

Título

Factores biofísicos y antrópicos de la cuenca del río Mandinga y su influencia en la destrucción del ecosistema manglar de Barra Salada, Sonsonate, El Salvador

Méndez-Granados-N.A.1*, Castaneda-Romero, L.F.2**; Rodríguez-Urrutia, E.A.3**; Rivera, C.G.4**.; Orellana-Núñez, M.A.5**.

1. Resumen y Abstract

El bosque salado o Manglar de Barra Salada con 454 has., ubicado en el departamento de Sonsonate, es considerado un ecosistema de importancia ambiental y socioeconómica; sin embargo, está siendo alterado por factores físico-químicos y antrópicos.

Este bosque está ubicado en la parte sur de la cuenca Mandinga, con una extensión de 86.51 km², una elevación máxima de 600 msnm y drenado por los ríos Mandinga y Pululuya, que se extienden a través de los territorios municipales de San Julián, Cuisnahuat y Sonsonate.

La cuenca presenta el 92% de su área para la producción agrícola (granos básicos abarcan: 29.1 km², siendo este el rubro más representativo, establecido en pendientes entre el 15% a más de 70%), hay una densidad poblacional de 173 hab./km²; estos, entre otros factores, son las causas que impiden el desarrollo de bienes y servicios ambientales, importantes para el buen funcionamiento de los ecosistemas en este territorio.

Por ejemplo, el Índice de Calidad del agua (ICA), indica que aguas drenadas al manglar tienen calidad regular a pésima; los ríos, sin agua en época seca, facilitan el taponamiento de la bocana, y con ello, se elevan (30-33‰) o disminuyen (0.15-0.45‰) periódicamente, la concentración salina en las aguas del Estero, incrementándose además la temperatura en esta, por largos períodos de tiempo; a lo anterior, se suma la usurpación del manglar para construcción de viviendas (13.1 has.) o crecimiento agropecuario (22.01 has.).

Estos factores, están promoviendo el desarrollo de bosques monoespecíficos de *Avicennia germinans*, que además se encuentran poco desarrollados y deteriorados, según se define por el índice de complejidad de Holdrige (ICH) que tuvo un valor de 0.094.

De igual manera, el bosque salado se ha reducido en área, desde 1954 al 2018 en un 33.21% (260.01 has.), es decir, de 620.41 has. a 414.4 has. respectivamente, un área menor a la manejada oficialmente por el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Palabras Claves

Cuenca Mandinga, Pululuya, Manglar, El Salvador, *Avicennia germinans*; ICH, Salinidad.

ABSTRAC

The mangrove forest of Barra Salada with 454 ha, located in the department of Sonsonate, is an ecosystem of environmental and socioeconomic importance; however, it is being altered by physical-chemical and anthropic factors.

This forest is located in the southern part of the Mandinga basin, with an extension of 86.51 km², a maximum elevation of 600 masl and is drained by the Mandinga and Pululuya rivers, which extend through the municipal territories of San Julián, Cuisnahuat and Sonsonate.

1* Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503)7898-7498. nicolasmendezgranados@gmail.com

2** Secretario de Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503)7071-0105 y 2225-2572.

fcastanedar@yahoo.com

3** Docente del departamento de Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503)7860-2390 y 2225-2572. hernandez_mhm@yahoo.com

4** Ministerio de Medio ambiente y Recursos Naturales (MARN). El Salvador. (503)76099758 y 2132-6220. carlos.riverag@gmail.com

5** Director de Escuela de Posgrado y Educación Continua, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. El Salvador. (503)7860-2390 y 2225-2572. m_orellan@yahoo.com

The basin presents 92% of its area for agricultural production (basic grains include: 29.1 km², this being the most representative area, established on slopes between 15% to more than 70%), there is a population density of 173 hab. / km²; These, among other factors, are the causes that prevent the development of environmental goods and services, important for the proper functioning of ecosystems in this territory. For example, the Water Quality Index (ICA, for its acronym in English), which drains into the mangrove, is from regular to very poor; The rivers, without flow in the dry season, facilitate the plugging of the mouth of the estuary, raising (30-33 ‰) or decreasing (0.15-0.45 ‰) periodically the concentration of salt in the estuary water, in addition to increasing the water temperature, for long periods of time. To the foregoing, the usurpation of the mangrove is added, for the construction of houses (13.1 ha) or agricultural growth (22.01 ha).

These factors are promoting the development of a monospecific forest of *Avicennia germinans*, with a Holdridge complexity index (ICH) that reaches a value of 0.094 and is also underdeveloped and deteriorated.

Similarly, the salty forest has been reduced in area, from 1954 to 2018 by 33.21% (260.01 ha.), that is, 620.41 ha. to 414.4 ha. respectively; an area smaller than that officially managed by the Ministry of the Environment and Natural Resources (MARN).

Key Words

Mandinga Basin, Pululuya, Mangrove, El Salvador, *Avicennia germinans*; Index Complexity, Salinity

2. Introducción

Los bosques de manglar son de importancia para el desarrollo económico, social y ambiental en muchos países; debido a su productividad, por el uso que comunidades hacen de ellos, por los bienes y servicios ambientales que brindan, tales como control de inundaciones, depuración de aguas, recarga de acuíferos, producción pesquera, regulación climática, protección y estabilización de la línea de costa; entre otros (CONABIO 2008).

En El Salvador, según el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), estos bosques son ecosistemas formados por la vegetación, el suelo, los canales y la vida silvestre asociada que habita en el área que el agua de mar, en sus más altas mareas, ocupa y desocupa alternativamente por causas naturales, incluyendo los terrenos que se encuentren en el área de amojonamiento por la autoridad competente (MARN 2012).

A pesar de la importancia que los bosques salados representan, éstos están muy presionados y amenazados; por ejemplo, se ha identificado en las aguas de estanques camaroneros ubicados en las orillas del bosque de manglar de Bahía de Jiquilisco, Usulután, la presencia de Dieldrín, Dicloro Difenil Dicloroetano (DDE), Heptacloro y cloro difenil tricloroetano (DDT), trazas de pesticidas considerados altamente tóxicos, utilizados en el manejo del cultivo del algodón en la zona costera del departamento de Usulután, en los años sesenta y setentas (FIAES-UCA 2007); de igual manera, hay transporte de contaminantes a través de ríos, principalmente con residuos de fertilizantes, plaguicidas y aguas residuales de uso doméstico e industrial; las talas excesivas para la expansión de la agricultura, ganadería, infraestructura urbana, han provocado cambios en los flujos de agua en los canales de alimentación de agua, en el interior de estos bosques, cambiando las condiciones físico-químicas naturales en las que se desarrollan favorablemente diferentes especies de manglar, generando la fragmentación o desaparición de estos (Hernández 2014).

El deterioro de estos bosques puede darse directamente en el interior o sus contornos; sin embargo, las causas dependen de acciones que se dan en un territorio mayor, como son las cuencas hidrográficas. Estas corresponden a una superficie de tierra delimitada por un parte agua, con un patrón de drenaje donde suceden procesos biológicos, naturales, escénicos y sociales, interactuando entre sí (Asamblea Legislativa de El Salvador. 2002).

El Salvador cuenta con bosques salados a lo largo de la cadena costera, entre los que destacan: Barra de Santiago; Barra Salada, que forma parte del ANP Los Cobanos; Estero de Jaltepeque; Bahía de Jiquilisco; Bahía de La Unión, donde se incluyen los bosques de Goascorán. De éstos, solamente el de Barra Salada y las islas de Bahía de Jiquilisco se encuentran bajo un estado de protección legal, ya que están declaradas como áreas naturales protegidas.

El bosque de Barra Salada cuenta con 454 has. (MARN 2007), es uno de los ecosistemas de manglar que está siendo impactado por factores físico-químicos y antrópicos, disminuyendo gradualmente su superficie tanto en su interior como en los bordes. Este se encuentra en el municipio y departamento de Sonsonate, forma parte de la cuenca Mandinga (86.51 km²).

En ese marco y para contribuir a la búsqueda de acciones para su restauración, se desarrolló esta investigación con los siguientes objetivos:

Objetivo general: Determinar los posibles factores biofísicos y antrópicos que están influyendo en la destrucción del bosque de manglar de Barra Salada, Sonsonate;

Objetivos Específicos: a) Elaborar una caracterización socioeconómica y ambiental de la cuenca Mandinga, ubicada en el departamento de Sonsonate; b) Analizar el comportamiento hídrico de la cuenca Mandinga para determinar su impacto en el bosque de Manglar de Barra Salada; c) Identificar y caracterizar las zonas de bosque de manglar más afectadas y d) Proponer lineamientos estratégicos para contribuir a la restauración del Manglar de Barra Salada.

3. Metodología

La cuenca Mandinga se encuentra ubicada en el departamento de Sonsonate e incluye los municipios de San Julián, Cuisnahuat y Sonsonate, comprende un área total de 86.51 km². En la parte baja se encuentra el manglar de Barra Salada con una extensión de con 454 has (Figura 1).

La investigación se realizó entre junio 2016 y agosto de 2018, implementando como estrategia de trabajo, la coordinación con los actores locales, con quienes se logró el apoyo y acceso al territorio, realizando el reconocimiento y levantamiento de información.



Figura 1. Ubicación de la cuenca Mandinga y el manglar Barra Salada (Fuente: Elaboración propia a partir de SIG-UES).

3.1. Caracterización de los principales aspectos socioeconómicos y ambientales en la cuenca

Se realizó la revisión y recolección de información en línea, en organismos vinculados a los temas de interés, tales como, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local (FISDL), Banco Central de Reserva (BCR), entre otras. Esto se complementó con visitas a las instituciones nacionales; entrevistas bilaterales: reuniones de trabajo con Promotores de Salud, Jefe de Saneamiento Ambiental de las Unidades de Salud, Jueces de Agua, responsables de las Unidades Ambientales Municipales, referentes de ADESCOS (Asociación de Desarrollo Comunal) y Cooperativas; utilización de herramienta ArcGis V10.3 de la facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador (UES) y

bases de datos del Centro Nacional de Registros (CNR), obtenidas a través del geoportal-CNR, para elaborar mapas ambientales, administrativos y territoriales de la cuenca; información analizada y contrastada con giras de campo para levantar y registrar información in situ (fotografías, toma de muestras) y talleres de trabajo con actores claves en los territorios.

3.2. Comportamiento hídrico en la cuenca

La cuenca Mandinga está formada por dos ríos importantes que son fundamentales para el desarrollo del bosque de manglar de Barra Salada: Mandinga con una longitud de 15.8 km, y Pululuya con una longitud de 10 km.

3.2.1. Cálculo de caudales

Se midieron los caudales en sitios estratégicos de los principales ríos que forman la cuenca Mandinga, utilizando molinete hidráulico y en algunos casos a través del método volumétrico. Las mediciones se realizaron en los meses de abril y julio, haciéndose un muestreo en tres puntos (parte alta, media y baja de la cuenca) de los ríos; sin embargo, por problemas de inseguridad, se tomaron mediciones solo en la parte media y baja del río Mandinga, mientras que en el río Pululuya se tomaron los aforos en las tres partes. (Figura 2).

La información obtenida de las mediciones se comparó con datos históricos obtenidos por el MARN en estos ríos, lo que permitió valorar la posible influencia que tienen los afluentes de agua superficial en el estero y cómo la concentración de sal puede variar en las aguas del humedal durante las épocas seca y lluviosa, según la cantidad de agua que ingrese de los ríos.

3.2.2. Calidad de agua de ríos y estero

Muestreo en ríos: Para determinar la calidad de agua en los ríos se realizaron análisis físico-químicos y microbiológicos. Se utilizaron frascos esterilizados de plástico con capacidad de 1 lt, para los análisis microbiológicos. Para análisis físico químicos se utilizaron frascos con capacidad para 250 ml. Los frascos se identificaron (punto de toma de muestra, fecha y hora), se depositaron en una hielera con hielo y fueron transportados inmediatamente a los laboratorios de las facultades de Ciencias agronómicas (análisis físico químicos), y, química y Farmacia (análisis microbiológicos) de la Universidad de El Salvador. Los puntos de muestreo de agua fueron los mismos donde se hicieron las mediciones de caudales.

Para cada una de las muestras de agua se hicieron los siguientes análisis de laboratorio: Microbiológico: Coliformes Fecales, Coliformes totales, Escherichia coli y bacterias heterótrofas, aerobias mesófilas. Para el físico químico: pH, temperatura ambiente del agua (° C), Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5 en mg/l), Nitratos (NO3 en mg/l), Fosfatos (PO4 en mg/l), Turbidez (en FAU), Sólidos disueltos totales (en mg/l), Oxígeno Disuelto (OD en porcentaje de saturación) y Salinidad (‰). El equipo utilizado en campo para determinar pH, Temperatura, Sólidos Totales Disueltos (STD) y Conductividad, fue el multiparámetro portátil MI 805.

Una vez se obtuvieron los análisis físicos, químicos y microbiológicos, se hizo el cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA).

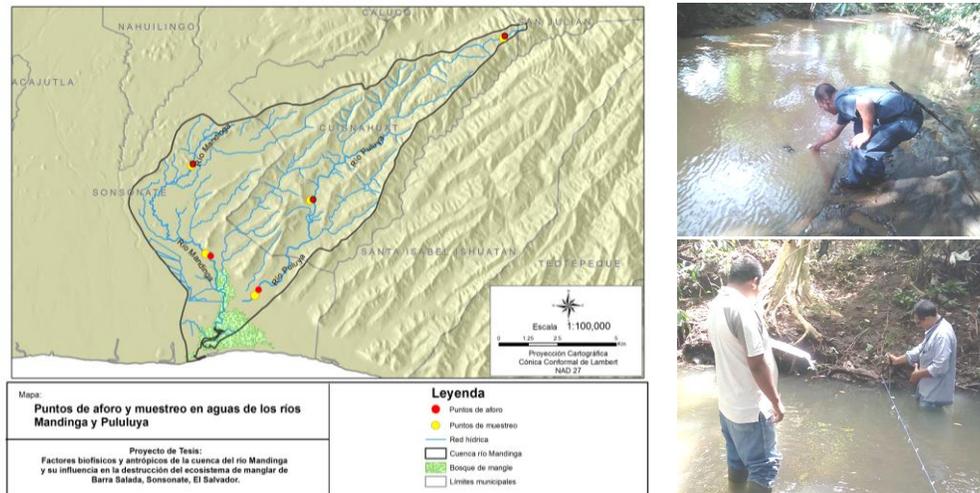


Figura 2. Puntos de aforo y muestreos de agua en río Mandinga y Pululuya

Muestreo en el estero: se seleccionaron zonas específicas, considerándose las siguientes: a) zonas cercanas a asentamientos humanos; b) zonas cercanas a fuentes contaminantes; c) zona de transición de río y estero; e) zona cercana a la frontera agrícola; todos se tomaron en marea alta, baja y con bocana cerrada (Figura 3).

En el estero solamente se determinó la concentración de sal, pH y temperatura; para determinar la salinidad se tomaron las muestras de agua y se transportaron en frascos de plástico en una hielera con hielo, hacia el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. La salinidad fue determinada a través de un medidor portátil de la Serie Orión Star A329 (Thermo Scientific); el pH y temperatura del agua fueron obtenidas en el sitio; para la temperatura se utilizó un termómetro Fisherbrand de 76mm inmersión.



Figura 3. Puntos de muestreo de agua en el manglar Barra Salada para determinar salinidad.

3.3. Identificación de actores claves y su relación con el recurso hídrico

3.3.1. Identificación de comunidades

Se realizaron recorridos con referentes de las municipalidades de Cuisnahuat y Sonsonate, para conocer las principales comunidades de la cuenca, registrando información sobre la calidad de vida de sus pobladores y cómo se comportan en el manejo de la cuenca. Esta información se consolidó y complementó con los diagnósticos elaborados por las Unidades de Salud, municipalidades, información generada por instituciones del estado, Organizaciones No Gubernamentales (ONG), entre otras.

3.3.2. Identificación de otros actores claves

Se consideraron aquellos actores claves que hacen uso del recurso hídrico de los ríos Mandinga y Pululuya (agua superficial utilizada para uso agrícola, pecuario). Para identificarlos, se solicitó información a las municipalidades (juez de agua), Unidades de Salud, Asociaciones de Desarrollo Comunal (ADESCOS), Juntas de Regantes, Juntas Administradoras de Agua, instituciones y Organismos no Gubernamentales (ONG) que trabajan en la cuenca.

3.4. Caracterización del bosque de manglar en el contorno de la zona degradada

3.4.1. Caracterización del bosque en el contorno de las áreas degradadas

Se definieron en total tres zonas para determinar el estado vegetativo del bosque de manglar, considerando estas como las más representativas, al presentar en su interior, áreas de masa boscosa deteriorada. Los criterios para la selección de estas zonas fueron los siguientes: a) Zona 1, se observó la falta de vegetación de mangle (parche) en el interior del bosque, proceso no relacionado con presión antrópica directa; b) Zona 2, se caracterizó por encontrarse en un lugar de poca vegetación, presentando una presión generada por la ganadería y la producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*); c) Zona 3, se consideró por presentar un área donde la vegetación ha sido sustituida para la construcción de viviendas, así como por el impacto que estas generan con la deposición de basura o desechos de origen diverso en el interior del bosque (Ver figura 4).

Alrededor de cada una de las zonas identificadas, se establecieron 10 unidades de muestreo, de 100 m² (10 m x 10 m) cada una, obteniéndose una Unidad de Análisis de 0.1 ha por cada zona (siendo 30 unidades de muestreo las que se establecieron en total). En cada unidad de muestreo (UM) se georreferenció y se recopiló información para la vegetación, asociada con Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) de 2.5-9.9 cm y con DAP mayor a 10 cm.

Por cada árbol caracterizado, se tomaron las siguientes variables: identificación de la especie, el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) en cm; la altura total (m), utilizando cinta diamétrica e hipsómetro, respectivamente; área basal (m²). También se registraron los árboles muertos o enfermos y los tocones (menor de 1.30 m de altura).

Para la delimitación de cada zona en el bosque de manglar de Barra Salada, se hicieron recorridos de campo y utilizó una imagen de Google Earth, (2015), elaborada por el proyecto USAID/IMCCW/DAI (Development Alternative Incorporated); esta fue facilitada por el Ministerio de Medio ambiente y Recursos Naturales (MARN).

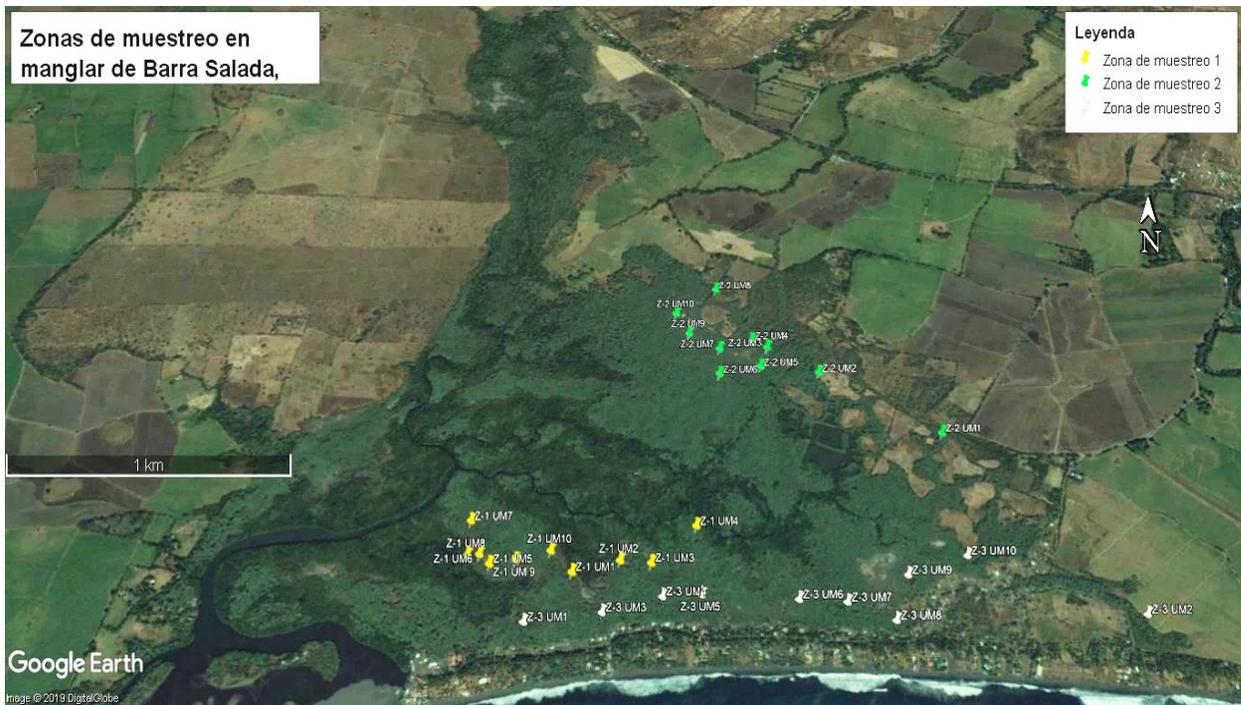


Figura 4. Ubicación de las Unidades de muestreo, donde se caracterizaron árboles de mangle, por cada una de las tres zonas que presentaban áreas con bosque degradado o muerto.

3.4.2. Índice de Complejidad de Holdridge (ICH)

Con la información colectada en cada unidad de análisis, se obtuvo el Índice de Complejidad de Holdridge, herramienta estadística que sirve para determinar el grado de desarrollo estructural del bosque en cada zona. Tiene una escala de 0-100 (Tovilla, 2003), lo cual indica mayor complejidad de un bosque, a medida que este número se acerca a 100; para el cálculo de este índice, se utilizó la siguiente ecuación: $ICH = (d) (a) (h) (s) / 1,000$; donde: d = Número de troncos; a = Área basal [$\pi / 4 (DAP)^2$]; h = Altura del rodal (m); s = Número de especies.

3.4.3. Delimitación histórica del bosque de manglar

Para obtener información histórica de los cambios en el tiempo del manglar de Barra Salada, se obtuvieron imágenes de ortofotos de 1954 y 1978, en el Centro Nacional de Registros (CNR); así como una imagen satelital en GOOGLE EARTH del 2018.

Con las ortofotos, se realizó una ortorectificación de la imagen de 1954 y 1978 con QGIS 2.18, luego se definió un área específica a través de fotointerpretación, definiéndose las coberturas existentes en cada año.

Para la imagen de GOOGLE Earth del 2018, se realizó el cálculo del área de bosque, para ello fue necesario exportar dicha imagen, ortorectificándola con QGIS 2.18; el procedimiento para el cálculo del área fue el mismo que de las fotografías aéreas. Una vez rectificadas las tres imágenes, se realizó un proceso de comparación de las ellas, a fin de determinar el comportamiento de cobertura boscosa para cada uno de los años.

Para conocer las diferencias de coberturas existentes por cada imagen, se convirtieron estas, de un archivo tipo Shapes a uno de tipo Raster; esto fue posible al utilizar la calculadora RASTER.

4. Identificación de lineamientos para mejorar las condiciones hidrológicas en la cuenca y la restauración del bosque de manglar de Barra Salada

Tomando en cuenta la opinión de diferentes sectores sociales (en talleres, reuniones, entrevistas) presentes en la cuenca, y en particular, los que tienen incidencia en la zona de los humedales de Barra Salada, así como el análisis de toda la documentación recopilada en el proceso de la investigación, se identificaron algunos lineamientos que pueden ser abordados e implementados, con el propósito de contribuir a buscar la restauración y sostenibilidad en la cuenca y el bosque de manglar en estudio.

5. Resultados y Discusión

5.1. Características biofísicas de la cuenca Mandinga

Las altas pendientes, el crecimiento de la frontera agrícola y la sobreutilización de los suelos, son de los principales factores que están contribuyendo en la cuenca, a la generación de altos niveles de escorrentía, erosión y por supuesto, baja infiltración, provocando efectos negativos aguas abajo, a través de los ríos que drenan al manglar. Cuisnahuat, es el municipio que presenta un territorio (mayoritariamente), con pendientes entre 30% a más del 70%, precipitaciones que oscilan entre los 1625 a 1875 mm/año); contrario a Sonsonate, cuyas pendientes oscilan entre 15% al 30% principalmente.

El 92% de la cuenca está destinada para uso agrícola, predominando los granos básicos, pastos y caña de azúcar, contribuyéndose así a que los impactos ambientales sean de gran magnitud.

5.2. Características socioeconómicas

La población total en la cuenca para el año 2017, es de 14,986 habitantes; de ésta, el 67% pertenece a Cuisnahuat (244 hab./km²) y el 33% a Sonsonate (109 hab./km²) (MINSAL 2017). En el municipio de Sonsonate, existen 108 familias que viven actualmente en áreas que han sido de bosque salado de Barra Salada; según los lugareños, es por autorización de la alcaldía municipal de Sonsonate, que se habilitaron dentro del bosque de manglar estas áreas, para construcción de viviendas; impactando directamente al ecosistema.

De acuerdo al Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local (FISDL, 2005), Cuisnahuat presenta pobreza extrema severa, mientras que Sonsonate está en la categoría de pobreza baja.

En relación al acceso a servicios básicos: el 17.8% de la población deposita la basura a campo abierto, el 6.4% la entierra, el 50% la quema y un 23.74% la entrega al tren de aseo y 2.04 hace otro uso con ella.

El 6.57% de las familias en la cuenca no cuentan con letrinas, 36.27% tienen letrinas de fosa, 49.97% tienen letrinas aboneras, 8.78% letrinas de lavar y 4.98 otro tipo.

El acceso al agua para consumo humano, se caracteriza en que el 45.27% de las viviendas en la cuenca, cuentan con acceso a cañería dentro de la vivienda; un 9.08% cuenta con cañería para acceso al agua fuera de la vivienda; un 27.25% cuenta con acceso a agua de pozo domiciliar o comunitario y un 18.4% se abastecen de agua del río.

5.3. Principales actores presentes en la cuenca

La cuenca del Mandinga presenta un conjunto de actores que ejercen cierto nivel de impacto en el territorio, es decir, en la cuenca y en el bosque salado. Entre los actores que destacan, están: 18 juntas comunitarias administradoras de agua y una administradora municipal, que toman agua de nacimientos (principalmente de la parte alta de la cuenca) y pozos perforados. Las cooperativas agropecuarias, Palo Combo, ubicada en la parte media de la cuenca y Barra ciega colindante con el ecosistema de Manglar, se dedican a la producción de caña de azúcar, principalmente; y a través de sus socios, desarrollan la producción de granos básicos. Los ganaderos, presentes en la parte Este del Manglar, expanden sus potreros en el interior del bosque salado, cambiando el tipo de uso de suelo. Las Asociaciones de Desarrollo Comunal (ADESCOS), se distribuyen en todas las comunidades identificadas en la cuenca, de estas, es singular la de Barra Salada, la cual ha gestionado (según los lugareños) ante la municipalidad de Sonsonate, terrenos para el establecimiento de viviendas (debido que residentes de este caserío, perdieron sus casas, ubicadas a orillas de la playa, por los fuertes oleajes del mar), asignándoseles lotes en la zona sur del ecosistema salado, ganándole área al bosque de manglar.

A nivel de Organizaciones no gubernamentales, se identificaron 5 entidades que se vinculan con la protección y conservación a los recursos naturales, principalmente en el bosque de manglar o en ecosistemas de interés dentro del Área Natural Protegida Los Cobanos; sin embargo, su actuar se limita a la duración de los proyectos y no se consolidan acciones de sostenibilidad a procesos, implementados en el contexto de estos.

Se identificaron 11 instituciones del Estado, presentes en la cuenca; sin embargo, tres de estas pueden tener un rol más significativo en la zona; para el caso, los Ministerios de Agricultura y Ganadería (MAG), Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y el Centro Nacional de Tecnología Apropiada (CENTA) pueden desarrollar un papel más protagónico en la protección de ecosistemas claves en la parte media y alta de la cuenca o en el bosque de manglar; acciones en las que se promueva una agricultura de buenas prácticas agrícolas (parte media y alta de la cuenca), y por el MARN, en promover el manejo sostenible en Barra Salada; por supuesto, a través de un proceso participativo incluyente.

La empresa privada es un sector que está también en el territorio, para el caso, la Compañía Azucarera Salvadoreña (CASSA), tiene como interés la producción de azúcar y derivados a partir de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*); sin embargo, para ello requiere de grandes extensiones de tierra para su producción. En Sonsonate, se encuentran suelos que son perfectos para este tipo de producción; COAGRI, una filial de CASSA se dedica a administrar este tipo de plantaciones para cooperativas como Barra Ciega, o en su defecto, alquila terrenos para hacerlos producir y multiplicar plantaciones. En los alrededores del manglar de Barra Salada, la presión por expandir este cultivo es constante y si siguen desapareciendo extensiones de bosque salado, tal como sucede actualmente en la parte ESTE del manglar, por parte de taladores de madera o los que amplían potreros, estos suelos podrán ser en un futuro, muy próximo, destinados a la siembra de este cultivo agroindustrial.

5.4. Comportamiento hídrico de la cuenca

5.4.1. Calidad físico-química del agua

El agua de los ríos Mandinga y Pululuya presentó valores de pH entre 7.51 y 8.01, niveles adecuados para el desarrollo de vida acuática, ya que según (MARN 2017), para que el agua pueda ser consumida o utilizada para usos diversos, los valores deben oscilar entre 6 y 8. Sin embargo, según algunos pobladores, en la parte baja del río Pululuya se producen descargas de lixiviados por el relleno sanitario en algunas épocas del año, lo que puede hacer varios estos valores, por lo cual debería monitorearse para tomar las medidas pertinentes.

La concentración de oxígeno disuelto oscila entre 0.42 y 8.02 mg/l en el río Pululuya y entre 6.8 y 7 mg/l para el río Mandinga. En la parte baja del río Pululuya, es donde la concentración de oxígeno disuelto (OD) se encuentra muy por debajo (0.42 mg/l) de los límites considerados adecuados; estas concentraciones generan anoxia (el OD en el agua está agotado), limitando el desarrollo de peces u otro tipo de fauna acuática. El río Mandinga presenta valores de OD entre 6.8 y 7 mg/l para la parte baja y media del cauce, respectivamente; estos son niveles adecuados para el desarrollo de especies acuáticas. Según Muñoz (2015), las concentraciones de Oxígeno Disuelto, pueden estar determinadas por las precipitaciones, temperatura, luz solar y la actividad autótrofa.

En relación a los Sólidos Totales Disueltos (STD), en la parte alta del río Pululuya se obtuvieron valores de 64.3 mg/l, en la parte media 86.40 mg/l y en la parte baja 148.7 mg/l, el aumento en la concentración se debe en gran medida, a la descarga de partículas de suelo que vienen por efecto de la erosión, de terrenos que son utilizados para la siembra de granos básicos, principalmente maíz. El río Mandinga presenta valores que oscilan en 106.10 a 164.40 mg/l para la parte media y baja, respectivamente; un poco más elevados en relación al Pululuya, lo que puede deberse a que esta microcuenca presenta mayores problemas de deforestación, y mayor predominancia de suelos dedicados a la siembra de granos básicos, en terrenos con pendientes bastante pronunciadas.

Las concentraciones de fosfatos en el río Pululuya fueron de 0.40 mg/l en la parte alta, 0.58 mg/l en la parte media y 0.97 mg/l en la parte baja. En el río Mandinga los valores fueron de 0.62 mg/l en la parte media y 0.95 mg/l en la parte baja. Normalmente la presencia de fósforo en los cuerpos de agua superficial puede resultar en eutrofización; sin embargo, las concentraciones encontradas son bastante bajas, comparado con lo que establece la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09, que debe ser no mayor a los 15 mg/l (CONACYT 2009). Esto probablemente se debe a que en la fecha en que se tomaron las muestras, haya coincidido con periodos de poca o nula fertilización en los cultivos de la zona, especialmente el maíz.

Las concentraciones de nitratos fueron de 1.50, 1.90 a 2.55 mg/l, en la parte alta, media y baja, respectivamente, en el río Pululuya; mientras que, en el río Mandinga, los valores oscilaron entre 2 a 2.5 mg/l, siendo menor en la parte baja y un poco más alto en la parte media, lo cual puede deberse a la incorporación de aguas lluvias en la parte baja. Estos valores de ambos ríos, no superan los límites permisibles establecidos por la Norma NSO 13.49.01:09, que no deben ser mayores 50 mg/l. (CONACYT 2009).

Los datos de FAU (Unidades de Atenuación de Formazina), para determinar la turbidez en el agua, fueron bajos (14) en la parte alta del río Pululuya, aumentando a 180 y 355 en la parte media y baja, respectivamente. Este comportamiento está relacionado principalmente a la presencia

humana y al manejo del suelo. El comportamiento en el río Mandinga varió un poco, ya que, en la parte media, el valor fue de 145 FAU, mayor que en la parte baja (21 FAU), probablemente se debió a que las muestras en ambos puntos, no se tomaron el mismo día durante la época de lluvias.

5.4.2. Calidad microbiológica del agua

En ambos ríos, los resultados de la calidad microbiológica de las aguas superaron los índices establecidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09. Los valores fueron más altos en el río Pululuya, lo cual está directamente relacionado con la concentración poblacional en las cercanías al río, aunado también a que éste es receptor de lixiviados descargados (según pobladores de la zona) por el relleno sanitario, ubicado en cantón San Lucas del municipio de Cuisnahuat, el cual es administrado por la municipalidad de Sonsonate.

5.4.3. Índice de Calidad del Agua (ICA)

Los resultados obtenidos indican que ninguno de los ríos muestreados (Mandinga y Pululuya) presentan condiciones adecuadas de calidad en sus aguas, ya que según el ICA éstas son de pésima a regular calidad; sin embargo, este parámetro varía entre los ríos y el punto de muestreo.

La parte baja del río Pululuya presenta aguas con características pésimas (ICA de 16.20), en la parte media son de calidad mala (ICA de 40.79) y en la parte alta son calidad regular (ICA de 51.19). Este fenómeno puede responder al nivel de impacto antrópico que se genera por labores domésticas o por la descarga de desechos de origen orgánico.

El río Mandinga presenta, agua de mala calidad (ICA de 41.36) en la parte media; en la parte baja se obtuvo calidad regular (ICA de 58.43). La calidad del agua en la parte baja es mejor que en la parte media, esto se debió, a que los muestreos en este río se hicieron en diferente período de la época lluviosa; es posible que las concentraciones de lluvia durante el mes de junio hayan contribuido a elevar el ICA en las aguas de la parte baja del río; no así, las que pudieron haber caído en la parte media, durante el mes de julio (fecha en la que se tomaron las muestras, en la parte media del río).

5.5. Comportamiento de los caudales

Los caudales del río Pululuya en época lluviosa varían levemente y en disminución, en el mes de julio de 1974 y julio 2017, con una diferencia de 0.0246 m³/seg en un período de 43 años, esta disminución representa 2125.44 metros cúbicos que dejan de ingresar por día en julio de 2017.

De igual manera se presenta en el río Mandinga, en el mes de julio de 1974 (0.0533 m³/seg.) y julio 2017 (0.010 m³/seg.) observando una disminución en el caudal de 0.0047 m³/seg.; esta es equivalente a 406 metros cúbicos que dejan de ingresar al manglar por día en julio del 2017.

En el caso de la época seca, los registros históricos indican que la cantidad de agua que corre por el río Pululuya (a la altura de la carretera de El Litoral) es mínima, 0.0124 m³/seg y 0.0651 m³/seg en enero y diciembre de 1975, respectivamente; para abril de 2017 no se registró ningún caudal (MARN 2017). Igual condición se presentó en el río Mandinga, en abril del 2017.

La falta de agua de escorrentía superficial (principalmente en época seca) procedente de los ríos Mandinga y Pululuya, puede generar que los niveles de salinidad en el agua y suelo del ecosistema de manglar aumenten significativamente; si bien es cierto, el mangle negro es la especie que tiene

mayor tolerancia a condiciones de alta salinidad (pues se adapta en terrenos con concentraciones mayores de 40 ‰ hasta 100 ‰, debido a las glándulas secretoras de sal en sus hojas), estas condiciones limitan el crecimiento de las plantas, ya que agravan el stress hídrico al afectar la absorción de agua, así como trastornan el balance de iones en la solución del suelo, haciendo que los nutrientes se encuentren proporcionalmente menos disponibles para la planta (González, L. 2016).

De acuerdo a Butchard (2005), las disminuciones de caudal pueden ir transformando los ecosistemas lóticos (de aguas corrientes) en ecosistemas lénticos (de aguas estancadas) y semi-lénticos, alterando el flujo de materia y energía, y estableciendo barreras para los movimientos de las especies migratorias; este fenómeno puede presentarse en esta cuenca y su humedal.

5.6. Salinidad del agua en el estero de Barra Salada

Uno de los aspectos que se consideró de mayor atención en este estudio fue la concentración de sal en las aguas del estero, factor que incide en el desarrollo de un bosque de manglar.

Los muestreos realizados en junio de 2017 y agosto de 2018, reflejaron valores diferentes, a pesar de que corresponden a la misma época. En junio 2017 cuando la bocana estaba cerrada, los niveles de salinidad en el agua se encontraron entre 0.024 a 0.455‰; mientras que los de agosto 2018, cuando la bocana estaba abierta, mostraron rangos entre 7.8 a 33.2‰. La diferencia en las concentraciones de salinidad para ambos periodos está determinada por el tipo de agua que ingresa al estero, siendo únicamente agua dulce en junio de 2017, ya que, en esta época, con la bocana cerrada, no ingresó agua de mar. En la medida que entra solo agua dulce, la cantidad de agua salada que se encontraba antes de que la bocana se cerrara, tiende a diluirse y a bajar la concentración de sal.

En agosto de 2018, en la época lluviosa y con la bocana abierta, el ingreso de agua dulce y agua salada al estero es constante; las concentraciones de sal fueron mayores a las encontradas en la época lluviosa de 2017, con la bocana cerrada.

Durante la época seca, abril de 2017, la concentración de sal en las aguas del estero osciló entre 30 a 33.5‰, la falta de agua en los ríos Mandinga y Pululuya (los ríos estaban secos) generaron que el agua que ingresara al manglar fuera únicamente la del océano (ver figura 5).

Estos resultados concuerdan con lo expresado por Olgún (2007), quién menciona que la salinidad en las aguas de los manglares puede ser mayor que la del agua de mar, debido al proceso de evaporación. Batres, Leyva y Sayes (2016) mencionan que, en la bahía de la Unión, El Salvador, las concentraciones de sal en las aguas del estero pueden variar una vez se presentan o se van las lluvias.

Otro factor que incide en el aumento de la salinidad en las aguas del Estero, según Francisco Gavidia, Oceanógrafo y coordinador de la Unidad de Oceanografía del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN 2018) en El Salvador, es el taponamiento de la bocana del manglar de Barra Salada en ciertas épocas del año. Las causas del taponamiento en la bocana se deben principalmente a: a) durante la época seca no existe caudal suficiente en los ríos Mandinga o Pululuya para contrarrestar la fuerza de la marea; b) en la época lluviosa se movilizan grandes cantidades de sedimento proveniente del río Mandinga y Pululuya, acumulando estos en

los canales; c) disminución en la velocidad del agua dentro de los canales del manglar, debido a que estos se encuentran azolvados y d) disminución de la profundidad de los canales estuarinos.

Otros efectos en el manglar, que se presentan con el taponamiento de la bocana Barra Salada

Es de señalar que el taponamiento de la bocana, además de hacer variar los niveles de salinidad en las aguas, genera inundaciones prolongadas (hasta 6 meses continuos) en Barra Salada, elevando significativamente (hasta 50 cm de altura) los niveles de agua sobre el suelo; esto hace que los neumatóforos en la *Avicennia germinans* se cubran y no logren llevar a cabo los procesos fisiológicos de la planta, en específico la respiración (Gonzalez, L. 2016).

Por otro lado, la incorporación de sedimentos en el manglar eleva los niveles de suelo en áreas donde ahora se limita el movimiento de mareas, requeridas normalmente por las diferentes especies de mangle en el interior del ecosistema.

La hidrología es un elemento abiótico que ocasiona cambios en la estructura y función, mostrando así que cada especie se distribuye en función de la hidrología hipersalina (marea) y a la capacidad de adaptación de la especie. Por ejemplo, el mangle rojo (*Rizophora mangle*) crece en zonas inundadas en las orillas de las lagunas, donde el flujo de agua es constante. Para el caso de la *A. germinans*, crece mejor en el interior del manglar, lejos de los bordes del estero o los canales, en zonas ligeramente más elevadas donde el flujo de la marea es menos aparente con un corto tiempo de inundación, debido a su estado fisiológico de adaptación en el medio (Gonzalez, L. 2016).

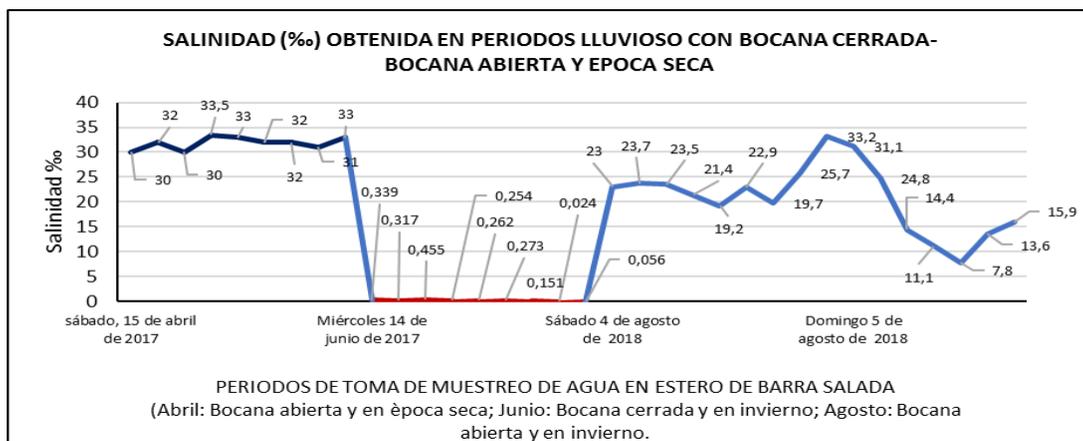


Figura 5 Comportamiento de la salinidad en el agua del Estero de Barra Salada en época seca y lluviosa, con bocana abierta y cerrada.

6. Características del bosque de manglar en el contorno de la zona degradada

6.1. Diámetro a la Altura del Pecho (DAP), altura de los árboles y densidad de árboles en unidades de muestreo (UM)

Los diámetros a la altura de pecho que fueron considerados en los muestreos, oscilaron entre 2.5 cm a 9.9 cm, y aquellos que se encuentran con DAP mayor a 10 cm.

La vegetación con DAP entre 2.5 a 9.9 cm. representó un 58.04% (231 árboles) de la vegetación total muestreada (el DAP promedio en este rango fue 4.93 cm.); un 41.96% (167 árboles) presentó un DAP de 10 cm o más (el DAP promedio en este rango fue de 17.47 cm.). El desarrollo del DAP depende en gran medida del nivel de desarrollo en estos árboles; es de hacer notar, que, de acuerdo a Gonzales et al. 2016, el mangle negro en regeneración natural, es poco tolerante a la sombra de otros árboles y por tanto requiere de espacios abiertos para desarrollarse y zonas menos inundables; esto indica, que espacios cerrados e inundados (como sucede en Barra Salada, en ciertas épocas del año), puede provocar poco desarrollo del mangle negro y por ende su DAP.

En la parte NorEste del bosque de manglar de Barra salada, se encontraron DAP de hasta 75 cm en árboles adultos, con alturas entre 15 y 18 m; sin embargo, las zonas 1 y 3 no presentan en su contorno árboles con estas características; es posible que la adaptación de la *Avicennia germinans* en lugares con niveles de salinidad más bajos permita un mejor desarrollo en este tipo de mangle; esto es respaldado por González. L et al 2016, quién menciona que concentraciones altas de salinidad del suelo, restringe el crecimiento de la *Avicennia germinans*, ya que el exceso de sales trastorna el balance de iones de la solución del suelo, y los nutrientes están proporcionalmente menos disponibles. Expresa además, que existen efectos antagónicos entre el Na y K, entre Na y Ca, y entre el Mg y K; en mayores concentraciones de sales, pueden ser directamente tóxicas para las plantas. Respecto a los iones Na y cloruros estos son muy dañinos, porque perturban el metabolismo del nitrógeno.

Es en la parte NorEste donde la tala de este tipo de árboles se da para aprovechar la madera, pero además, se permite la expansión de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y las pasturas para la ganadería. (Figura 7)

El total de árboles contabilizados en todas las unidades de muestreo fue de 398 (3 Has.), presentando alturas promedios de 3.8 metros en árboles con DAP de 2.5-9.9 cm y de 8.36 metros en árboles con DAP de 10 cm a más cm.

De acuerdo a los resultados del Inventario Nacional de Bosque (INB) para El Salvador (MARN 2018), la densidad de árboles de mangle por hectárea (en promedio para todo el país) fue de 296, con DAP mayores o iguales a 10 cm; mientras que los de DAP menores o iguales a 10 cm, la densidad fue de 3,209 unidades por hectárea.

6.2. Especie predominante en las zonas de muestreo

La única especie encontrada en el muestreo fue *Avicennia germinans* (Mangle negro), esto indica que estas áreas se comportan como bosque monoespecífico; este comportamiento puede estar determinado por la capacidad de tolerar altos niveles de salinidad; ya que en la época seca, los efluentes de agua dulce están determinados por las precipitaciones, de manera que los sedimentos son hipersalinos y con baja concentración de nutrientes, condiciones que hacen que algunos se caractericen por presentar una sola especie (Jiménez 2004).

Lo mismo sucede en superficies suaves (fangosas) dentro del manglar, que tienden a estar dominadas por procesos acumulativos determinados por el influjo fluvial, siendo colonizados por *Avicennia germinans* (Hernández Trejo (2009) y Martínez et al. (2012)).

7. Índice de Complejidad de Holdridge (ICH)

El ICH obtenido para el bosque de Barra Salada fue de 0.094, muy bajo, lo que indica que posee una pobre complejidad estructural. Es de señalar que se han obtenido también valores bajos de ICH (0.18) en manglares de México (González Zamorano 2002); en los manglares de El Mogote y Florida, en el estado de Baja California Sur, México, se han reportado valores de 0.17 y 1.50 (Zamorano 2002).

Las características físico químicas del agua y suelo en el estero, la variabilidad climática, el comportamiento de las mareas, plagas y enfermedades, así como presiones antrópicas, son factores que están afectando y pueden haber incidido negativamente en la complejidad estructural del bosque de Barra Salada.

Las zonas que están completamente degradadas al interior del manglar, probablemente han sido producto de la influencia de notables variaciones en los rangos de salinidad y elevados niveles de agua, por largos períodos de tiempo, principalmente cuando la bocana se obstruye, generando la muerte de árboles que no toleran alta salinidad o la obstrucción de los neumatóforos (del género *Avicennia*). Al estabilizarse las condiciones de salinidad y niveles de agua (cuando la bocana se abre), solo los manglares más fuertes sobreviven, resurgiendo nuevamente en esta zona, el mangle negro; estos constantes cambios no permiten mantener un bosque maduro y bien desarrollado.

Lograr una restauración del bosque en general, podría acelerarse con la aplicación de técnicas de restauración ecológica de manglar, que a la vez pueda ser acompañada por vigilancia local, como mecanismo para evitar el ingreso en el bosque para extracción de material vegetativo.

8. Variación y características del bosque de Barra Salada en el tiempo

El área del bosque de Barra Salada para 1954, era de 648.38 has.; para 1978 de 484.20 has y para 2018, se estima en 414.4 has. (ver figura 6). Son 64 años en los que se logra ver un cambio gradual en la cobertura forestal en el manglar. Tomando de base el año de 1954, se ha logrado determinar que el área total de este bosque comprendía vegetación en transición, bosque de manglar puro y denso, áreas de bosque de manglar poco denso, salares (espacios donde se obtenía sal de manera artesanal), zonas sin manglar (en el interior del bosque), embarcaderos y el cauce principal del Estero.

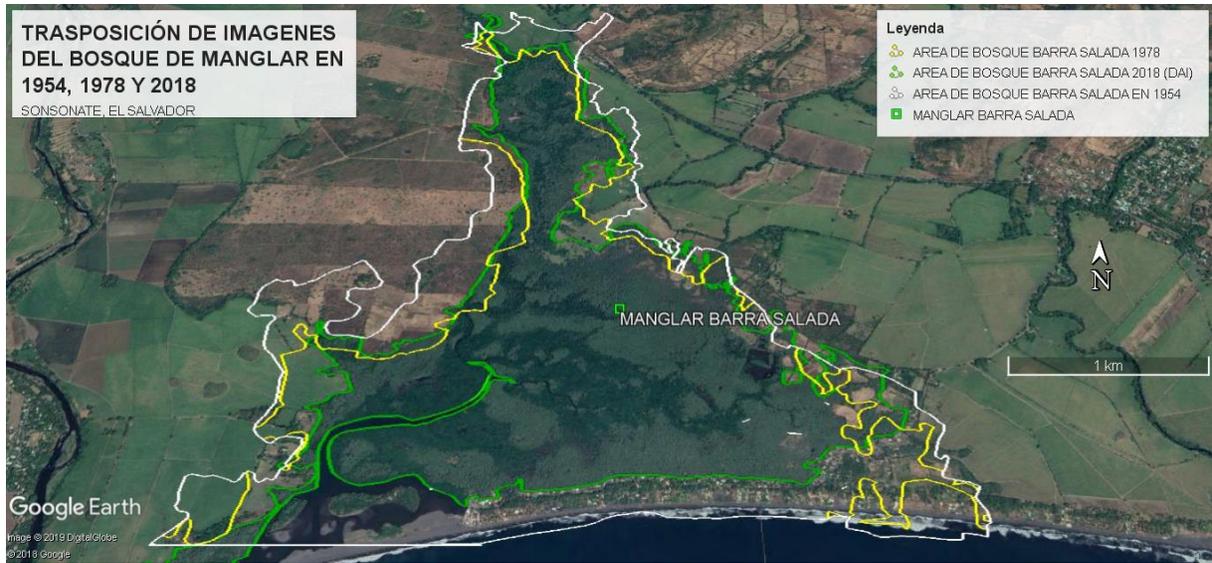


Figura 6. Evolución del uso del suelo en el manglar de Barra Salada según Ortofoto de 1954 (Fuente: CNR, Proyecto USAID/IMCCW/DAI (Development Alternative Incorporated)).

Para 1978, se observaron algunos cambios significativos en el bosque, entre los que destacan: un pequeño asentamiento de lo que ahora es la comunidad de Barra Salada, la construcción de viviendas en las orillas del bosque, el aumento de zonas sin vegetación de árboles de mangle (interior del bosque), bosque recuperado naturalmente en las zonas de salar; sin embargo, lo que más resalta es la desaparición de 164.18 ha del bosque de manglar por intervención.

Entre los principales factores que generaron la reducción del bosque en este año, se consideran entre otros, la tala para el crecimiento de la producción agrícola y ganadera. La expansión del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) ha sido una de las principales causas de deforestación en la zona Poniente del bosque, mientras que en la zona Oriente ha sido tala para expandir el cultivo de maíz (*Zea mays*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y ganadería; en la parte Norte, se puede considerar como potencial causa de deforestación, la expansión de la caña de azúcar.

En la imagen satelital del 2018, se observó que los principales factores que incidieron en la reducción del bosque de manglar han sido la usurpación de terrenos para la construcción de viviendas, ya que de 1978 al 2018 son 12.66 has las que han sido utilizadas para la construcción de éstas; destaca también, la extracción de arena-lodo (0.032 ha.), utilizada para la construcción, haciendo rellenos para plataformas en las que se construyen las viviendas dentro del manglar. Otro de los elementos que se destacan en las imágenes, es la pérdida de bosque por la muerte de árboles de mangle, posiblemente por factores físico químicos del agua, la salinidad intersticial, aumento del nivel del agua por largos periodos de tiempo y la sedimentación (ver figura 7).

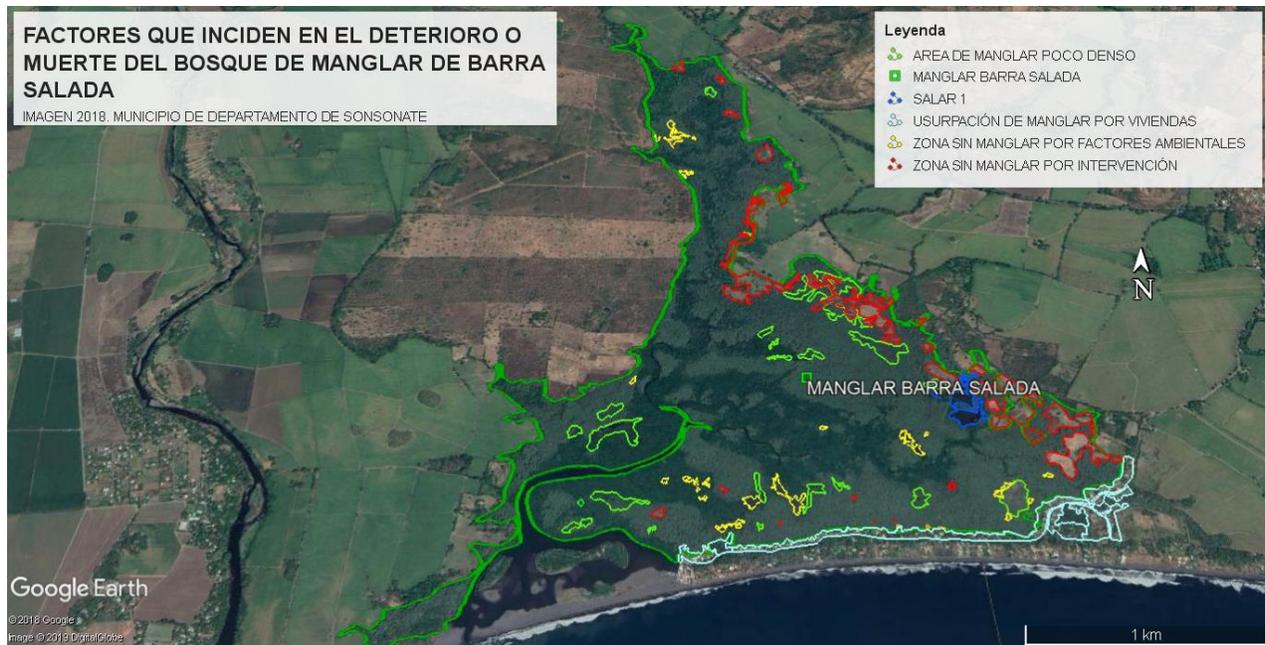


Figura 7. Factores que inciden en el deterioro o muerte del bosque de manglar de Barra Salada.
 Fuente: Mapa Google 2016, LIDAR 2017 y visitas de campo.

9. Lineamientos estratégicos para contribuir a la restauración del manglar de Barra Salada

1. Desarrollar un proceso participativo que promueva el análisis para la implementación de acciones que lleven a la restauración y conservación de los recursos naturales, desde la parte alta, media y baja de la cuenca.
2. Desarrollar un proceso de educación ambiental formal e informal, con todos los actores directos e indirectos relacionados con el manglar, a través del cual se promueva la protección y conservación de los recursos suelo, bosque y agua, y se fomente el uso y aprovechamiento de los recursos existentes de manera sostenible.
3. Promover e incentivar el desarrollo de proyectos de desarrollo agropecuario y pesquero, acompañados de buenas prácticas agropecuarias, con las que se logren producciones sostenibles y rentables de corto y mediano plazo.
4. Promover el monitoreo e investigación a través de una coordinación interinstitucional y comunitaria, a fin de evaluar el estado y manejo de los recursos naturales.
5. Promover y desarrollar la gobernanza ambiental en el territorio, mecanismo que buscará fortalecer el rol de las municipalidades y garantizar una mayor participación institucional (MARN, MAG, MINED, MINSAL, jueces ambientales, entre otros) para promover la protección y conservación de los recursos naturales.

10. Conclusiones

1. Existen factores biofísicos y antrópicos que están incidiendo en la destrucción del ecosistema de manglar de Barra Salada, entre los que destacan, la deforestación en la zona alta y media de la cuenca; la expansión agropecuaria y viviendas en el interior del manglar; la tala para leña o madera y el taponamiento de la bocana, que genera cambios en los patrones físico y químicos de las condiciones en las que se desarrollan las diferentes especies de mangle.
2. Cuisnahuat es el municipio que presenta condiciones biofísicas que inciden en el deterioro del manglar: pendientes de 30% hasta mayores a 70% y sus niveles de deforestación, principalmente por el desarrollo de agricultura de granos básicos, generan erosión y baja recarga hídrica; una densidad poblacional de 244 habitantes/km² continuará demandando recursos naturales, generando impacto en la calidad y cantidad de bienes y servicios ambientales que naturalmente han sido destinados al bosque salado. En el caso de Sonsonate, la cercanía de sus comunidades y cooperativas con el bosque, hacen que el factor antrópico promueva la degradación, principalmente por tala y usurpaciones de terrenos en el interior del bosque.
3. La erosión del suelo proveniente de la zona alta y media de la cuenca Mandinga, está ocasionando el azolvamiento de los canales, con lo cual se afecta el ingreso de los flujos de agua en las partes internas del bosque.
4. El taponamiento de la bocana de Barra Salada está generando variación en los niveles de salinización en las aguas del estero por periodos largos, provocando disminuciones (0.15-0.45 ‰) o aumentos extremos de sal (30-33 ‰) que inciden en la muerte de las especies de manglar.
5. El Índice de Complejidad de Holdridge (ICH) para el bosque, aledaño a las zonas degradadas es muy bajo (0.94), lo que indica que es un bosque deteriorado y en proceso de restauración, en el cual solo se encontró *Avicennia germinans*.
6. En los contornos de la zona degradada del manglar de Barra Salada, predominan los árboles de mangle negro (*Avicennia germinans*), de los cuales el 58.04% presentan DAP entre 2.5 a 9.9 cm y el 41.96% con diámetros iguales o mayores a 10 cm.
7. La falta de Guarda Recursos o Guarda Parques en el bosque de manglar de Barra Salada, facilita la tala indiscriminada y la expansión agropecuaria.
8. Las usurpaciones están contribuyendo fuertemente a la destrucción y reducción del bosque de manglar en los últimos años: 13.1 hectáreas para construir viviendas y 22.01 para expansión de la ganadería.

11. Bibliografía

- Asamblea Legislativa de El Salvador. Decreto Legislativo N°: 852. 2002. Ley Forestal. Palacio Legislativo. San Salvador, El Salvador. 22 mayo. Consultado: Junio 2019.; Disponible en: https://www.asamblea.gob.sv/sites/default/files/documents/decretos/171117_072947519_archivo_documento_legislativo.pdf.
- Butchart, S. 2005. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. World Resources Institute, Washington, DC. Consultado: noviembre 2017. Disponible en: http://millenniumassessment.org/documents/MA_WetlandsandWater_Spanish.pdf
- CONABIO. (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México). 2008. Manglares de México Extensión y distribución. pdf. Consultado en Julio de 2017. Disponible en: https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares2013/pdf/Manglares_de_Mexico_Extension_y_distribucion.pdf
- CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, El Salvador). 2009. Norma Salvadoreña Obligatoria: NSO.13.49.01:09 "Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor". Diario oficial de El Salvador, Tomo No. 382. Consultado el 26 de julio de 2018. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/els87596.pdf>
- González, H. 2016. Sobrevivencia y crecimiento de mangle negro (*Avicennia germinans* L.) en plantaciones reforestadas y regeneración natural. Consultado: Diciembre de 2018. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/322690543> y <https://studylib.es/doc/4941925/manglares>
- Hernández, C. 2014. Inventario del manglar y avance de la intrusión salina en el ejido Carrizal, municipio de Paraíso, Tabasco. El Colegio de la Frontera Sur. Chiapas, México. 2013. 1-36 P.
- Jiménez, I., L. Sánchez-Mármol y N. Herrera. (2004). Inventario Nacional y Diagnóstico de los Humedales de El Salvador. MARN/AECI. San Salvador. El Salvador C.A. 2004. Pg. 187-192, 297.
- MARN. 2007. Declaratoria del Área Natural Protegida Los Cobanos. Decreto Ejecutivo del ramo de Medio Ambiente y Recursos Naturales No. 22. San Salvador, El Salvador. Pag. 1-4; 97-101.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2012: Ley de Áreas Naturales Protegidas. Serie: Legislación ambiental. San Salvador. El Salvador. 2013, 6, 8 P.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2012: Ley de Áreas Naturales Protegidas. Serie: Legislación ambiental. San Salvador. El Salvador. 2013, 6, 8 P.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2017. Informe sobre la calidad del agua de los ríos de El Salvador (en línea). Consultado 13 de mayo de 2017. Disponible en: <http://www.marn.gob.sv/descargas/Documentos/2018/Informe%20de%20la%20calidad%20de%20agua%202018.pdf>
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2018. Inventario Nacional de bosques de El Salvador. Consultado 6 de diciembre de 2018. Disponible en: <http://www.marn.gob.sv/publicaciones-biodiversidad/>
- Muñoz, H. 2015. Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala, México. Rev. Tecnología y Ciencias del Agua, vol. VI, núm. 5. Consultado: 28 de enero de 2019. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v6n5/v6n5a5.pdf>
- Zamorano, P. 2002. Estructura y análisis espacial de la cobertura del manglar "El Conchalito". Instituto Politécnico Nacional (IPN). Baja California Sur, México. Consultado: 10 de abril de 2018. Disponible en: <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/14652>