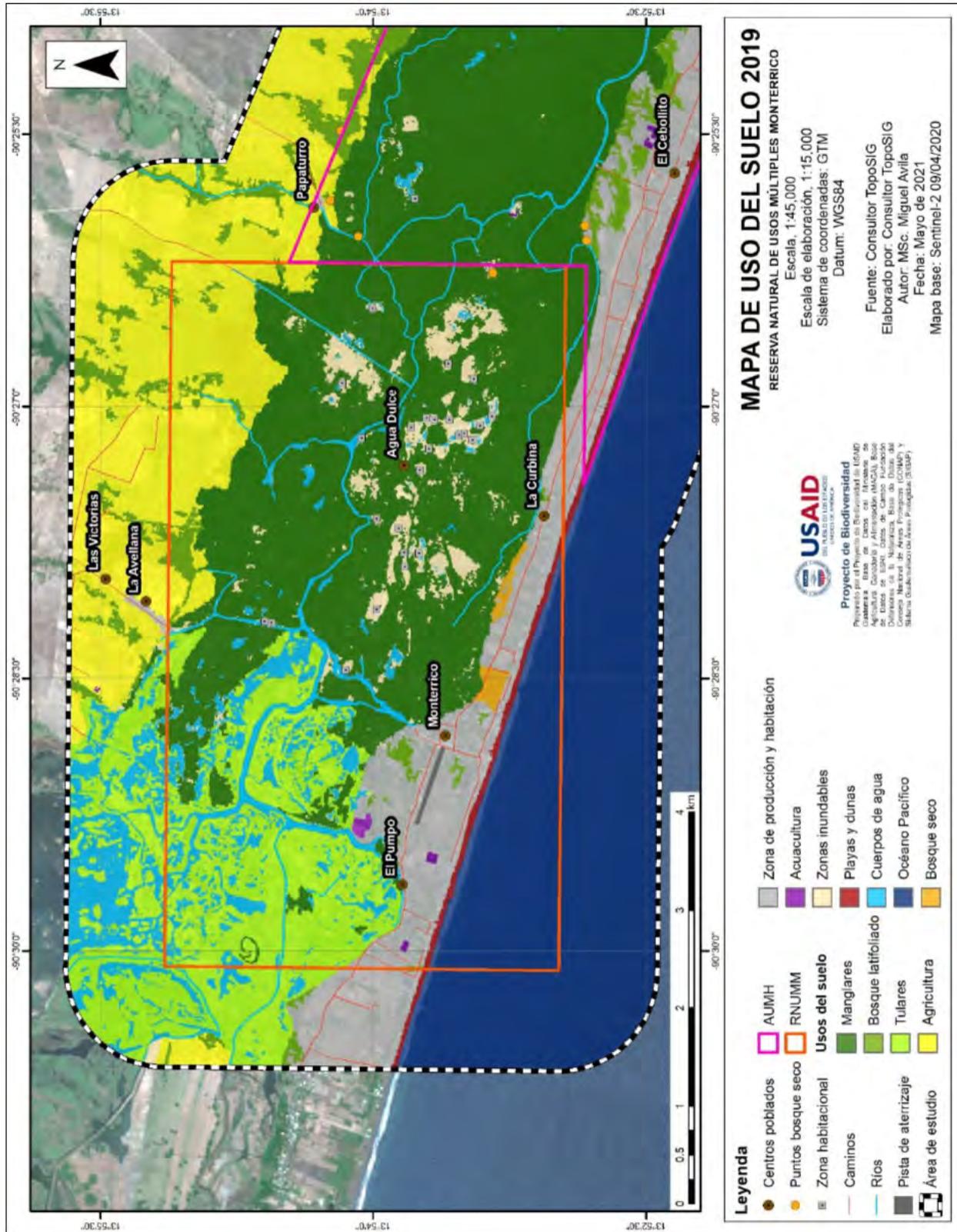


Figura 7. Mapa de uso del suelo RNUMM 2019.

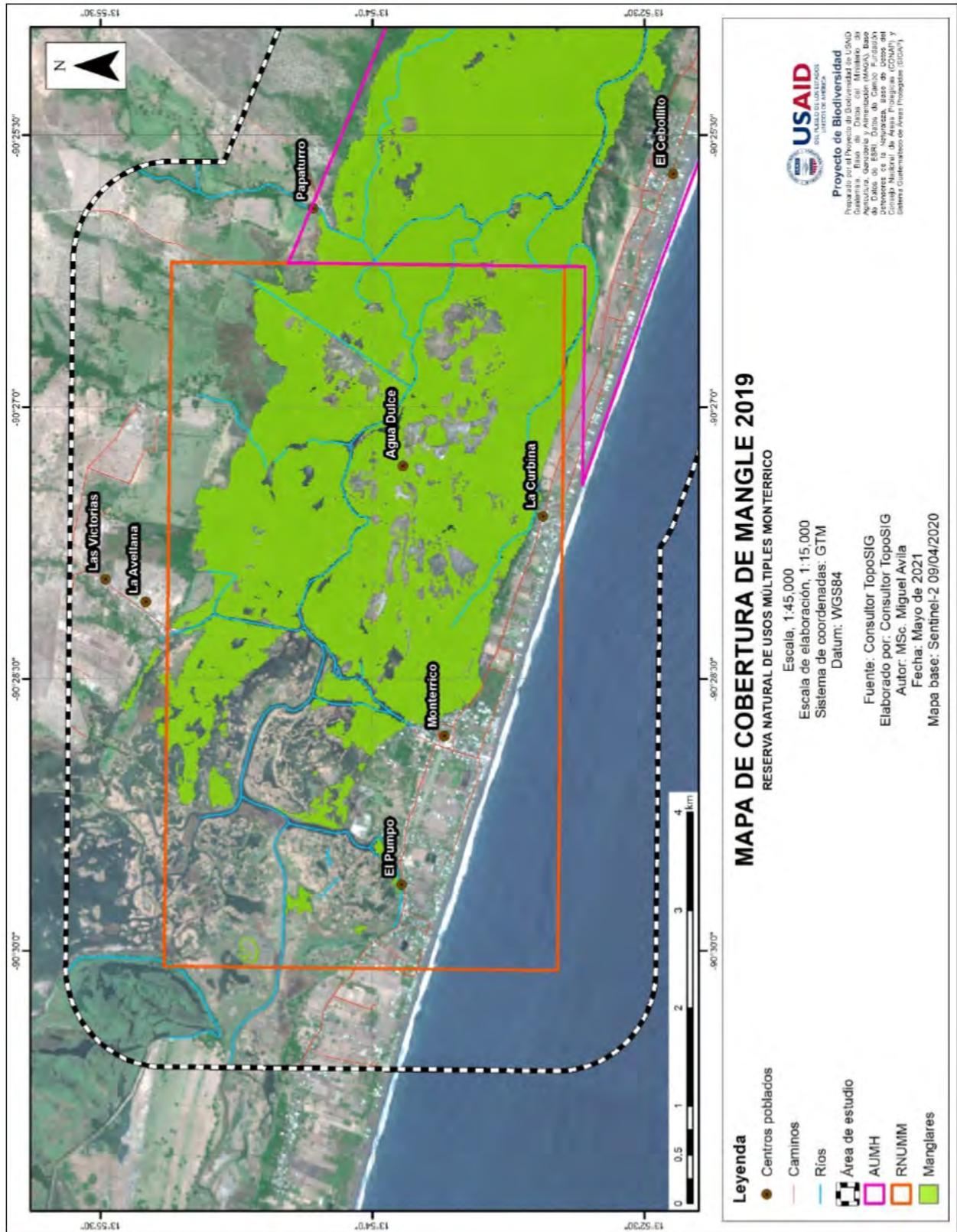


Figura 8. Mapa de cobertura de mangle RNUMM 2019.

4.2 ÁREA DE USOS MÚLTIPLES HAWAII

4.2.1 MAPA DE USO DEL SUELO Y COBERTURA DE MANGLE 2021

Los resultados obtenidos del análisis satelital del sensor remoto Sentinel-2 para la AUMH, se resumen en la Tabla 5. Tomando en cuenta el área protegida y la zona de influencia analizada se describen los usos y coberturas encontradas para el año 2021.

Dentro del área protegida el uso con mayor cobertura es Manglares con un total de 2,032.10 hectáreas equivalente al 49.58% (Figura 10) y la cobertura de Bosque latifoliado con un total de 388.51 hectáreas equivalente al 9.48%. El resto del área se complementa con los usos Océano Pacífico, Zona de producción y habitación y Cuerpos de agua equivalentes al 0.46%, 9.68% y 3.03%; otro uso importante dentro del área protegida es la agricultura la cual presenta un área total de 1,056.59 hectáreas equivalente al 25.78%; el cual es el segundo uso del suelo más importante luego de los Manglares.

Dentro de la Zona de Influencia, sin incluir el uso del suelo Océano Pacífico el comportamiento es diferente siendo el uso del suelo Agricultura el de mayor cobertura con un total de 1,473.26 hectáreas equivalente al 38.92%. Seguido de Manglares con un total de 392.58 hectáreas equivalentes a 10.37% (Figura 10), Bosque latifoliado con un total de 146.12 hectáreas equivalente al 3.86% y Zona de producción y habitación con 139.62 hectáreas equivalente al 3.69%. Otro uso del suelo importante son los Cuerpos de Agua los cuales se encuentran asociados a los ecosistemas de manglares con un total de 152.81 hectáreas equivalente 1.94 % del área de estudio.

Tabla 5. Cálculo de métricas por uso del suelo 2021.

TABLA 5. CÁLCULO DE MÉTRICAS POR USO DEL SUELO 2021.			
USO DEL SUELO	ÁREA PROTEGIDA (ha)	ZONA DE INFLUENCIA (ha)	TOTAL (ha)
Acuicultura	12.00	1.76	13.76
Agricultura	1,056.59	1,473.26	2,529.85
Bordos	6.40		6.40
Bosque latifoliado	388.51	146.12	534.62
Bosque seco	0.00	0.74	0.74
Cuerpos de agua	124.30	28.51	152.81
Manglares	2,032.10	392.58	2,424.67
Océano Pacífico	18.86	1,511.53	1,530.39
Playas y dunas	38.31	56.80	95.10
Zona de producción y habitación	396.68	139.62	536.30
Zonas inundables	24.68	34.07	58.76
Total	4,098.42	3,785.00	7,883.41

En la Figura 9, observamos la distribución espacial de los usos del suelo, notando que existen grandes grupos de usos del suelo que predominan siendo estos al sur el Océano Pacífico, y la Zona de producción y habitación, al centro al este y al oeste la cobertura de manglares y al norte la Agricultura, otros usos importantes en términos de conservación son las áreas identificadas como Bosque seco y Bosque latifoliado, en el caso del bosque latifoliado su mayor cobertura se encuentra

siendo una barrera natural entre las cobertura de Manglares, además se encontraron pequeños arbustos de características espinosas dentro del uso Bosque latifoliado y Manglares, el cual se asocia en los bordes a zonas en descanso o regeneración natural donde ocurre un crecimiento mixto entre manglares, bosque latifoliado, palmas y arbustos, verificando en campo, esta condición tanto en 2020 como en 2021, siendo estas áreas realmente pequeñas.

Otro aspecto que debe de tomarse en cuenta dentro de la AUMH al norte del centro poblado de El Dormido la cobertura de bosque latifoliada es muy disperso siendo en su mayoría zona de regeneración natural, propensa a actividades agrícolas.

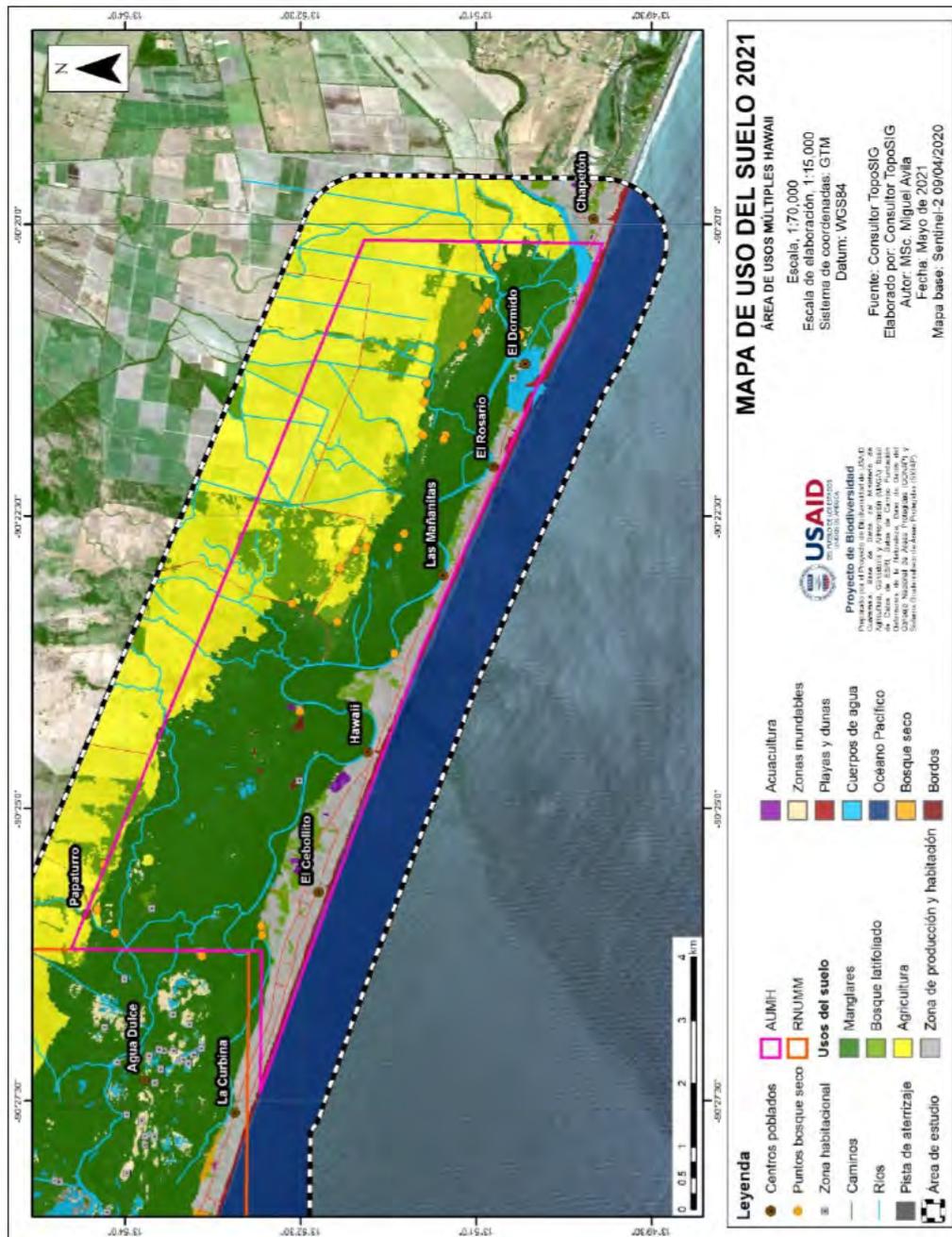


Figura 9. Mapa de uso del suelo AUMH 2021.

4.2.2 MAPA DE USO DEL SUELO Y COBERTURA DE MANGLE 2020

Los resultados obtenidos del análisis satelital del sensor remoto Sentinel-2 para la AUMH, se resumen en la Tabla 6. Dentro del área protegida el uso con mayor cobertura es Manglares con un total de 1,954.22 hectáreas equivalente al 47.68% (Figura 12) y la cobertura de Bosque latifoliado con un total de 297.18 hectáreas equivalente al 7.25%. El resto del área se complementa con los usos Océano Pacífico, Zona de producción y habitación y Cuerpos de agua equivalentes al 0.20%, 10.45% y 2.81%; otro uso importante dentro del área protegida es la agricultura la cual presenta un área total de 1,145.19 hectáreas equivalente al 27.94%; el cual es el segundo uso del suelo más importante luego de los Manglares.

Dentro de la Zona de Influencia, sin incluir el uso del suelo Océano Pacífico el comportamiento es diferente siendo el uso del suelo Agricultura el de mayor cobertura con un total de 1,515.74 hectáreas equivalente al 40.05%. Seguido de Manglares con un total de 384.64 hectáreas equivalentes a 10.16% (Figura 12), Bosque latifoliado con un total de 101.22 hectáreas equivalente al 2.67% y Zona de producción y habitación con 149.76 hectáreas equivalente al 3.96%. Otro uso del suelo importante son los Cuerpos de Agua los cuales se encuentran asociados a los ecosistemas de manglares con un total de 140.35 hectáreas equivalente 1.78% del área de estudio.

Tabla 6. Cálculo de métricas por uso del suelo 2020.

TABLA 6. CÁLCULO DE MÉTRICAS POR USO DEL SUELO 2020.			
USO DEL SUELO	ÁREA PROTEGIDA (ha)	ZONA DE INFLUENCIA (ha)	TOTAL (ha)
Acuacultura	11.83	1.99	13.82
Agricultura	1,145.19	1,515.74	2,660.92
Bordos	7.42		7.42
Bosque latifoliado	297.18	101.22	398.39
Bosque seco	0.0	0.03	0.03
Cuerpos de agua	115.18	25.17	140.35
Manglares	1,954.22	384.64	2,338.86
Océano Pacífico	8.23	1,489.52	1,497.76
Playas y dunas	51.85	76.00	127.86
Zona de producción y habitación	428.16	149.76	577.92
Zonas inundables	79.16	40.92	120.08
Total	4,098.42	3,785.00	7,883.41

En la Figura 11, se puede visualizar la distribución espacial de los usos del suelo, notando que existen grandes grupos de usos del suelo que predominan siendo estos al sur el Océano Pacífico, y la Zona de producción y habitación, al centro al este y al oeste la cobertura de manglares y al norte la Agricultura, otros usos importantes en términos de conservación son las áreas identificadas como Bosque seco y Bosque latifoliado, en el caso del bosque latifoliado su mayor cobertura se encuentra al lado de la frontera agrícola siendo una barrera natural entre las cobertura de Manglares, además se encontraron pequeños arbustos de características espinosas dentro de la cobertura Bosque

latifoliado y Manglares, siendo menor la cantidad de bosque seco en 2020 en comparación con la 2021.

Otro aspecto que debe de tomarse en cuenta dentro de la AUMH al norte del centro poblado de El Dormido la cobertura de bosque latifoliado es muy disperso siendo en su mayoría zona de regeneración natural, propensa a actividades agrícolas, similar a la situación de 2021.

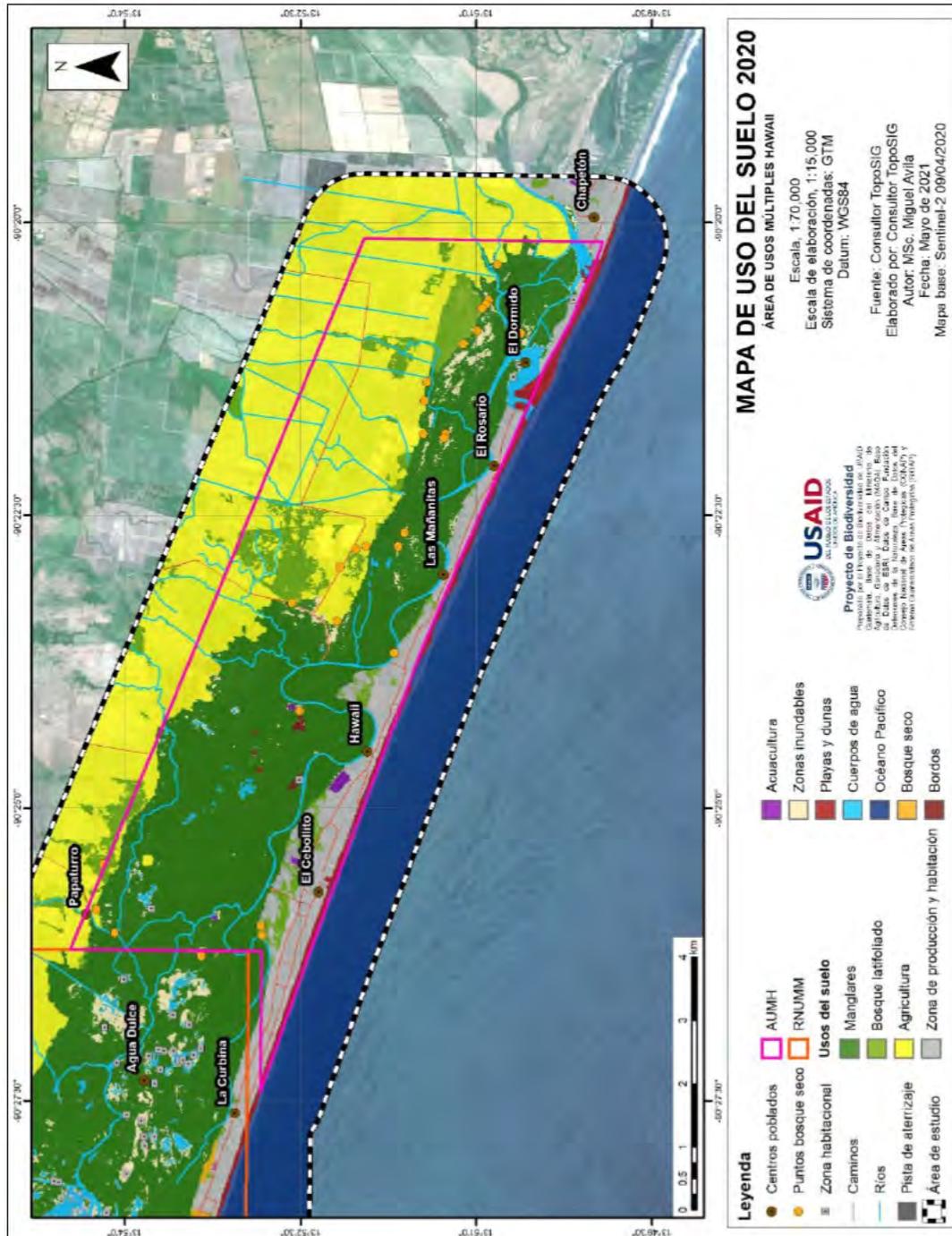


Figura 11. Mapa de uso del suelo AUMH 2020

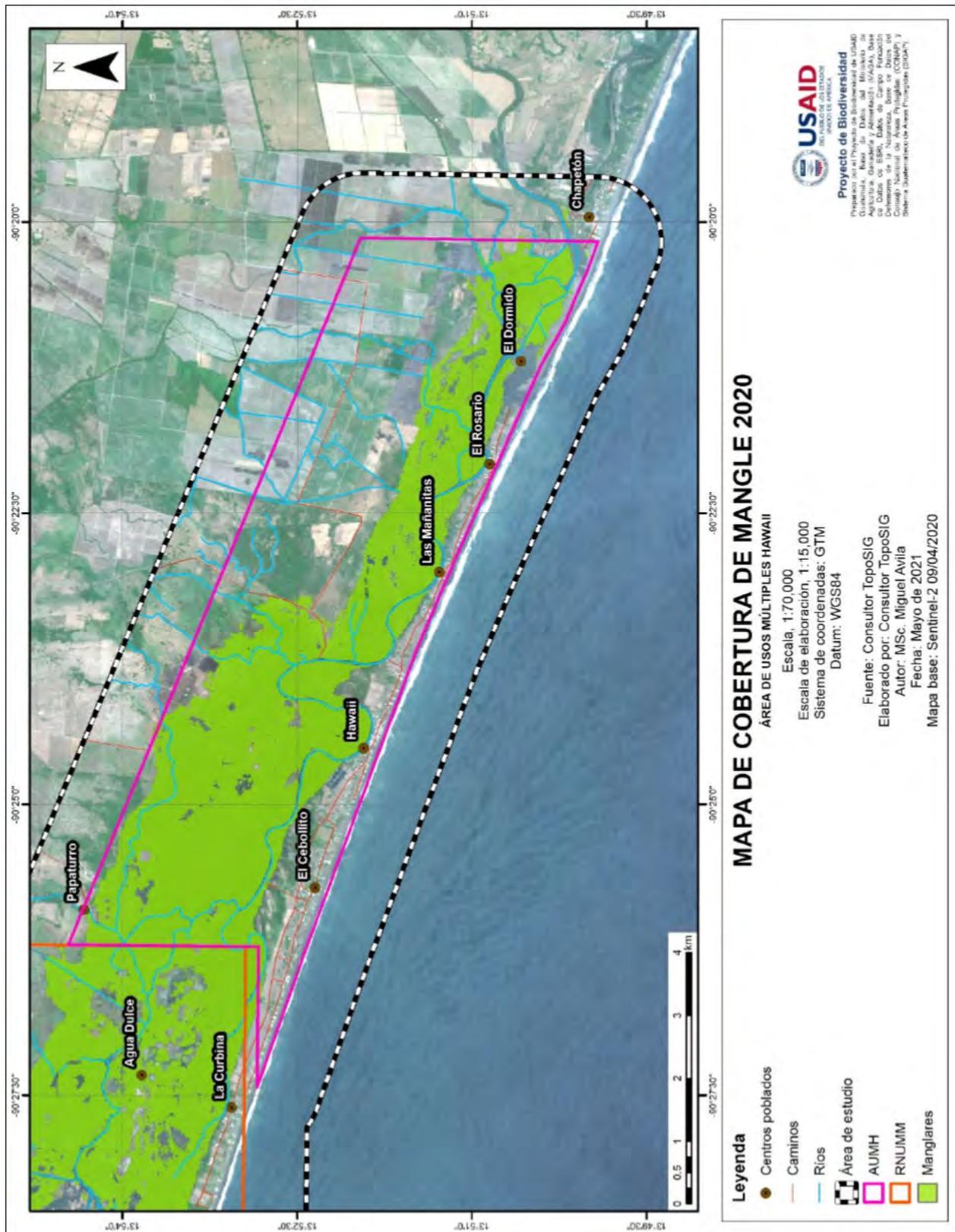


Figura 12. Mapa de cobertura de mangle 2020.

4.3. VALIDACIÓN DE PRODUCTOS

Los resultados obtenidos de las matrices de confusión presentaron un error de comisión 2.81% con una precisión general del 97.19% con un intervalo de confianza del 95%.

El error general de la precisión del productor es de 2.81 % con una fiabilidad real superior al 98.30% mientras que error de omisión es de 0 % con un error estándar de muestreo de 0.56. Por último, el valor de incertidumbre para los usos del suelo es del 2% concentrándose en su mayoría a la dinámica de cambio del nivel del suelo en las zonas inundables de manglares y tulares y a la regeneración natural o tierras en descanso de uso agrícola en los bordes norte y sur de los manglares donde existe una asociación de bosque latifoliado, mangle negro, mangle rojo, arbustos, y palmas.

5. CONCLUSIONES

- El uso del sensor remoto óptico europeo Sentinel-2 (resolución de 10m), permite elaborar cartografía a escala 1:15,000 la cual tiene un mayor detalle que la cartografía previamente obtenida por GIMBUT, INAB, CONAP, UVG, URL que han elaborado cartografía con el sensor remoto de la NASA, LANDSAT 5, 7 y 8 (resolución de 30m). Utilizar un sensor remoto de mayor resolución como Sentinel-2, no solo permite al foto intérprete identificar los usos del suelo de una manera más fácil durante la edición manual, si no que al sobreponerlos con datos de campo es posible obtener productos cartográficos más detallados los cuales son de gran utilidad para planes estratégicos de desarrollo y conservación dentro de la RNUMM y AUMH.
- La teledetección en la RNUMM tuvo resultados satisfactorios; encontrando la mayor dificultad en el uso del suelo de tulares; la dinámica de este uso del suelo esta estrictamente ligada a cambios naturales en el nivel de los cuerpos de agua, por lo que al analizarlo puede presentar variaciones asociadas al comportamiento del clima durante el año.
- La clasificación del Bosque seco y Bosque latifoliado también presenta dificultad, primero porque el ecosistema de Bosque seco se encuentra en estado caducifolio durante la época seca, es decir no pueden ser detectados como cobertura forestal debido a la falta de follaje; por otro lado, el bosque latifoliado en su mayoría son zonas de bosque mixto donde existen asociaciones entre bosque latifoliado, palmas, arbustos, pastizales y mangle, siendo el de mayor predominancia el bosque latifoliado.
- El análisis multitemporal 2019-2021 ha demostrado que, durante este periodo de tiempo, no se han presentado cambios significativos en el área de estudio conservando los usos del suelo durante este periodo, sin embargo, es importante mencionar que la cobertura de mangle en la RNUMM se ve más afectada que en la AUMH, pues existen hasta actividades de tipo agrícola, acuacultura, salineras y habitacionales que pueden tener un impacto negativo a través del tiempo.
- El AUMH, no presenta cambios significativos, sin embargo, al sur de la comunidad El Dormido luego de la zona de mangle existe un área de bosque latifoliado, la cual tiene una mayor predominancia de palmáceas, además se identificó en campo evidencia de incendios lo cual puede provocar un cambio de uso del suelo aumentando las actividades agrícolas, por lo que es importante dar seguimiento de los cambios que ahí se presenten a lo largo del año.
- Los productos cartográficos 2019, 2020 y 2021 presentan resultados de alta calidad, según la metodología de precisión de Olofsson, et al, 2014 la precisión de los productos es del 97 % con una incertidumbre total de 2%, que se encuentra concentrada en los usos del suelo de Tulares y Bosque latifoliado.

6. CITAS BIBLIOGRÁFICAS

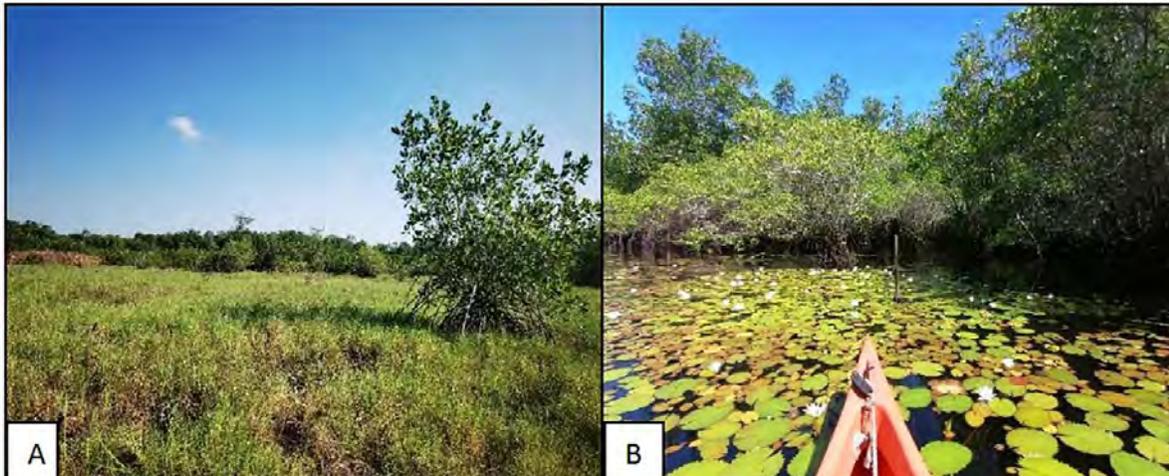
- INAB, CONAP, UVG, & URL. (2012). Mapa de Cobertura Forestal 2010 y Dinámica de Cobertura Forestal 2006-2010. Guatemala
- INAB, CONAP, MAGA, MARN, UVG y URL. (2019). Cobertura forestal de Guatemala 2016 y dinámica de cobertura forestal 2010-2016. Guatemala: Autores
- Catalán, M. (2014). Protocolo Metodológico: Mapa nacional de uso/cobertura/carbono, 2012. Fase I y II. 75. Guatemala.
- Jiménez, J. (1994). Los manglares del pacífico centroamericano. Universidad Nacional. Fundación UNA.
- MARN. (2013). Informe técnico: Estudio de la cobertura de mangle en la Republica de Guatemala. Guatemala: MARN. Vi + 54p.
- Olofsson, P., Foody, G., Herold, M., Stehman, S., Woodcock, C., & Wulder, M. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. Remote Sensing of Environment (148), 42-57.

7. ANEXOS

ANEXO I: BITÁCORA DE CAMPO

Observaciones generales: Debido a la temporalidad en la que se realizó este estudio (abril/temporada seca), la Reserva Natural de Usos Múltiples Monterrico -RNUMM- y el Área de Uso Múltiple de Hawaii -AUMH- presentaron bajo nivel de agua en el canal principal, vericuetes, lagunas interiores y en límite norte de ambas áreas protegidas. Esto dificultó la capacidad para acceder a algunos puntos que se encontraban dentro del manglar y dentro del tular-carrizal.

Zonas inundables: Ambas reservas cuentan con áreas que fueron deforestadas y que actualmente cuentan con cierto grado de regeneración natural y algunos esfuerzos de reforestación asistida con mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y blanco (*Leguncularia racemosa*). Estas áreas durante el invierno, cuando el nivel del agua sube de 1m-2m en algunos lugares según los locales, se inundan dando paso a la proliferación de lirios de agua (*Nymphaea ampla*). En la temporada seca estas áreas no se encuentran inundadas y presentan una cobertura dominada por pastos verdes, además, el suelo de estas áreas sigue saturado de agua lo que hace que sea lodoso. Durante este muestreo únicamente se encontró una laguna dentro del tular-carrizal de la RNUMM que aún contaba con ninfa a lo que [REDACTED], lancharo de Monterrico¹, atribuye al poco flujo de agua salada hacia esta zona.



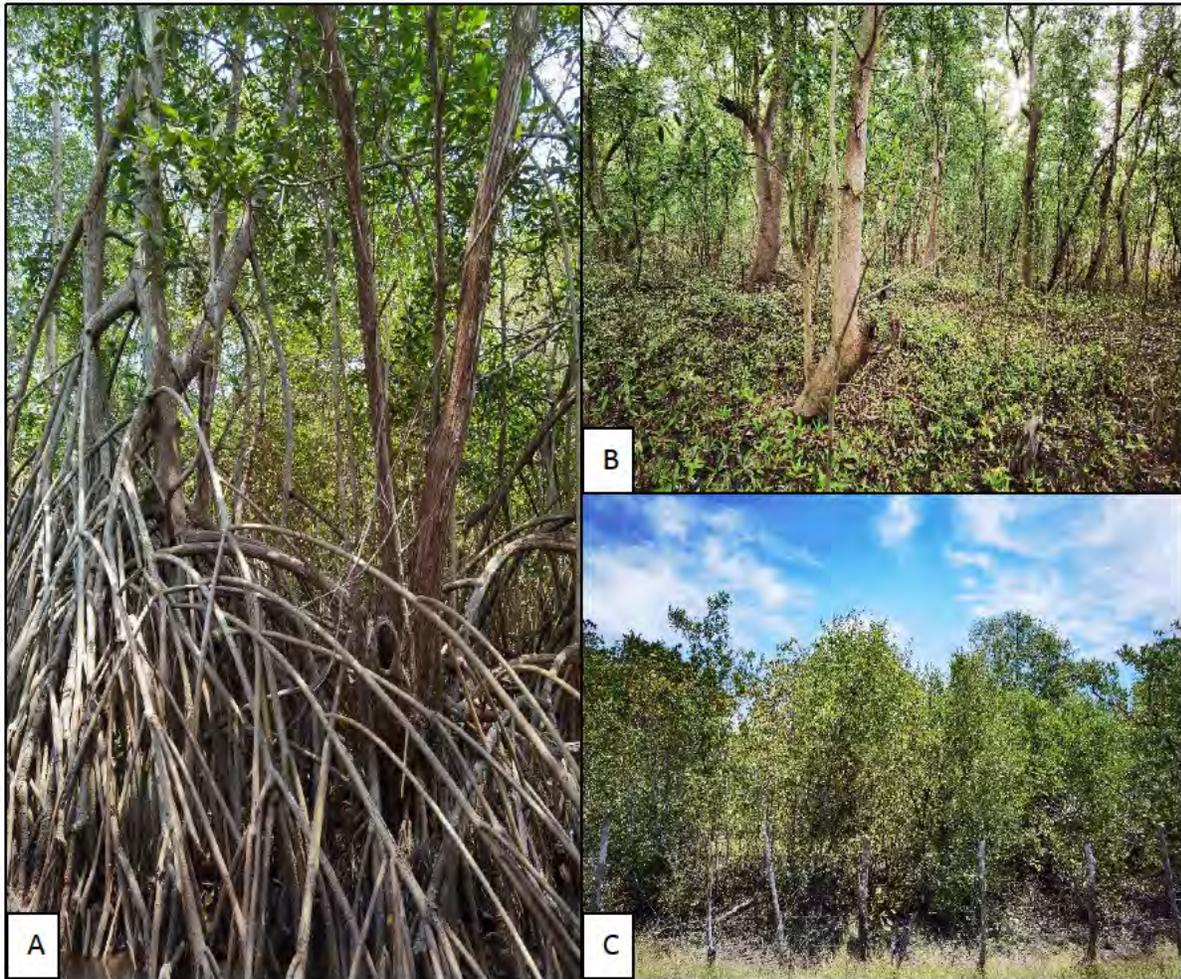
(A) Zona inundable en verano y (B) zona inundable en invierno.

Bosque de manglar: El AUMH presenta un bosque de mangle de mayor extensión en comparación al de la RNUMM, además posee una mayor riqueza y abundancia de estos.

En las áreas densas de bosque de manglar el patrón de distribución en ambas reservas es el mismo. El mangle rojo es el más abundante en ambas áreas y se encuentra en las zonas cercanas al canal principal y vericuetes principales donde el flujo de agua es mayor y nivel del agua es alto y constante. El mangle blanco se encuentra en zonas inundadas de poca profundidad, con menor corriente y en algunos casos, como en la aldea La Avellana dentro del RNUMM, es el que forma la frontera entre el bosque de manglar y la zona de producción y habitación. Finalmente, el mangle negro (*Avicennia germinans*) se encuentra en áreas con mayor elevación que permanecen secas gran parte del año. La mayor parte del bosque de mangle negro se encuentra al noreste del AUMH y se extiende desde la comunidad de El Salado hasta la bocabarra en la comunidad de El dormido. El mangle negro ancho y alto se encuentra cercano al canal y al mangle rojo mientras que el mangle más alejado en zonas

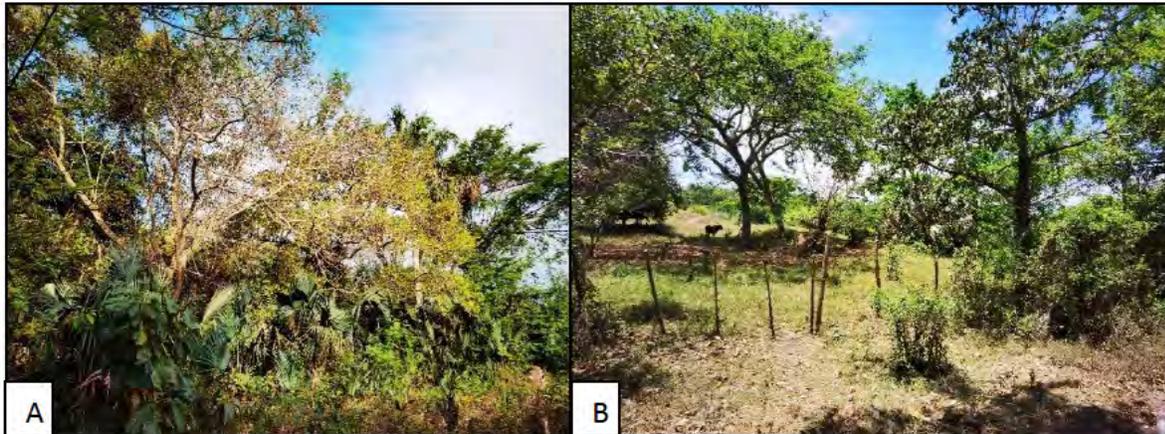
¹ Comunicación personal en abril 2021 con técnico de campo.

más áridas es pequeño, con neumatóforos menos abundantes y en presencia de algunos arbustos asociados a bosque seco.



(A) Mangle rojo y blanco, (B) bosque de mangle negro y (C) mangle negro dentro de fincas.

En el límite noreste del AUMH encontramos una franja delgada de árboles asociados a bosque latifoliado y bosque seco que separa el bosque de manglar de la zona de producción agrícola y fincas ganaderas. En estas áreas es común observar una mezcla entre mangle negro con árboles y arbustos como conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), ceiba (*Ceiba aesculifolia*), manzanillo (*Hippomane mancinella*), palo de amate (*Ficus insipida*), madre agua (*Pachira aquatica*), entre otros. **Esto hace imposible poder delimitar de forma exacta donde inicia y termina un tipo de bosque.** Además, debido a que las fincas no se encontraban “limpias” se encontró un gran número de arbustos espinosos como guachimol (*Pithecellobium dulce*), ixcanal (*Acacia hindsii*) así como varias palmas (*Sabal mexicana*), lo que temporalmente aumenta la cobertura forestal. Según Mario Crespo, Guardarecursos de CONAP en el AUMH², cuando llega la época de la siembra es común que los finqueros quemen todos estos arbustos y poden las palmas; algunos otros utilizan esta cobertura como protección y sombra para el ganado.



(A) Límite entre el bosque de manglar y la zona agrícola y (B) cobertura arbórea de área ganadera.

² Comunicación personal en abril 2021 con Alejandro Borrayo técnico de campo de Consultor TopoSIG.

El límite norte del manglar que se extiende desde la carretera al Salado hasta la aldea de La Avellana está formado por mangle rojo chaparro y mangle blanco. Esta franja se encuentra en contacto con zonas de producción y algunos parches con árboles asociados a bosque seco y de galería. Al oeste de la Avellana esto cambia pues el mangle restante limita al norte con el tular-carrizal y el sistema de lagunas de Monterrico.

Tular-carrizal: la RNUMM cuenta con el ecosistema de tular-carrizal, no existente dentro del AUMH. Al este de la RNUMM encontramos un extenso ecosistema de tular-carrizal caracterizado por la presencia de *Typha sp.* y *Phragmites australis*. Este se extiende a lo largo de un sistema de lagunas que va desde la zona de producción/habitacional del sur hasta la frontera agrícola en el norte de la reserva. Debido a que el estudio se realizó en temporada seca gran parte del tul y carrizo se encontraban secos. Además, el canal, vericuetes y lagunas se encontraban llenas de los restos de la ninfa de agua (*Eichhornia crassipes*) la cual, durante la época de invierno, se desarrolla de forma descontrolada en el área. Estos restos se estancan y llegan a bloquear e impedir el avance de las lanchas debido a que se acumulan por el poco flujo y recambio de agua en esta época.



(A) Tular-carrizal seco y (B) canal principal bloqueado por los restos de *E. crassipes*.

Este ecosistema se encuentra dividido físicamente al este por la finca Chiquiguitan, la cual separó a través de una carretera el sistema de lagunas y tular-carrizal. Esta finca cuenta con una compuerta que permite el ingreso de agua durante la época lluviosa y que evita que el agua drene en temporada seca. Según los comunitarios esta finca utiliza el agua para su siembra y ganado.



(A) Carretera que divide el tular-carrizal al oeste de la RNUMM y (B) compuerta que permite el ingreso de agua en invierno y evita su salida en verano.

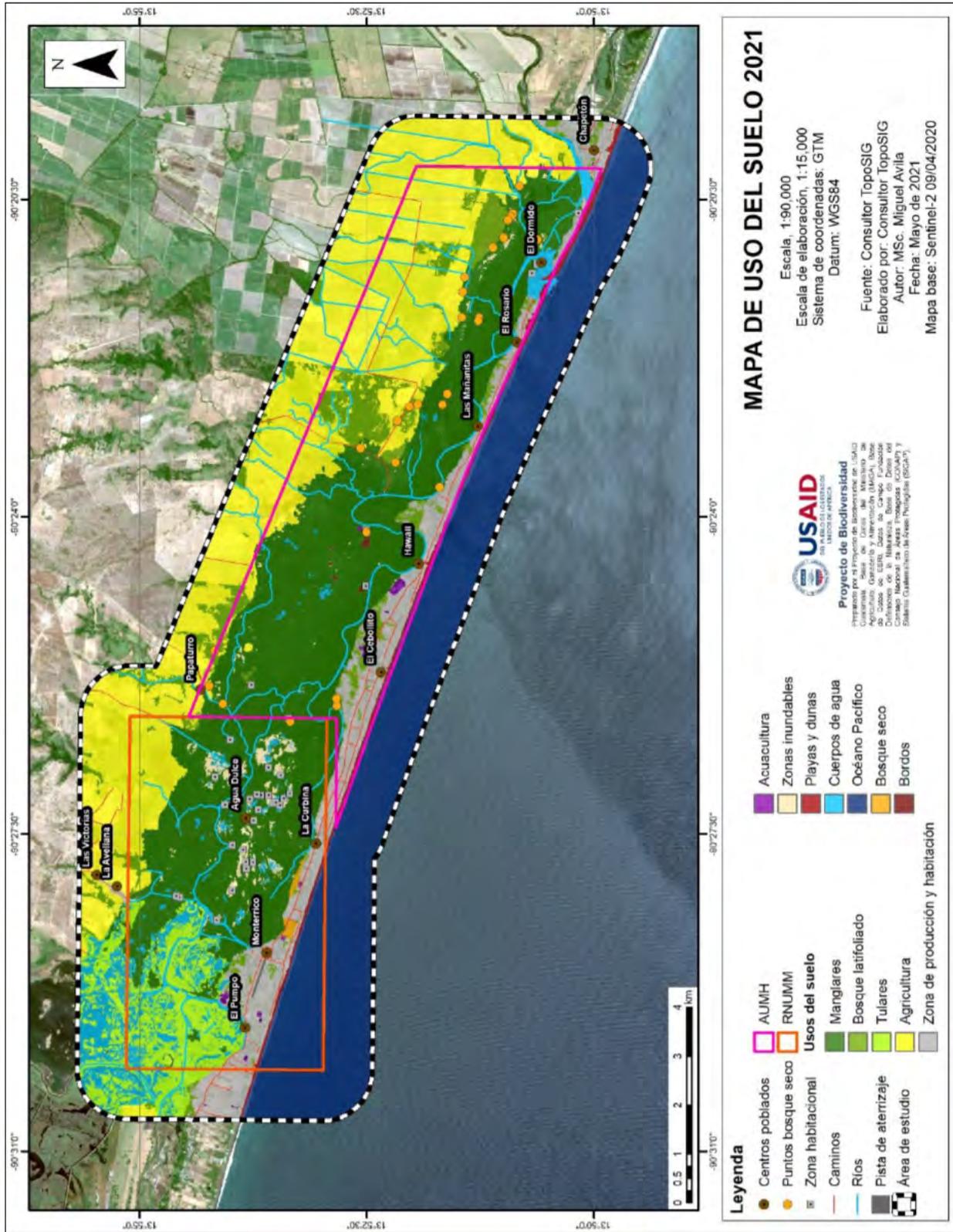
Bordos y lagunas estacionales: En el interior del bosque de manglar y el tular-carrizal encontramos diferentes bordos, estos son pequeñas extensiones de tierra con mayor elevación por lo que no se inundan en ninguna temporada. Esto genera una dinámica única caracterizada por el desarrollo de árboles asociados al bosque seco como ceibas, guachimol, manzanillo, ixcanal y palma; estos bordos suelen estar rodeados de mangle negro y blanco. Muchos de estos bordos se encuentran o fueron habitados por lo que algunos cuentan con ranchos, árboles frutales, algún tipo de siembra, entre otros. Además, existen bordos que no se encuentran totalmente rodeados de mangle, sino que limitan con un cuerpo de agua estacional, tal es el caso de la aldea Agua Dulce en la RNUMM. En esta aldea las lagunas que rodean los bordos se secan casi en su totalidad lo que permite el desarrollo de salineras naturales. En invierno algunas de las lagunas estacionales más pequeñas son utilizadas para la crianza de peces o camarón debido a que es posible circularla y evitar que los animales escapen.



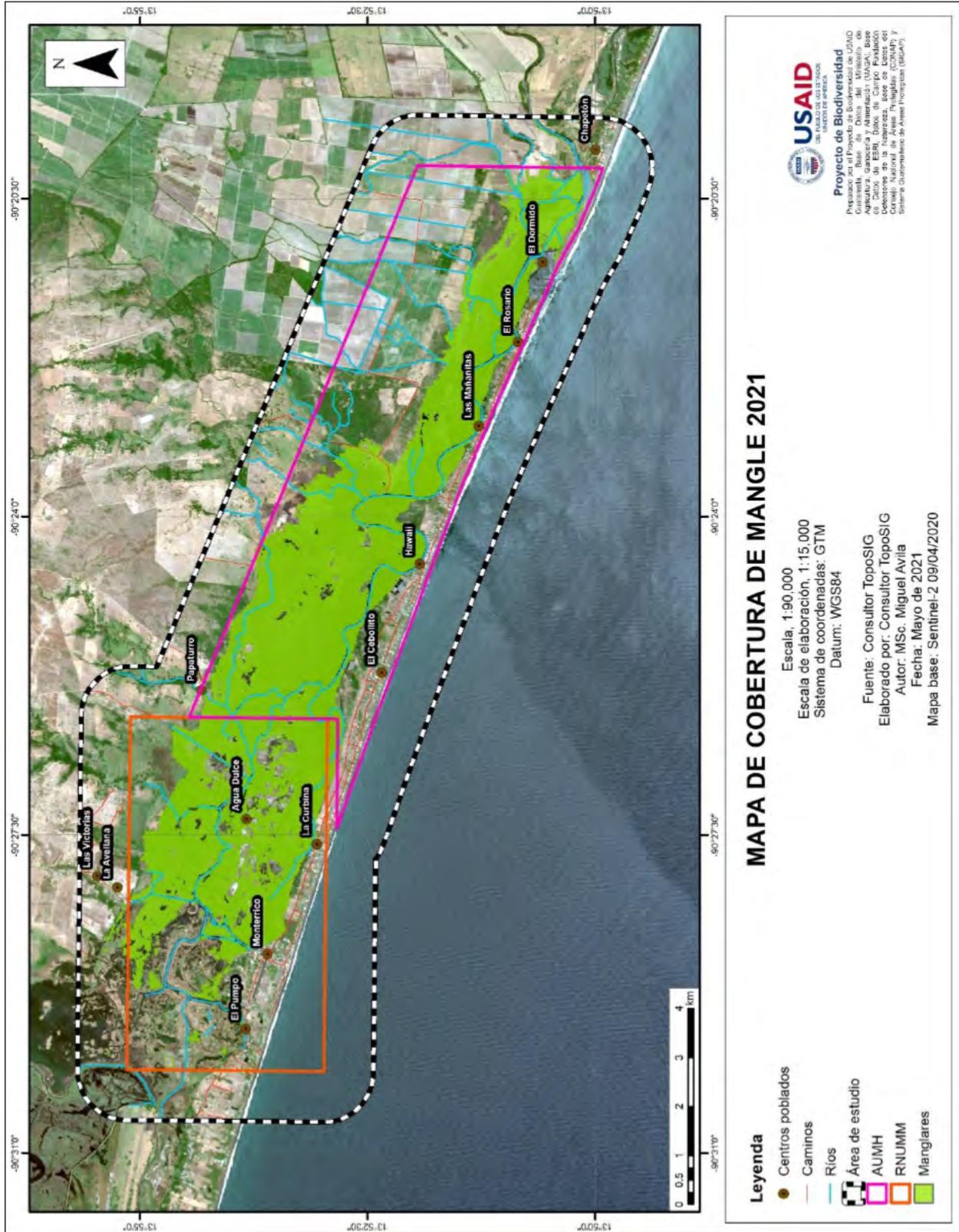
(A) Bordo cubierto de sal con mangle negro y manzanillo, (B) bordo con árboles y arbustos del bosque seco, (C) laguna estacional seca en la Aldea Agua Dulce y (D) Laguna estacional seca utilizada para la acuicultura.

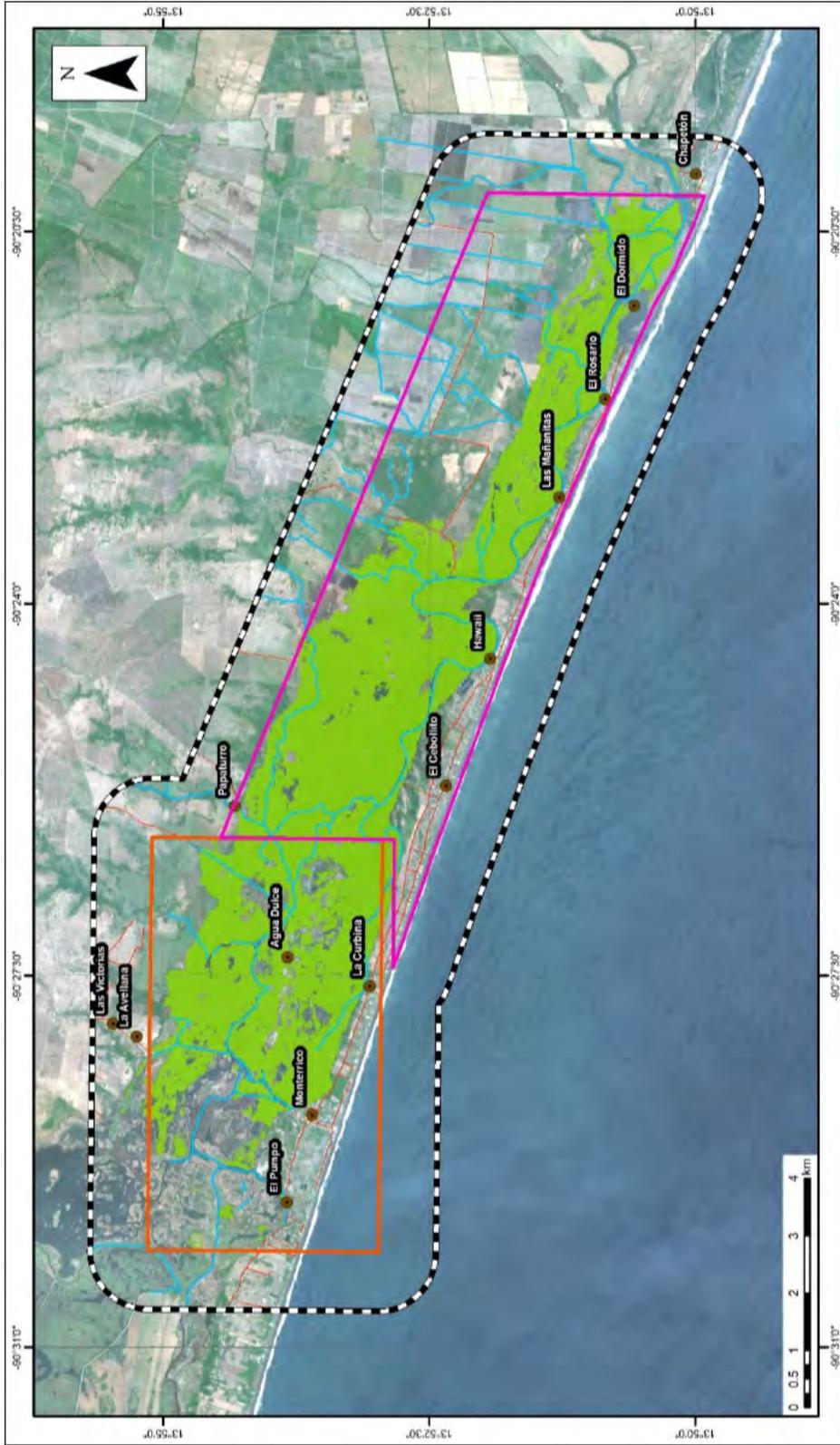
Playa y dunas: Con respecto a las dunas, este ecosistema es uno de los más amenazados por la expansión de la zona habitacional debido a que estos terrenos son utilizados para la construcción de casas vacacionales y hoteles. La mayor extensión de dunas se encuentra dentro del AUMH entre la aldea El Hawaii, Las Mañanitas y el Rosario, y continua entre la Bocabarra El Dormido y la Aldea El Chapetón. Según los comunitarios el avance de esto se ha visto limitado por la falta de una carretera pavimentada hacia estas comunidades; sin embargo, estas zonas ya cuentan con algunos hoteles como el Maya Jade.

ANEXO 2: MAPAS FINALES ÁREA DE ESTUDIO RNUMM Y AUMH DE USO DEL SUELO 2019-2021



ANEXO 3: MAPAS FINALES ÁREA DE ESTUDIO RNUMM Y AUMH COBERTURA DE MANGLE 2019-2021





MAPA DE COBERTURA DE MANGLE 2020

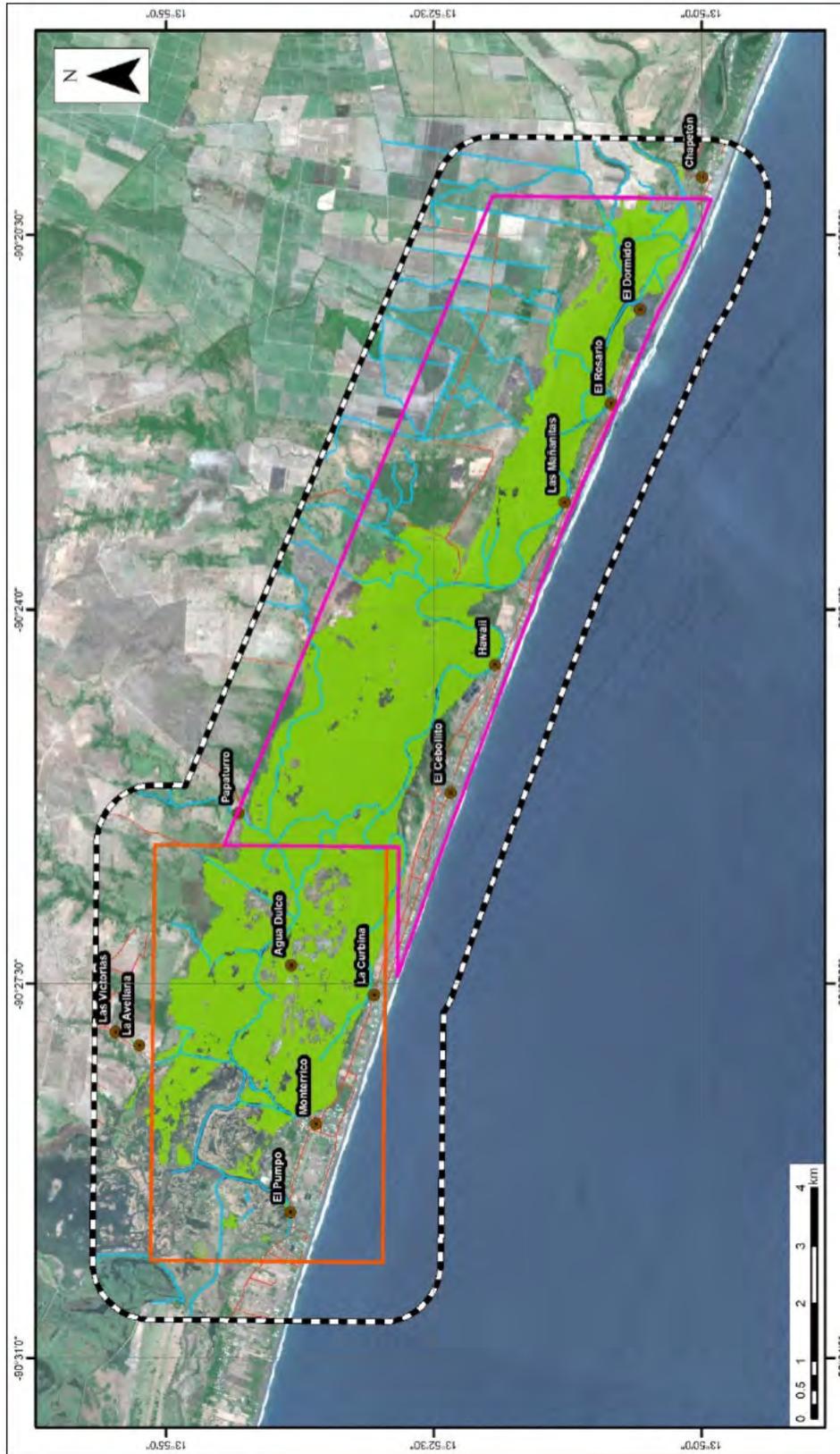
Escala, 1:90,000
 Escala de elaboración, 1:15,000
 Sistema de coordenadas: GTM
 Datum: WGS84

Fuente: Consultor TopoSIG
 Elaborado por: Consultor TopoSIG
 Autor: MSc. Miguel Avila
 Fecha: Mayo de 2021
 Mapa base: Sentinel-2 09/04/2020

- Leyenda**
- Centros poblados
 - Caminos
 - Ríos
 - ▭ Área de estudio
 - ▭ AUMH
 - ▭ RNUMM
 - ▭ Manglares



Proyecto de Biodiversidad
 del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
 del Gobierno de Costa Rica
 Preparado por el Proyecto de Biodiversidad de USAID
 en colaboración con el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
 de Costa Rica, el Centro de Investigación y Educación Ambiental (CIEA), el Centro de Investigación y Educación Ambiental (CIEA), el Centro de Investigación y Educación Ambiental (CIEA) y el Sistema de Información de Recursos Naturales (SIRN).



MAPA DE COBERTURA DE MANGLE DE 2019

Escala: 1:90,000
 Escala de elaboración: 1:15,000
 Sistema de coordenadas: GTM
 Datum: WGS84

Fuente: Consultor TopoSIG
 Elaborado por: Consultor TopoSIG
 Autor: MSc. Miguel Avila
 Fecha: Mayo de 2021
 Mapa base: Sentinel-2 09/04/2020

- Leyenda**
- Centros poblados
 - Caminos
 - Ríos
 - Área de estudio
 - AUMH
 - RNUMM
 - Manglares



Proyecto de Biodiversidad
 Preparado por el Proyecto de Investigación de Uso del Suelo, Base de Datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Fomento (MAGF), Base de Datos de Recursos Acuáticos (MARA), Base de Datos de Recursos Forestales (MAREF), Base de Datos de Recursos de la Naturaleza, Base de Datos del Consejo Nacional de Areas Protegidas (CONAP) y Sistema (Sistemático) de Areas Protegidas (SISAP)

ANEXO 4: MAPA DE USO DEL SUELO Y COBERTURA DE MANGLE AUMH 2019: ESTE MAPA NO FUE SOLICITADO PERO SE REALIZÓ POR LA IMPORTANCIA QUE PUEDE TENER PARA LOS ADMINISTRADORES DEL ÁREA PROTEGIDA.

