

UNIVERSIDAD NACIONAL, COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS

**ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LA EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA,
LOS CAMBIOS EN LOS USOS Y COBERTURAS DE LA TIERRA ASÍ COMO LA
DISTRIBUCIÓN DEL MANGLE EN EL HUMEDAL NACIONAL TERRABA
SIERPE EN EL PERIODO DE 1948 – 2012**

Trabajo final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ciencias
Geográficas con énfasis en Ordenamiento del Territorio

Presentado por
Jéssica Francini Acuña Piedra

Campus Omar Dengo, Heredia, Costa Rica

15 de noviembre, del 2016

El tribunal examinador, aprobó el trabajo titulado: **Análisis espacio-temporal de la evolución geomorfológica, los cambios en los usos y coberturas de la tierra así como la distribución del mangle en el Humedal Nacional Terraba sierpe en el periodo de 1948 – 2012**, como un requisito parcial para optar por el grado académico del Licenciatura en Ciencias Geográficas con énfasis en ordenamiento del territorio.

MSc. Tomás Marino Herrera

Decano Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

Dr. Gustavo Barrantes Castillo

Subdirector de la Escuelas de Ciencias Geográficas

MSc. Adolfo Quesada Román

Profesor Tutor

Lic. Julio Moraga Peralta

Lector

Jéssica Francini Acuña Piedra

Sustentante

15 de noviembre del 2016.

Resumen

Los humedales en Costa Rica cubren alrededor del 5% del territorio, donde el Humedal Nacional Térraba Sierpe (HNTS) es uno de los más importantes debido a que cuenta con la mayor extensión en el país. El HNTS además presenta una amplia cobertura de vegetación manglárica que brinda importantes servicios ecosistémicos, sin embargo, las condiciones específicas que requiere este tipo de vegetación para su crecimiento y desarrollo, la vuelve susceptible a cualquier cambio o modificación en el entorno.

Entre los impactos que han influenciado a este ecosistema, mediante el análisis espacio-temporal de insumos fotográficos y comprobación de campo se determinó que en el periodo 1948-2012 se dieron cambios en los usos de la tierra, especialmente el reemplazo de los bosques mangláricos para dar paso a actividades agropecuarias como el cultivos de arroz, pastos con silvicultura, la palma africana, terrenos descubiertos por deforestación, así como también se da extracción de corteza para elaborar carbón y taninos, además se desarrolla estanques de maricultura..

Por otra parte los procesos naturales también han afectado este humedal, donde en los últimos 60 años se han observado cambios en la morfología del litoral en el sistema deltaico Térraba-Sierpe, los cuales se asocian con la erosión y la deposición de sedimentos, que dependen de las actividades en la cuenca alta y media (río Térraba y Sierpe). Esta dinámica ha resultado-en la creación y desaparición de morfologías litorales como barreras costeras, barras de arena e islas, lo cual también ha provocado pérdida de mangle.

Por último, se encontró que los usos de la tierra y la dinámica geomorfológica tuvieron diferentes efectos sobre la cobertura manglárica en el periodo de estudio. Para los años 1948-1972 se da una pérdida de mangle en mayor medida por cambios geomorfológicos; mientras que para el caso del periodo 1972-1992 ambos factores influyen de manera similar sobre la pérdida de cobertura de mangle; y para el periodo que comprende 1992-2012 se da una recuperación de la vegetación manglárica, donde la colonización de las diferentes especies de mangle en sedimentos consolidados aporta una mayor área recuperada en comparación a la colonización de estas especies en zonas antes dominadas por usos de la tierra.

Agradecimientos

A mis padres por su gran apoyo durante todo el proceso universitario, por siempre acompañarme y apoyarme, así como por su lucha constante para que yo lograra estudiar. También a mis hermanas Andrea, Alejandra y Fabiola, que siempre me motivaron a seguir adelante.

A mi tutor MSc. Adolfo Quesada Román que realizó un excelente proceso de acompañamiento para esta investigación y por todas sus enseñanzas y colaboración en las visitas de campo.

A los lectores Lic. Julio Moraga Peralta y MSc. Braulio Vílchez por apoyarme en la revisión y aconsejarme en el proceso de investigación.

Al sistema de becas del Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT), por haber creído en mi investigación y aprobar mi proyecto, cuyo financiamiento brindado fue de gran ayuda, en especial al equipo del Laboratorio el PRIAS que siempre me apoyaron y confiaron en mí, o Cornelia Miller, Christian Vargas, Heileen Aguilar y demás equipo de investigación del laboratorio.

Al Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) específicamente al Área de Conservación Osa (ACOSA), por haber aprobado el permiso de realizar mi investigación en el Humedal Nacional Térraba Sierpe (HNTS), así como al Instituto Geográfico Nacional (IGN) por suministrar los insumos fotográficos.

Al biólogo Fabián Sibaja Araya por su apoyo, acompañamiento, consejos y además por su colaboración junto con la geógrafa Daniela Campos en la gira de campo, en la recolección de muestras y material fotográfico

Y a todas las demás personas que estuvieron presentes de forma directa o indirecta en este laborioso proceso.

“Allá arriba, en el fondo de la laguna, vive una enorme serpiente. Cuando alguien llega allá a pescar o a hacer bulla, se pone brava y comienza a revolverse agitando el agua y haciendo grandes olas y vientos fuertes, hasta que se van. La gente de antes contaba que un día, hace muchísimos años, ella decidió salir de la laguna. Y eran tan, pero tan grande ese bicho, que al pasar fue formando este río y todos los esteros de manglar. Por eso este lugar se llama Sierpe.”

Mainardi, V. 1996, cita a R.L. Ilego a Sierpe en 1934

Tabla de contenido

CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA Y ÁREA DE ESTUDIO1

1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Justificación	5
1.3. Objetivos	8
1.3.1 Objetivo general	8
1.3.2. Objetivos específico	8
1.4. Área de Estudio	9
1.4.1. Delimitación del área de estudio	9
1.4.2. Características del área de estudio.....	9
1.4.2.1. Características físicas geográficas	9
1.4.2.2. Características socioeconómicas	17
1.5. Estado de la Cuestión	19
1.6. Marco Conceptual.....	26
1.6.1. Definición de humedales y manglares.....	26
1.6.2. Legislación ambiental en relación a los humedales y manglares	29
1.6.3. Evolución geomorfológica	30
1.6.4. Definición de uso y cobertura de la tierra.....	35
1.6.5. Sensores remotos y teledetección	37
2.1. Enfoque y Tipo de Investigación	38
2.2. Fuentes de Información	39
2.3. Análisis de la Información	40
2.3.1. Procesamiento de las fotografías aéreas e imágenes satelitales	41
2.3.2. Variables y sus instrumentos	42

2.3.3. Fase de trabajo de campo.....	51
CAPÍTULO III: EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA	53
3.1. Clasificación de las formas del relieve del Humedal Nacional Terraba–Sierpe	54
3.2. Evolución geomorfológica de las formas deposicionales del HNTS asociado a la erosión y sedimentación para 1948, 1972, 1992 y 2012.....	65
3.3. Análisis de la evolución geomorfológica en las bocas del Humedal Nacional Terraba – Sierpe.....	85
CAPÍTULO IV: USO Y COBERTURA DE LA TIERRA EN EL HUMEDAL NACIONAL TÉRRABA SIERPE	96
4.1. Cambios en los usos de la tierra en el Humedal Nacional Terraba – Sierpe para 1948, 1972, 1992 y 2012	96
4.2. Análisis comparativo por año entre la evolución geomorfológica y el uso de la tierra, para determinar el causante de los cambios de la cobertura de mangle para 1948, 1972, 1992 y 2012.	111
CAPÍTULO V: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA VEGETACIÓN DE MANGLE	116
5.1. Clasificación de las especies de mangle para el año 2012.....	116
5.2. Comparación de la clasificación de las especies de mangle con la evolución geomorfológica	132
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	140
6.1. Conclusiones	140
6.2. Recomendaciones	142
7. Anexos	156

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Ubicación del Área de Estudio: Humedal Nacional Terraba Sierpe	10
Mapa 2. Unidad Geológica: Humedal Nacional Terraba Sierpe	11
Mapa 3. Unidad Geomorfológica: Humedal Nacional Terraba Sierpe	13
Mapa 4. Orden de Suelos: Humedal Nacional Terraba Sierpe	14
Mapa 5. Región Climática: Humedal Nacional Terraba Sierpe	15
Mapa 6. Precipitación Media: Humedal Nacional Terraba Sierpe	16
Mapa 7. Evolución Geomorfológica para el año 1948: Humedal Nacional Terraba Sierpe	81
Mapa 8. Evolución Geomorfológica para el año 1972: Humedal Nacional Terraba Sierpe	82
Mapa 9. Evolución Geomorfológica para el año 1992: Humedal Nacional Terraba Sierpe	83
Mapa 10. Evolución Geomorfológica para el año 2012: Humedal Nacional Terraba Sierpe	84
Mapa 11. Uso y Cobertura de la Tierra para el año 1948: Humedal Nacional Terraba Sierpe	107
Mapa 12. Uso y Cobertura de la Tierra para el año 1972: Humedal Nacional Terraba Sierpe	108
Mapa 13. Uso y Cobertura de la Tierra para el año 1992: Humedal Nacional Terraba Sierpe	109
Mapa 14. Uso y Cobertura de la Tierra para el año 2012: Humedal Nacional Terraba Sierpe	110
Mapa 15. Clasificación espectral de las especies de mangle para el año 2012: Humedal Nacional Terraba Sierpe	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso metodológico aplicado a la variable de evolución geomorfológica	44
Figura 2. Proceso metodológico aplicado a la variable de uso y cobertura de la tierra	46
Figura 3. Proceso metodológico aplicado a la variable de clasificación espectral para la vegetación de mangle	49

Figura 4. Proceso metodológico aplicado al trabajo de campo	51
Figura 5. Clasificación ternaria de los tipos deltaicos, basado en regímenes del frente del delta	55
Figura 6. Tipos de barras en el Humedal Nacional Térraba Sierpe: a) barras submarinas, b) barras insulares, c) barras litorales	57
Figura 7. Vegetación de las barras litorales en el Humedal Nacional Térraba Sierpe: a) <i>Uniola pittieri</i> , b) <i>Canavalia rosea</i> , c) <i>Entada polystachya</i> , d) <i>Rhizophora mangle</i>	58
Figura 8. Triángulo de texturas del suelo en las barras submarinas: a) muestra BS2, b) muestras BS3, c) muestras BS8	60
Figura 9. Triángulo de texturas del suelo en las barras insulares: a) muestras BI4, b) muestras BI5, c) muestras BI6	62
Figura 10. Triángulo de texturas del suelo en las barras litorales: a) muestras BL1, b) muestras BL7	63
Figura 11. Triángulo de texturas del suelo en sectores del delta Térraba Sierpe: a) muestra PNF, b) muestras PMP	64
Figura 12. Intensidad y extensión de las sequías para Costa Rica entre el año 1960 a 2006	71
Figura 13. Sistemas de fallas que atraviesan boca Coronado en el Humedal Nacional Térraba Sierpe	86
Figura 14. Proceso de evolución geomorfológica de boca Coronado para el año 1948 al 2012: Humedal Nacional Térraba Sierpe	87
Figura 15. Proceso de evolución geomorfológica de boca Brava para el año 1948 al 2012: Humedal Nacional Térraba Sierpe	88
Figura 16. Proceso de evolución geomorfológica de boca Chiquita para el año 1948 al 2012: Humedal Nacional Térraba Sierpe	89
Figura 17. Proceso de evolución geomorfológica de boca Zacate para el año 1948 al 2012: Humedal Nacional Térraba Sierpe	91
Figura 18. Proceso de evolución geomorfológica de boca Guarumal para el año 1948 al 2012: Humedal Nacional Térraba Sierpe	92
Figura 19. Proceso de evolución geomorfológica de Isla Guarumal del año 1972 al 2012: Humedal Nacional Térraba Sierpe	93

Figura 20. Proceso de evolución geomorfológica de boca Sierpe para el año 1948 al 2012: Humedal Nacional Térraba Sierpe	94
Figura 21. Cultivo de palma aceitera dentro del límite del Humedal Nacional Térraba Sierpe	104
Figura 22. Humedal Nacional Térraba Sierpe: a) –b) Cultivo de pastos con árboles	105
Figura 23. Crecimiento de manglar en boca Guarumal: Humedal Nacional Térraba Sierpe	114
Figura 24. Pérdida de mangle por sedimentación en boca Guarumal en el Humedal Nacional Térraba Sierpe: a) sector norte, b) sector sur.....	115
Figura 25. Humedal Nacional Térraba Sierpe. a) –b) <i>Rhizophora racemosa</i> (mangle caballero)	118
Figura 26. Humedal Nacional Térraba Sierpe: a)-b) <i>Pelliciera rhizophorae</i> (mangle piñuela)	119
Figura 27. Perfil de las especies de mangle <i>Pelliciera rhizophorae</i> en el Humedal Nacional Térraba Sierpe.....	120
Figura 28. Humedal Nacional Térraba Sierpe: a)-b) <i>Rhizophora racemosa</i> (mangle caballero)- <i>Pelliciera rhizophorae</i> (mangle piñuela)	121
Figura 29. Humedal Nacional Térraba Sierpe: a)-b) <i>Rhizophora mangle</i> (mangle rojo)..	122
Figura 30. Perfil de las especies de mangle <i>Rhizophora mangle</i> (mangle rojo) en el Humedal Nacional Térraba Sierpe	122
Figura 31. Distribución de <i>Rhizophora mangle</i> (mangle rojo) en las barras litorales en la isla Guarumal en el Humedal Nacional Térraba Sierpe: a) año 2013, b) año 2016.....	123
Figura 32. Perfil de la especie de mangle <i>R. racemosa</i> , <i>P. rhizophorae</i> y <i>R. mangle</i> , en el Humedal Nacional Térraba-Sierpe	124
Figura 33. Cobertura boscosa de mangle: Humedal Nacional Térraba Sierpe.....	124
Figura 34. Humedal Nacional Térraba Sierpe: a)-b) <i>Acrostichum aureum</i> (negraforra) ..	125
Figura 35. Perfil de la especie <i>Acrostichum aureum</i> (negraforra), en el Humedal Nacional Térraba Sierpe.....	126
Figura 36. Humedal Nacional Térraba Sierpe: a) pastos y espacio naturales, b) patos arbolados, c) cultivo de arroz, d) palma aceitera	127
Figura 37. Usos del suelo en la llanura deltaica del Diquís, Costa Rica	128

Figura 38. Cobertura de mangle en las barras litorales en boca Coronado y Brava: Humedal Nacional Térraba Sierpe en el año 2012.....	133
Figura 39. Cobertura de mangle en las barras litorales en boca Chiquita y Zacate: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 2012.....	135
Figura 40. Cobertura de mangle en la barras litorales en boca Guarumal y Sierpe: Humedal Nacional Térraba Sierpe par el año 2012	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de los censos poblacionales de los distritos: Puerto Cortés y Sierpe del cantón de Osa en el periodo de 159 al 2011.....	18
Tabla 2. Definiciones de las clases utilizadas en los usos y oberturas de la tierra	36
Tabla 3. Datos de las fotografías aéreas e imágenes satelitales.....	42
Tabla 4. Clases de usos y coberturas de la tierra aplicada al año 1948 al 2012	47
Tabla 5. Resultados de las muestras de suelo aplicando el método de bouyoucos: Humedal Nacional Térraba Sierpe	59
Tabla 6. Datos en porcentajes (%) de los tipos de arenas clasificadas como arenas gruesas, medias y finas en las barras submarinas	61
Tabla 7. Datos en porcentajes (%) de los tipos de arenas clasificadas como arenas gruesas, medias y finas en las barras insulares	62
Tabla 8. Datos en porcentajes (%) de los tipos de arenas clasificadas como arenas gruesas, medias y finas en las barras litorales	63
Tabla 9. Datos de extensión del terreno de la llanura deltaica en el Humedal Nacional Térraba Sierpe para los años 1948, 1972, 1992 y 2012.....	66
Tabla 10. Datos del área y porcentaje de la superficie ocupada por tipos de barras: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 1948.....	69
Tabla 11. Datos del área y porcentaje de la superficie ocupada por los tipos de barras: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 1972.....	70
Tabla 12. Datos del área y porcentaje de la superficie ocupada por los tipos de barras: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 1992.....	72
Tabla 13. Datos del área y porcentaje de la superficie ocupada por los tipos de barras: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 2012.....	74

Tabla 14. Recuentos históricos de actividades y hechos, en la región Brunca.....	76
Tabla 15. Cambios en la vegetación de mangle relacionada a las variantes en el uso y coberturas de la tierra, así como la evolución geomorfológica en el Humedal Nacional Térraba Sierpe, en el periodo de 1948 al año 2012	112
Tabla 16. Matriz de la confusión aplicada a la clasificación espectral: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 2012	130
Tabla 17. Vegetación dominante en las barras litorales en las desembocaduras del Humedal Nacional Térraba Sierpe, para el año 2012.....	138

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Áreas (ha) de los tipos de barras: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el periodo de 1948 al 2012	67
Gráfico 2. Áreas (ha) de la llanura deltaica: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el periodo de 1948 al 2012	68
Gráfico 3. Dinámica de los tipos de barras submarinas, insulares y litorales: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el periodo de 1948 al 2012	75
Gráfico 4. Áreas (ha) de los usos y coberturas de la tierra: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 1948.....	97
Gráfico 5. Áreas (ha) de los usos de la tierra: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 1948	97
Gráfico 6. Áreas (ha) de los usos y coberturas de la tierra: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 1972.....	99
Gráfico 7. Áreas (ha) de los usos de la tierra: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 1972	100
Gráfico 8. Áreas (ha) de los usos y coberturas de la tierra: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 1992.....	101
Gráfico 9. Áreas (ha) de los usos de la tierra: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 1992	102
Gráfico 10. Áreas (ha) de los usos y coberturas de la tierra: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 2012	103

Gráfico 11. Áreas (ha) de los usos de la tierra: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 2012	106
Gráfico 12. Resultados de la clasificación espectral de la vegetación de mangle, las coberturas y usos de la tierra: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 2012	117

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ubicación de las bocas: Humedal Nacional Térraba Sierpe.....	156
Anexo 2. Formato de matriz de campo para muestras físicas de los suelos en el Humedal Nacional Térraba Sierpe	156
Anexo 3. Matriz de trabajo de campo para la clasificación espectral de mangle.....	156
Anexo 4. Ubicación de las muestras de suelos de las barras de sedimentos: Humedal Nacional Térraba Sierpe.....	157
Anexo 5. Ubicación de puntos de muestreo de especies de mangle: Humedal Nacional ..	158

CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA Y ÁREA DE ESTUDIO

Este capítulo comprende los aspectos introductorios a la investigación, donde se abarca el planteamiento del problema, la justificación del estudio, los objetivos que van a desarrollarse, una breve caracterización físico-geográfica y socioeconómica del área de estudio, así como el estado de la cuestión y el marco conceptual. Cada apartado está detallado a continuación.

1.1. Planteamiento del Problema

Los humedales se caracterizados por estar influenciados por un régimen de aguas dulces, salobres o saladas, además están asociados a diferentes tipos de ecosistemas entre ellos están los manglares que son definidos como un grupo de especies vegetales arbóreas o arbustos adaptadas a condiciones salobres y los cuales crecen en ambientes costeros de los trópicos y en algunos casos en los subtrópicos (Mainardi, 1996).

Para el caso de Costa Rica, cuenta con vegetación de mangle en ambas costas, donde en la costa Caribe su vegetación es más limitada en diversidad de especies y se presentan pequeños parches fragmentados y distanciados unos de otros; por su parte en la costa pacífica el ecosistema manglárico es de mayor extensión y con más diversidad en especies.

Entre los humedales más representativos de la costa pacífica se encuentra el Humedal Nacional Terraba-Sierpe (HNTS), el cual constituye el humedal más grande del país y está bordeado por dos grandes cauces como son los ríos Sierpe y el Grande de Terraba (Oviedo, 1986) y se considera que cuenta con aproximadamente el 43% de la vegetación manglárica de Costa Rica (Mainardi, 1996).

Este tipo de vegetación de mangle se caracteriza por una alta fragilidad ecológica, lo que puede asociarse a las condiciones específicas que necesitan para desarrollarse; las cuales requieren de medios acuáticos y salinos, así como suelos fangosos e inestables para su crecimiento, además presentan órganos especiales de respiración y sostén, metabolismos

adaptados a altas concentraciones de sal, viviparidad y largo poder germinativo (Méndez y Guzmán, 2006).

Las características específicas de los manglar los vuelve susceptibles a cualquier cambio o modificación en el entorno tanto por diferentes agentes naturales como son los cambios en la temperatura, el viento, las mareas, las variaciones en la salinidad de las aguas, modificaciones en los aportes de agua dulce, las precipitaciones, los sedimentos y principalmente aspectos geomorfológicos y también, por las actividades antrópicas como el crecimiento urbano no controlado, turismo, además del cambio en el uso de la tierra y la deforestación (Zaldívar *et al.*, 2004).

Los factores naturales que se consideran más relevantes para entender los manglares son los procesos geomorfológicos y los sustratos arcillosos, porque son agentes determinantes en el comportamiento de la vegetación, ya que son componentes naturales en donde crecen las plantas y árboles, cualquier alteración de los patrones de sedimentación, depósito y consolidación, determina los cambios en desarrollo, regeneración o desaparición de la misma (Oviedo, 1986).

Para el caso Humedal Nacional Terraba Sierpe, en los últimos 60 años se han observado cambios en la morfología del litoral en el sistema deltaíco Terraba-Sierpe, los cuales se asocian con la erosión y la acreción de depósitos de sustratos, que en muchos casos, las áreas erosionadas estaban cubiertas por mangle lo que ha llevado a la remoción de sectores de bosque manglárico y en los nuevos bancos de sedimentos se han colonizado por dicha vegetación. En ambos deltas, se dan estos procesos, influenciados por factores como el aporte de material producto de las actividades en la cuenca, el oleaje, las corrientes y mareas (Mora, 2013).

Dados estos procesos de remoción y sedimentación en el Humedal Nacional Terraba Sierpe se han presentado cambios como la desaparición de la isla Sucesión, el arrastre o lavado de la isla Zacate e isla El Coco así como del manglar y playa en boca Guarumal y, finalmente, la formación de una nueva isla barrera como una extensión de la isla Temblona (Mora, 2013).

Las islas Zacate, Sucesión, Temblona y El Coco se encuentran identificadas en las hojas cartográficas 1:50.000 elaboradas con fotografías aéreas del año 1960, por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), ubicadas en mar abierto, con formaciones de lodo y arena, con abundante vegetación. La isla Zacate presentaba un área de 228 ha para el año 1960 y para el año 2005 la isla ya había desaparecido; para el caso de la isla El Coco para el año 2005, presentaba un 50% menos de su territorio y la isla Mero es la única que ha aumentado su superficie y se ha unido a tierra firme, donde se observa abundante cobertura manglárica (Mora, 2013).

Se considera una pérdida de cobertura vegetal para boca Zacate de 3,73 km² (9,38%) para el año 2011, siendo dividido estas cifras en el sector de estero Bocón con una pérdida de un 31% de cobertura y el sector de isla El Coco con 867 m² de vegetación menos; por su parte, isla Mero el único que reporta ganancia de terreno con especies colonizadoras como el *Rhizophora racemosa* (Silva *et al.*, 2015).

La evidencia de cambios espacios-temporales a nivel geomorfológico en este humedal a través de los años es innegable y solo se cuenta con información de los cambios en boca Zacate (Silva *et al.*, 2015), por lo que se tiene un vacío de información de cinco bocas. Además aparte de las variables sedimentarias y morfológicas deben investigarse los efectos antrópicos asociados los cambios de los usos de la tierra, que pueden haber repercutido en la disminución de la cobertura del mangle.

En el Humedal Nacional Terraba Sierpe los cambios de usos de la tierra que se han desarrollado en el hábitat de mangle sobresalen la siembra de arroz, palma aceitera, pasto para ganado, salineras y la construcción de estanques de camarón, esto se debe a que son áreas planas o de baja pendiente y suelen ser suelos de origen sedimentario de alta productividad. Para el caso de la actividad agrícola, cabe destacar que se encuentra en la primera posición entre las alternativas de trabajo en la zona con un 65% (Jiménez, 1993).

Otras actividades económicas en el HNTS incluyen la extracción y comercialización de moluscos como la piangua, que puede alcanzar una salida diaria 43 000 individuos lo que representa 7,7 millones de piangua al año, equivalentes a USS 202 266 que se dividen en USS 4843 para cada una de las familias involucrada en la actividad. (Vargas, 2007).

Además, en su momento la tala de árboles de mangle para la producción de carbón y obtención de madera y corteza para taninos ofreció una alternativa económica donde se producían en 1986 alrededor de 579 m³ de carbón/año y para la década de 1990 se produjeron alrededor de 19 500 sacos/año de carbón (1 227m³), a partir de madera del género *Rhizophora* con un DAP (Diámetro a la altura del pecho del árbol) aproximado de 10 cm o menos, se deforestó a mayor grado las áreas que se encontraban cerca a los hornos donde se daba la producción el carbón, esto por la facilidad de transporte (Vargas, 2007). Para el caso de la extracción de corteza para taninos se utilizaban igualmente los árboles del género *Rhizophora* con un DAP de 30 cm o menos, con un total de producción que llegó alcanzar 3,13 quintales de corteza por árbol (Oviedo, 1986).

Por otro lado, la actividad pesquera presenta una extracción de especies apreciadas en el mercado como el pargo, róbalo y corvina, con una producción estimada de 932 mil kg anuales, que equivale a un millón de dólares por año, lo que corresponde a US\$117 mensuales para cada uno de los pescadores artesanales de los pueblos de Ajuntaderas, Sierpe, Puerto Cortés, isla Guarumal, Boca Chiquita, Boca Brava (Cedeño *et al.*, 2010).

Actualmente, estas actividades han disminuido debido a que a partir de 1994 este humedal inicia el proceso de consolidarse bajo la categoría de de área protegida, así como el desarrollo una legislación que resguarda a los humedales como la Ley de Conservación de la Vida Silvestre (N°7317), la Ley Orgánica del Ambiente (N°7554) y la Ley Forestal (N°7575) (Pizarro *et al.*, 2004). Además, se le otorgan diferentes ratificaciones entre ellas ser un sitio Ramsar, establecido por la Ley N° 224, mediante el Convenio Internacional: La Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (Convención Ramsar).

Estos esfuerzos de conservación han favorecido que se dé un control de las actividades económicas dentro del ecosistema, sin embargo, las afectaciones y presiones ocurridas en el pasado han repercutido de forma negativa en el Humedal Nacional Terraba Sierpe. Por tanto, se hace necesario conocer y vincular los procesos naturales y antrópicos mediante un análisis espacio-temporal para determinar cuáles han sido los cambios que se han presentado a nivel de vegetación de mangle.

Por lo tanto, este estudio pretende contestar las siguientes preguntas de investigación: Con los procesos geomorfológicos como es la erosión del terreno, ¿cuánta cobertura de mangle desapareció?, los procesos de acreción de nuevos bancos de arena ¿han causado aumento de la cobertura de mangle y que especies son las que han sido pioneras en el terreno?, ¿las actividades de cambio de uso de la tierra han generado pérdida de vegetación de mangle?, ¿Cuánta vegetación de mangle se perdió o se ganó, con las diferentes actividades que se ha desarrollado en el mangle tanto naturales como antrópicas?.

1.2. Justificación

Entre las razones para estudiar la vegetación de mangle en el HNTS están su valor a nivel ecosistémico y su categoría de protección otorgada en la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán en el año 1971), donde establece como sitios de interés internacional por ser fuente natural para el planeta, se busca la para promover la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales, regionales y nacionales gracias a la cooperación internacional.

Además, le vegetación manglárica es de gran importancia debido a que esta funciona como una barrera natural en las costas contra la erosión, vientos y mareas; también, este ecosistema ayuda a sostener la cadena alimenticia marina mediante la producción de gran cantidad de hojarasca y materia orgánica, que es utilizada por las bacterias y hongos, que convierten estos residuos vegetales en materia prima que sirve de materia fuente de energía para los ecosistemas marino-costeros, asimismo se le considera como refugio de vida silvestre, por ser un lugar de alimentación y crianza de muchas especies de peces y moluscos así como de aves acuáticas (Oviedo, 1986).

También, se ha calculado que este ecosistema cumple un papel de reservorio de carbono al almacenar el 40% del carbono del país según mediciones basadas en una metodología estandarizada a nivel mundial de cálculos de carbono en árboles en pie, regeneración herbáceos, hojarasca y madera caída; por lo tanto, si disminuir la cobertura de se reduce la capacidad del ecosistema de almacenar carbono y este se libera a la atmósfera (Cifuentes, 2012).

Además de su importancia a nivel ecosistémico, el manglar cuenta con un alto potencial económico y social, ya que ofrece recursos naturales como peces, moluscos y crustáceos, que sirven de alimento y son complemento de la dieta de los habitantes costeros, también generan beneficios económicos a la población por su venta. Pueden mencionarse también otras actividades económicas como la extracción de madera de los árboles de mangle, extracción de sal, la agricultura, la ganadería y el turismo que complementan la relación e importancia del mangle con el ser humano; estos recursos naturales benefician a la población que se encuentra en los distritos de Sierpe, Ciudad Cortés y Palmar (Mainardi, 1996).

Debe considerarse que este tipo de vegetación se caracteriza por ser frágil; esto se debe a que necesitan características especiales para su crecimiento y desarrollo, como un régimen salobre, sustratos o sedimentos blandos e inundados, influencias de mareas, entre otras; por lo tanto esta vegetación requiere de ambientes especiales, los cuales limitan su área de cobertura y expansión en el territorio (Oviedo, 1986).

Es importante señalar que la complejidad de estos ambientes está influenciada por variaciones en el delta debido a cambios en las mareas, la dinámica geomorfológica que se relacionan con los depósitos y arrastres de sedimentos, cambios en la salinidad de las aguas, cambios en el régimen hídrico, también, variantes en las precipitaciones pueden provocar efectos negativos en el ecosistema, ya que pueden disminuir la cobertura vegetal por cambios en las condiciones que favorecen el establecimiento de las diferentes especies (Mora, 2013).

Este estudio busca identificar los cambios que ha enfrentado el humedal en relación con su vegetación de mangle, vinculando con los procesos geomorfológicos y los diferentes usos de la tierra que han generado modificaciones al ecosistema, ya que no existen cifras concretas de todo el Humedal Nacional Térraba-Sierpe de los cambios de cobertura del manglar a través del tiempo. Con datos sobre estos cambios espacio-temporales en el HNTS pueden desarrollarse instrumentos para que los tomadores de decisiones las utilicen dentro instituciones públicas y privadas, así como también que facilite la aplicación del el ordenamiento adecuado de las áreas protegidas.

También, es necesario promover un manejo integral en la cuenca alta y media del río Térraba, la cual está conformada por los ríos General y Coto Brus. Esta iniciativa debe ir enfocada en

mitigar los efectos que generan los cambios en el uso de la tierra de bosques a usos agropecuarios cultivos anuales y perennes que afectan la carga hídrica de la cuenca dado que aportan mayor cantidad de sedimentos y reducen el caudal; además, los usos de la tierra se relacionan con contaminación ambiental derivados del uso excesivo de agroquímicos en cultivos como el café, piña, palma aceitera, así como las hortalizas.

En este caso, los resultados sobre la distribución y evolución de la cobertura de mangle tienen el potencial de brindar un importante aporte para la toma de decisiones en proyectos como un aporte para la toma de decisiones sobre el desarrollo de proyectos de diversa índole, como son la represa hidroeléctrica El Diquís (RHED) por parte de Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) en los cantones de Buenos Aires y Osa, así como el Aeropuerto Internacional del Sur promovido por el Gobierno de Costa Rica, Aviación Civil y el Instituto de Desarrollo Rural (INDER); los cuales tendrían influencias directas e indirectas en el humedal.

Por último, los resultados de esta investigación pueden favorecer a que diferentes instituciones establezcan favorecen a las instituciones para que establezcan propuestas que beneficien a la población, ya que para el año 2000 existían un total de 100 familias dentro del área de manglar (Vargas, 2007), las cuales subsisten de los recursos del humedal y el manglar, por lo que es vital que para la conservación del HNTS se creen estrategias que vinculen el manejo integral por parte los pobladores, con la idea de buscar el bienestar natural del ecosistema y el ser humano.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar la evolución geomorfológica, su relación con el uso de la tierra y la distribución espacial actual de las especies de mangle en el Humedal Nacional Terraba-Sierpe (HNTS) en el periodo de 1948-2012.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Identificar los procesos de erosión y sedimentación, mediante la interpretación de fotografías aéreas, para determinar la evolución geomorfológica en el Humedal Nacional Terraba-Sierpe en el periodo 1948 al 2012.

2. Determinar los cambios en el uso y cobertura de la tierra, partiendo de la interpretación de fotografías aéreas que permitan entender los cambios en el Humedal Nacional Terraba-Sierpe entre 1948 y 2012.

3. Establecer la distribución espacial de las diferentes especies de mangle y su relación con la geomorfología, mediante la clasificación espectral para el año 2012.

1.4. Área de Estudio

El área de estudio se delimita y se aborda desde la perspectiva física-geográfica y la socioeconómica, para conocer de forma general los aspectos que presenta el espacio geográfico de trabajo.

1.4.1. Delimitación del área de estudio

Esta investigación se realizará en el Área Silvestre Protegida Humedal Nacional Térraba-Sierpe, donde la delimitación de dicho lugar se encuentra basada en el límite oficial de las Áreas Protegidas de Costa Rica, elaborado por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAC).

El Humedal Nacional Térraba-Sierpe tiene una extensión de 24 360,5 ha; sin embargo, el área protegida involucra diferentes tipos de vegetación, pero esta investigación solo contempla el mangle, por lo que se establece el área de estudio con una delimitación basada en la fotointerpretación para obtener la extensión del bosque manglar. Se utilizará la imagen satelital Rapid Eye 2012 suministrada por el Laboratorio PRIAS del Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT) con una extensión aproximada de 14 800 ha de mangle.

1.4.2. Características del área de estudio

Las características del área de estudio incorporan las físicas geográficas y las socioeconómicas, donde en cada una de ellas se abordan aspectos que son necesarios para comprender mejor el área de estudio.

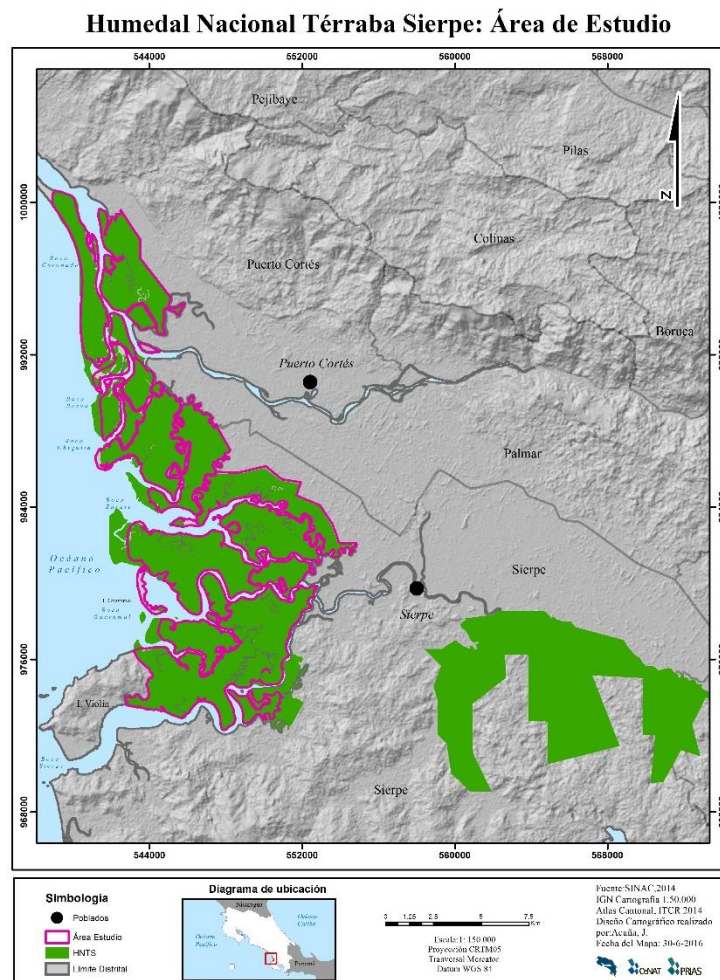
1.4.2.1. Características físicas geográficas

Para el caso de las características físicas-geográficas, estas van a describirse los aspectos de la ubicación del área de estudio, la geología, la geomorfología, los suelos, y el clima, los cuales van a detallarse a continuación:

- Ubicación del Humedal Nacional Térraba-Sierpe

La ubicación del HNTS es en la provincia de Puntarenas, en el cantón de Osa, entre los distritos de Cortés, Palmar Norte y Sierpe, entre las coordenadas geográficas 8° 47" Latitud Norte y 83° 29" y 83° 38" Longitud Oeste, sus límites son entre la Fila Brunqueña y la serranía de la Península de Osa en el valle de El Diquís (Cifuentes, 2012).

Mapa 1. Ubicación del Área de Estudio: Humedal Nacional Térraba Sierpe



Fuente: Elaboración propia, 2016

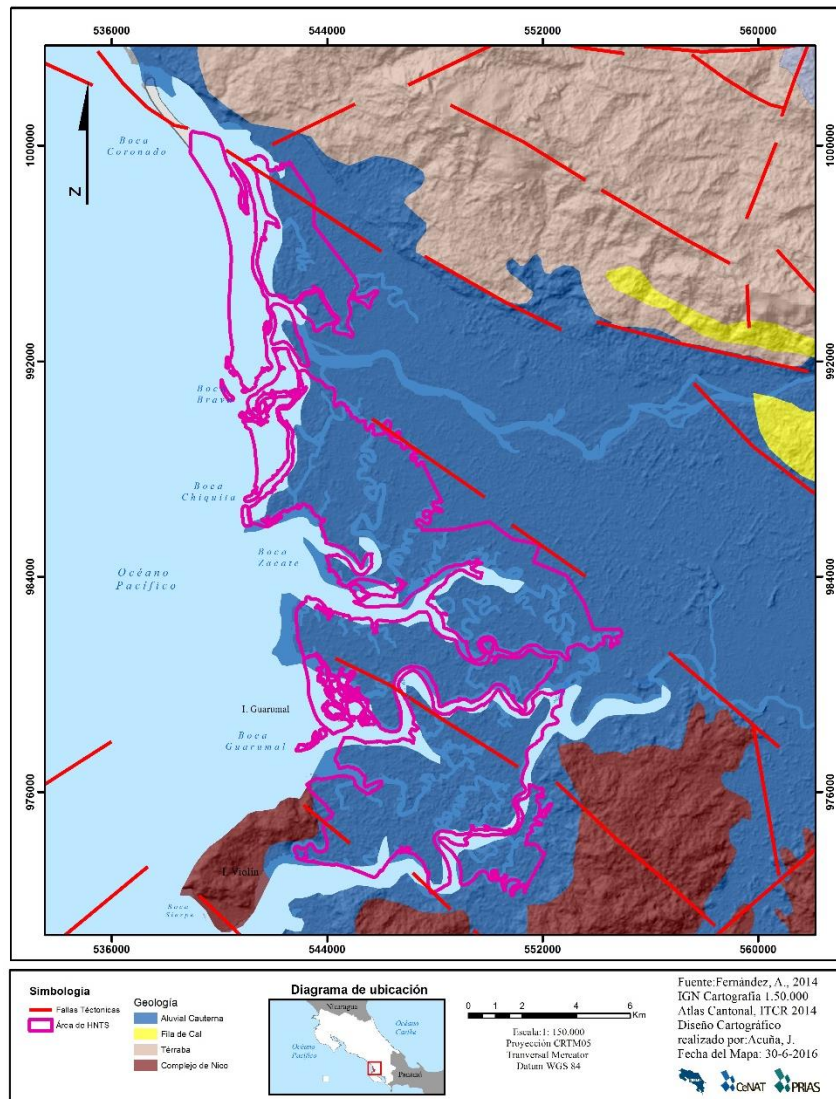
El HNTS pertenece a un Área Silvestre Protegida, la cual fue creada en 1994 y se localiza en el Área de Conservación Osa (ACOSA) (Contraloría General de la Republica, 2011); la extensión de este humedal es de 22 208 ha, según donde la vegetación de mangle tiene una extensión aproximada de 17 737 ha, según Mainardi (1996) (Mapa 1).

- Geología

El HNTS está conformado por una planicie aluvial que da origen a un delta con un su origen reciente del periodo Cuaternario cuando el Istmo Centroamericano ya estaba conformado (Mainardi, 1996); por lo que se encuentra en la clasificación geológica denominada Sedimentos Aluviales del Cuaternario (Kappelle *et al.*, 2002) (Mapa 2).

Mapa 2. Unidad Geológica: Humedal Nacional Térraba Sierpe

Humedal Nacional Térraba Sierpe: Unidad Geológica



Fuente: Elaboración propia, 2016.

El delta está conformado por rocas sedimentarias y en algunos casos intrusivas, para el caso de las sedimentarias que predominan en el área datan del periodo del Cuaternario específicamente del Holoceno (Kappelle *et al.*, 2002), siendo relevante la formación de la isla Violín, aunque la misma no está en el límite del humedal se encuentra cercano, esta isla tiene una formación de basaltos aproximadamente de 70 millones de años (Mainardi, 1996) y data del periodo del Eoceno Campaniano.

Entre su geología estructural destaca la ubicación en la placa tectónica del Cocos bajo la placa Caribe, lo cual presenta movimientos compresivos por dicha placa, lo que genera un levantamiento en la parte de la costa; además, se encuentra ubicado cerca del bloque de Panamá, la misma se encuentra cercana al límite de la Placa Cocos y Nazca, lo que genera una importante actividad sísmica, siendo una de las más dinámicas del país en sismos registrados (Cedeño *et al.*, 2010).

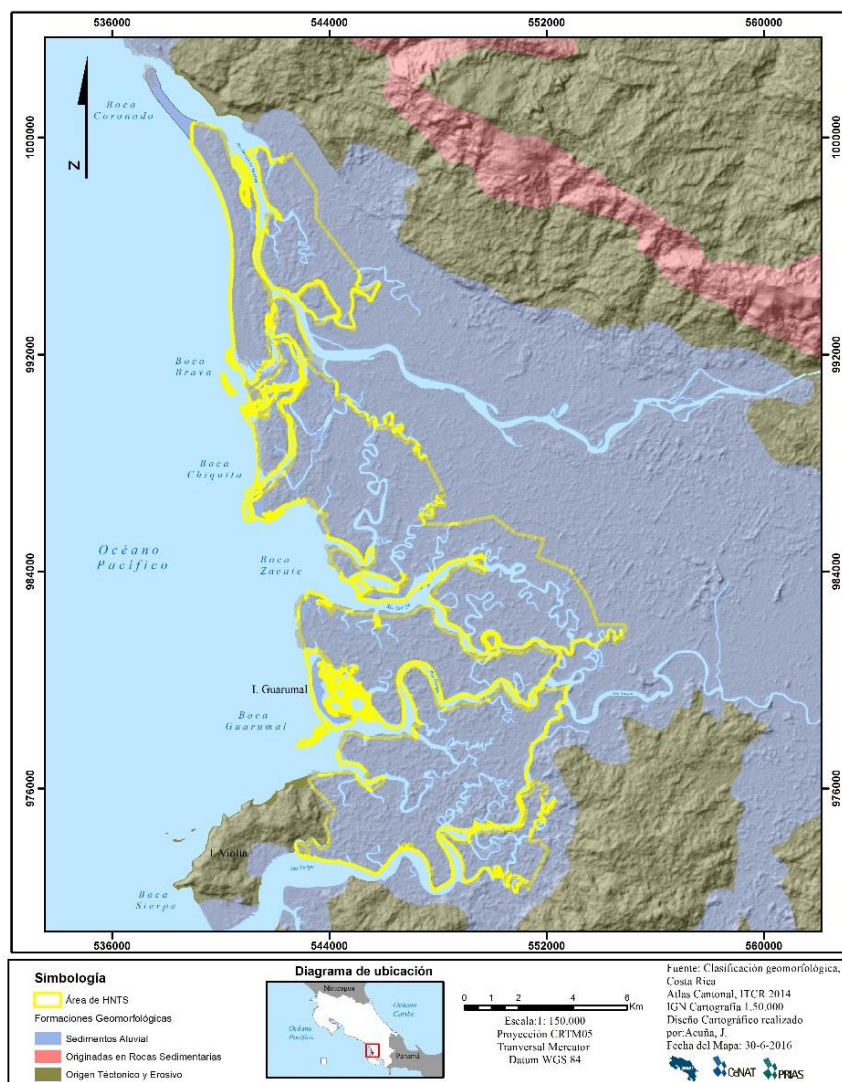
- Geomorfología

La geomorfología del HNTS se caracteriza por ser depósitos aluviales y se subdivide en cinco unidades cuales son: marismas, pantanos permanentes o temporales, planicies aluviales con influencia marina cercana de la costa, planicie aluvial pequeña y delta del abanico del río Térraba (Kappelle *et al.*, 2002). También, se considera como los sedimentos continentales y transición marino-costero del periodo cuaternario (Denyer *et al.*, 2007).

Se debe tomarse en cuenta que el humedal está expuesto a la influencia de dos ríos los cuales son el Grande de Térraba, que forman un delta ya que cuenta con un desarrollo de una intrincada red de canales e islas y el río Sierpe (Cedeño *et al.*, 2010), ambos ríos depositan gran cantidad de sedimentos, además la ubicación de la isla Violín crea una barrera que protege la planicie aluvial de las corrientes oceánicas lo que proporciona que se dé mayor acumulación de sedimentos y, a la vez, influye a la formación de islotes, bancos y esteros (Mainardi, 1996) (Mapa 3).

Mapa 3. Unidad Geomorfológica: Humedal Nacional Térraba Sierpe

Humedal Nacional Térraba Sierpe: Unidad Geomorfológica



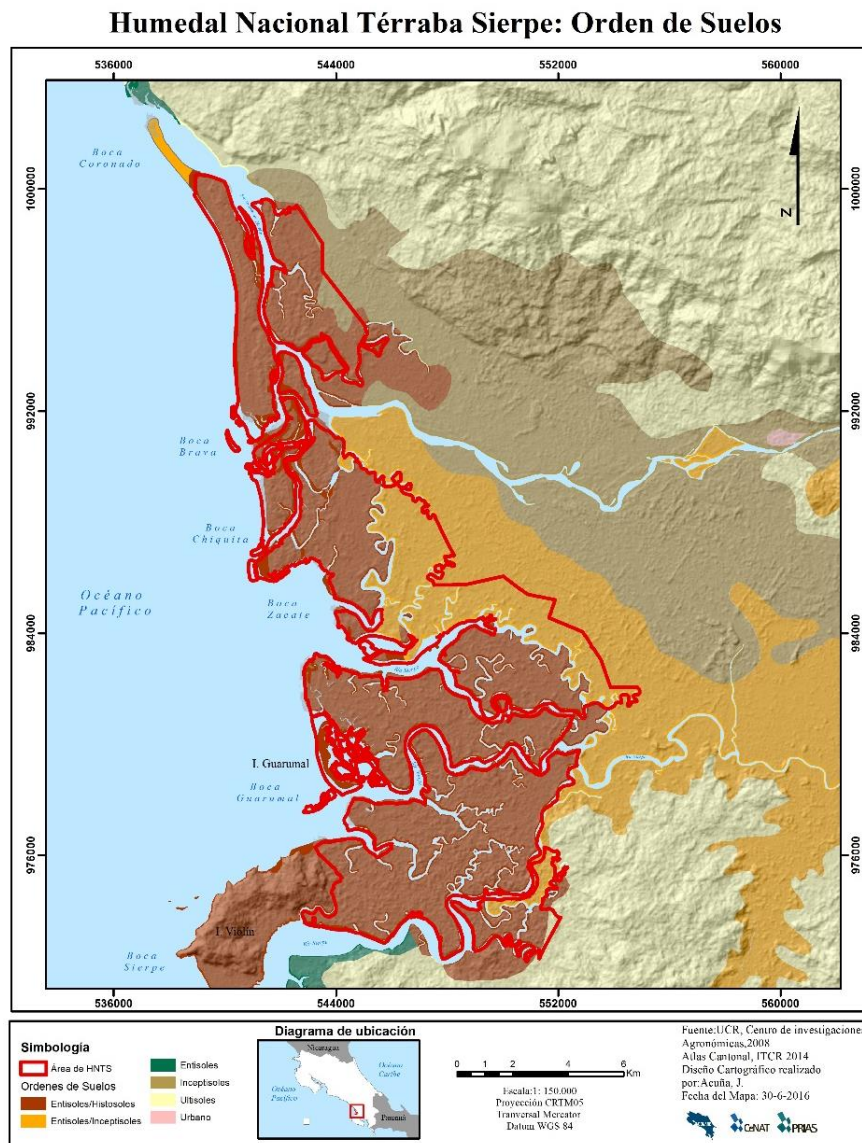
Fuente: Elaboración propia, 2016.

- Suelos

Los tipos de suelos que se encuentran en el HNTS, según la clasificación de órdenes de la Soil Taxonomy USDA destacan los Entisoles, Inceptisoles y Ultisoles (Mapa 4); para el caso de los Ultisoles se caracterizan por horizontes argílicos, ondulados con pendientes alrededor del 30%, los Inceptisoles son suelos muy jóvenes que apenas están en formación del horizonte B, prácticamente sin otros horizontes se encuentran en pendientes alrededor de 0-2%, por lo general, son aluviales y para el caso de los Entisoles son bastantes recientes

apenas en formación de los horizontes, contienen en su mayoría mucha agua, algunos grados de sal y poco oxígeno y se localizan en pendientes de 0-2% (Cifuentes, 2012).

Mapa 4. Orden de Suelos: Humedal Nacional Térraba Sierpe



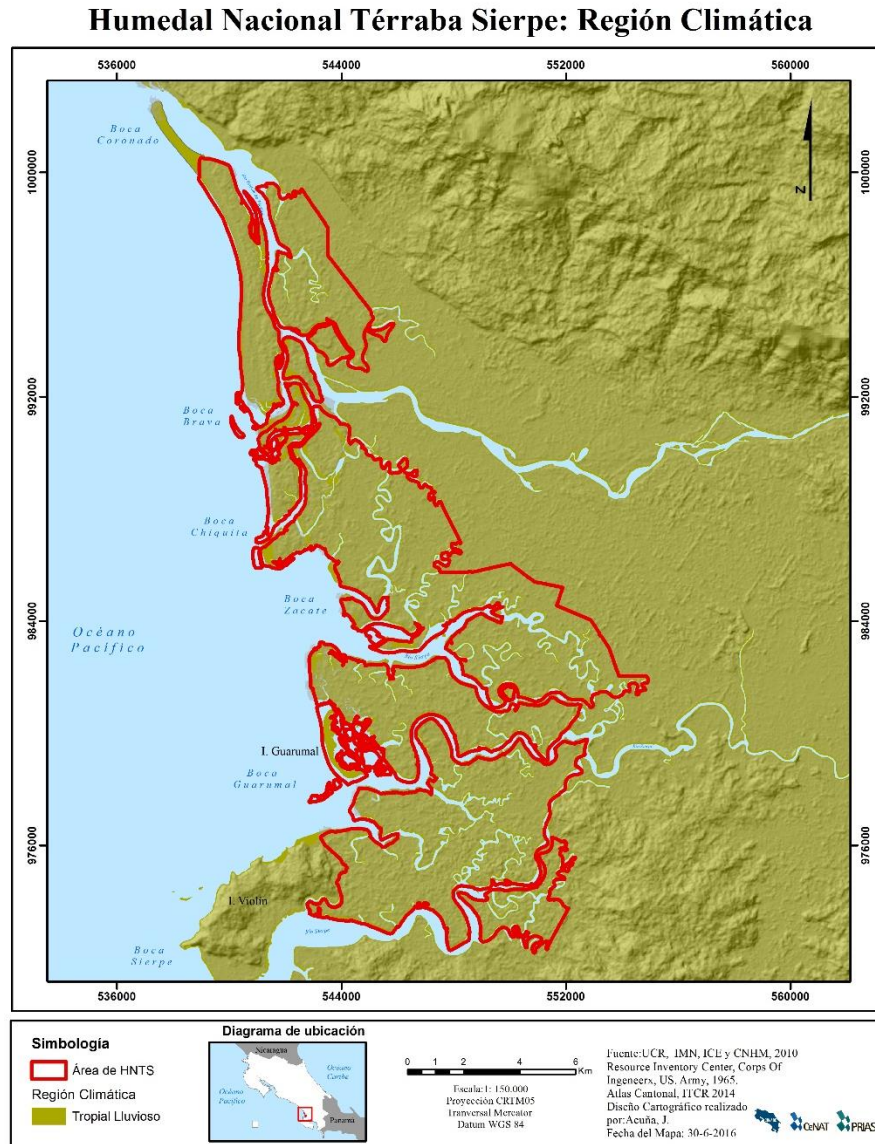
Fuente: Elaboración propia, 2016.

- Clima

El tipo de clima en el HNTS se resume en la siguiente frase (Herrera, 1986):

“...predomina el clima muy húmedo caliente con estación seca moderada (35-70 días con déficit de agua), con temperaturas anuales de 23-27 °C y precipitación media anual de 3 420-6 840 mm y su estación seca va de enero a marzo”.

Mapa 5. Región Climática: Humedal Nacional Térraba Sierpe

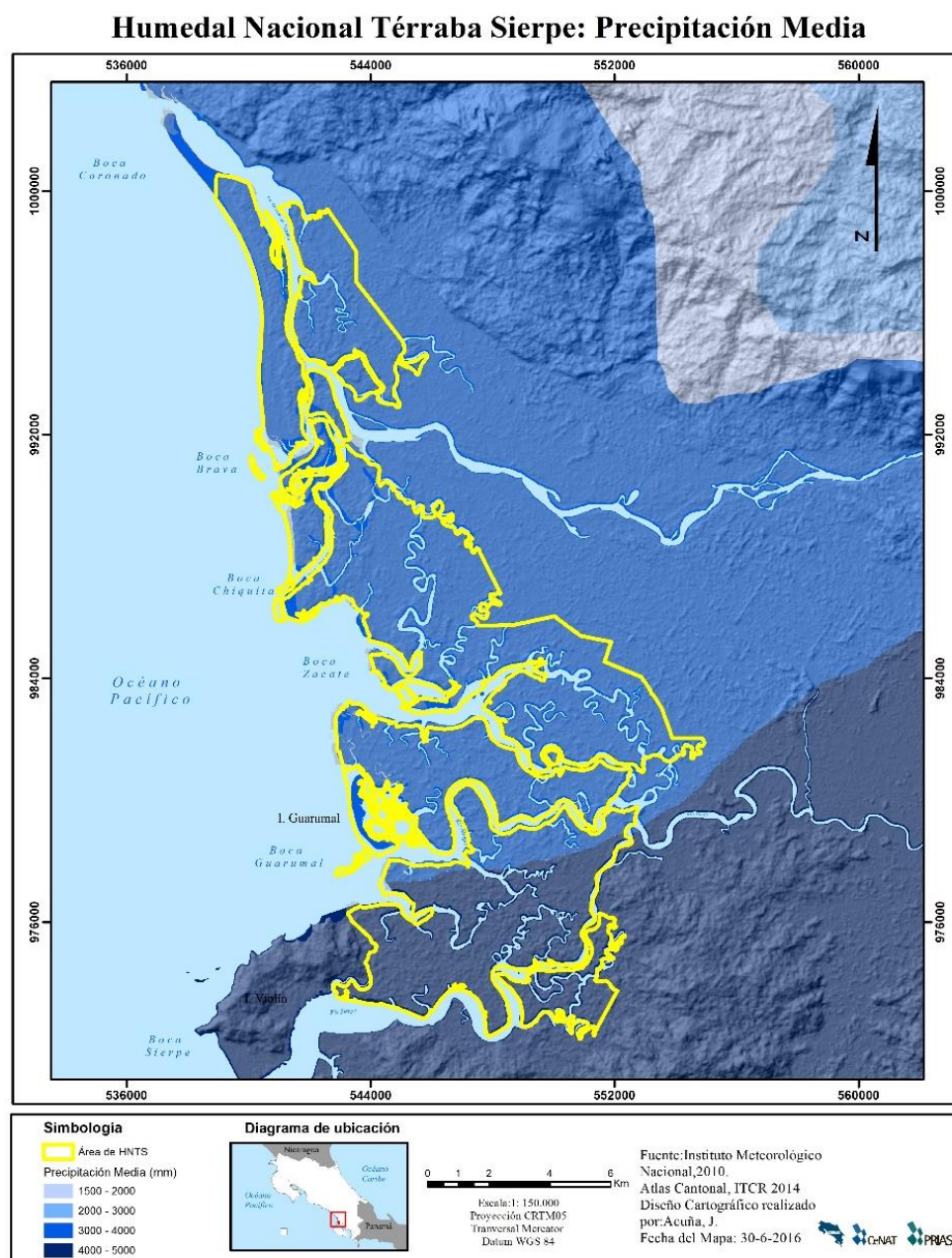


Fuente: Elaboración propia, 2016.

Las precipitaciones más bajas se dan desde de boca Coronado a boca Zacate y aumentan en boca Zacate hasta boca Sierpe (Kappelle *et al.*, 2002). En cuanto a la humedad relativa según el mapa de las provincias húmedas, el humedal se ubica entre dos de estas

provincias, las cuales son la húmeda que se localiza desde boca Coronado a boca Zacate con valores de 0,83 a 0,50 (20-100%) y la provincia muy húmeda que va desde boca Zacate a boca Sierpe con valores de 0,50 a 0,25 (100-300%) (Herrera *et al.*, 1993) (Mapa 6).

Mapa 6. Precipitación Media: Humedal Nacional Térraba Sierpe



Fuente: Elaboración propia, 2016.

1.4.2.2. Características socioeconómicas

Para las características socioeconómicas se abordan los aspectos históricos, actividades económicas y la demografía, donde se detallan a continuación:

- Historia

El área de estudio es un espacio geográfico con gran diversidad de recursos naturales que lo vuelve atractivo para la población, por eso, según datos históricos y arqueológicos desde el siglo III a.C han existido registros de población humanas en el lugar y se cree que la base de su alimentación consistió en cacería, pesca, extracción de moluscos y algunos cultivos como maíz y tubérculos; para el caso de los primeros colonos modernos se establece su llegada entre el siglo XIX y XX (Mainardi, 1996).

Después de estos procesos de colonización se crearon los primeros asentamientos formales y surgieron diversas actividades productivas como fue el cultivo de banano, donde se establece la empresa Compañía Bananera de Costa Rica (CBCR) que estaba afiliada a la United Fruit Company (UFCo.), la cual estuvo en la región de 1930 a 1984, esta empresa trajo cambios sociales, económicos y ambientales, que transformaron el espacio geográfico. Las bananeras dejaron plasmada la ubicación de los actuales núcleos urbanos, además de las redes de comunicación e infraestructura principalmente (Mainardi, 1996).

- Actividades Económicas

Las principales actividades económicas por muchos años antes de ser área protegida en el humedal han sido la extracción de madera de *Rhizophora spp* para leña, producción de carbón y corteza para la obtención de taninos; además, de la extracción de moluscos como la piangua y se ha desarrollado pesca de forma artesanal. Actualmente, por la protección que se le ha otorgado al humedal, es prohibido la realización de estas actividades, sin embargo, hoy en día se efectúan algunas de manera ilegal (Barton, 1995). Se considera que en los últimos años las actividades que más se practican son la extracción de piangua, pesca, jornaleo agrícola, crianza de animales y agricultura de subsistencia (Pizarro *et al.*, 2004).

- Demografía

La población del área de estudio se encuentra distribuida en el cantón de Osa y en los distritos de Puerto Cortés y Sierpe, ya que son los distritos que están dentro del límite del área protegida del humedal, además de su influencia poblacional en el HNTS, por actividades socioeconómicas y culturales que se presentan.

La población que habita en estos distritos ha variado con los años, como se demuestran en los datos de diferentes censos, donde en 1950 las cifras para ambos distritos eran bastante bajas, pero para el periodo de 1963 al 1973 se da un crecimiento de población, principalmente, en Puerto Cortés se ve reflejado la llegada de la bananera, ya que fue un atractivo de población por las fuentes de trabajo; en el caso de Sierpe para 1963 de igual forma cuenta con un crecimiento poblacional, aunque para 1973, tiene un pequeño descenso de cantidad de habitantes luego vuelve a reflejarse el crecimiento (Hernández, 1985).

Para la época de 1984 a 1994 en ambos distritos se ve una fuerte pérdida de población para el caso de Puerto Cortés presenta un pérdida de 2 885 habitantes y Sierpe se da una disminución de 2 346 habitantes se considera que el retiro de la bananera causó esta expulsión significativa de población, para los últimos periodos de 2000 y 2011 ambos distritos poseen un crecimiento poblacional, pero se debe a que no volvió a presentarse tanta expulsión de población; por lo tanto, las cifras crecen conforme los nuevos nacimientos (Hernández, 1985).

Tabla 1. Datos de los censos poblacionales de los distritos: Puerto Cortés y Sierpe del cantón de Osa en el periodo de 1950 al 2011

Censos Poblacionales de los distritos de Puerto Cortés y Sierpe 1950-2011	
1950	
Puerto Cortés	2.294
Sierpe	1.506
1963	
Puerto Cortés	5.405
Sierpe	4.117
1973	
Puerto Cortes	7.467
Sierpe	3.486
1984	

Puerto Cortés	7.368
Sierpe	4.081
1994	
Puerto Cortés	4.483
Sierpe	2.455
2000	
Puerto Cortés	6.295
Sierpe	4.124
2011	
Puerto Cortés	7 969
Sierpe	4 205

Fuentes: INEC y Hernández (1985).

1.5. Estado de la Cuestión

Los manglares son ecosistemas característicos de áreas costeras ubicadas en los trópicos y en algunos casos en los subtrópicos, además son ecosistemas que se desarrollan con condiciones muy específicas, esto los caracterizan y los vuelven un recurso natural único; sin embargo, se considera uno de los ecosistemas más frágiles, por las condiciones específicas que necesitan para su desarrollo y adaptación; por lo que se vuelven vulnerables a las diversas actividades que se den en los ecosistemas.

Algunos datos estiman que para la década de 1980 existía una extensión de 15,6 millones de hectáreas de manglar a nivel mundial, para ese periodo las tasas de deforestación eran bastante significativas en Asia, el Caribe y América Latina; para la década de 1990, la deforestación disminuye sin embargo el problema sigue vigente en la actualidad, de la (FAO, 2006).

Los manglares son uno de los ecosistemas más amenazados del mundo y se encuentran continuamente afectados por la contaminación y la deforestación, esto ha llevado a un incremento acelerado de pérdida de un 25% de los manglares a nivel mundial (5 millones de ha) en las últimas dos décadas (Adame y Kauffmann, 2010).

De manera específica, pueden mencionarse algunos casos de los países que han perdido su cobertura de mangle como es Kenia que pasó de 64 426,90 ha en el año 1983 a 46 930 ha en el año 2010 esto equivale a una disminución del 72% del bosque manglárico en

dicho país (Kurui *et al.*, 2013). Puede mencionarse también Vietnam que ha enfrentado una gran reducción en su vegetación, ya que para el año 1953 contaba con 71 345 ha, para 1992 el área era de 33 083 ha y en el año 2011 la extensión es de 46 712 ha que refleja un 65% en pérdidas en esos 58 años (Van *et al.*, 2014).

En los países latinoamericanos, también se han sufrido grandes pérdidas de mangle; entre ellos se encuentra México que es uno de los países con más cambios de cobertura, ya que ha tenido una pérdida acelerada del ecosistema, para el año 1976 tenía una extensión manglarica en la costa atlántica de un 69% y en la costa pacífica de un 31%, ya para el año 2000 el lado atlántico pasa a un 62% y el pacífico disminuye a un 3,8 %, esto se traduce una pérdida del 50% del manglar en 25 años (Calderón *et al.*, 2009).

En el caso de Panamá se han presentado problemas de desaparición del mangle, durante los últimos 50 años se han talado más del 50% de los manglares existentes de unas 360 000 ha estimadas en 1969 a cerca de 170 000 ha en 2007 se han visto perjudicados en la pérdida de cobertura de mangle (Tarté, 2013).

Para Honduras que han presentado grandes daños en su vegetación de mangle, ya que se han dedicado de manera relevante a la construcción de camaroneras y salineras, que abarcan más de 24 000 ha del área, donde está dicha vegetación, siendo necesaria la tala de grandes partes del ecosistema (Alfaro, 2011). En cuanto a Guatemala, se estima una pérdida aproximada de 9 540 ha entre 1965 y 1984, así como para los años de 1984 y 1988 se han registrado una pérdida de 4 920 ha esto es un 51% de bosque de mangle (Jiménez, 1993).

Por su parte, Costa Rica también destaca entre los países con pérdida de mangle, para la década de 1980 y a principios de 1990, el país contaba con una extensión de 41 292 ha de bosque manglarico (Mainardi, 1996), pero para el periodo de 1993 la extensión disminuyó a 30 000 ha que equivale a un 72% de vegetación, en la actualidad, la extensión es de aproximadamente 40 000 ha (INBio, 2012), lo que demuestra una recuperación del ecosistema; sin embargo, son datos generales y de pocos años, por lo que existe un vacío de información con respecto a las tasas de cambio en la cobertura de vegetación manglarica en el país.

En el Golfo de Nicoya se han perdido 632 ha de manglares entre los años 1964 a 1989, principalmente por actividades relacionadas con estanques de camarones y salineras, también otras 350 ha han desaparecido por la agricultura y el desarrollo urbano, no son conocidos los datos exactos de la pérdida o ganancia de mangle en el HNTS y en las demás zonas del país (Jiménez, 1993).

Mediante estos cambios en la cobertura de mangle y conociendo el valor de estos ecosistemas tanto por su productividad de recursos, funciones biológicas, entre otras; varios centros de investigación e instituciones no gubernamentales han fijado sus estudios en este tipo de vegetación, aplicando diversas técnicas, herramientas y metodologías, para lograr recopilar los cambios espacios temporales que ha sufrido el mangle.

Los materiales y métodos utilizados para el estudio espacio-temporal del mangle se encuentran los sensores remotos, los cuales están relacionados con la teledetección, fotointerpretación y los Sistemas de Información Geográfica (SIG); algunos autores dan su criterio de la utilización de esta metodología, ya que mediante las imágenes satelitales facilitan y permiten el monitoreo de la variación espacial y temporal en áreas de mangle; también puede realizarse diferentes estudios del estado de crecimiento de una misma especie, además es un método económico y de mayor cobertura para inventarios del estado del ecosistema (Lizano *et al.*, 2001).

Entre los estudios que abarcan temas relacionados con humedales y manglares a nivel mundial y regional, pueden mencionarse la Organización Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), quien cuenta con varias investigaciones relacionadas con el cambio climático esto en relación con las afectaciones por aumento del nivel del mar, disminución de precipitaciones y aumento de temperatura, para analizar las variaciones que se han generado a nivel de cobertura y estructura de mangle. También, puede mencionarse la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), que se preocupan por la problemática de desaparición de bosques de manglar a nivel mundial.

Aparte de estas instituciones no gubernamentales, otros autores se han encargado de hacer estudios más específicos de sus zonas de mangle; entre los estudios que se han basado en la fotointerpretación y teledetección, hay variantes en sus temas, ya que en algunos casos

incorporan diferentes variables de suelo, clima, actividades antrópicas, cambios geomorfológicos, programas y herramientas de los SIG como Arc Gis, Quantum Gis, Idrisi, ENVI, intereses de protección e investigación, fotografías aéreas e imágenes satelitales, entre otras. Pero al final, el objetivo es conocer cuál ha sido el cambio en la cobertura de mangle a nivel espacio-temporal.

Uno de los trabajos que estudia los cambios en la cobertura de bosque de mangle en la costa de Kenia es el de Kirui *et al.*, (2013). Desde 1985 al año 2010, mediante un mapeo que utiliza imágenes satelitales Landsat, donde la aplicación de una clasificación no supervisada con 12 clases para cada año.

Se obtiene como resultado que entre el año 1985 a 1992 hay una pérdida de 381,1 ha, entre 1992 al año 2000 el déficit en cobertura es de 32, 2 ha; para 2000 al 2010, hay un cambio negativo de -52,9 ha y en total en esos 25 años paso de 55.280 Ha a 45590 Ha que es un 18% de pérdida total en el periodo de análisis; en los lugares de Kenia que más cambios tuvieron fue en los ríos de Tana y Lamu-Kiunga, con un déficit de 38 y 12%, respectivamente. Las principales actividades que provocaron esta disminución en el mangle sobresale la deforestación, salineras y estanques de acuicultura (Kirui *et al.*, 2013).

Se menciona otro caso como es delta del río Mangoky en Madagascar, el cual presentó un cambio del bosque de mangle relacionado con factores naturales y del ser humano abarcando un periodo de 1951 al año 2000. Entre la metodología aplicada destaca la utilización de fotografías aéreas, hojas cartográficas e imágenes Landsat, utilizando una clasificación no supervisada que se realizan, utilizando 11 clases para cada imagen (Rakotomavo y Fromard, 2010).

Los resultados obtenidos es que para el año 1951 la extensión de mangle es de 20 237 ha, en 1979 es de 21 426 ha, para 1994 la extensión es 11 706 ha y para el año 2000 la cobertura es de 11 790 ha con una pérdida de 58% del bosque de mangle. Además, se determina que la especie de mangle predominante es *A. marina* y *Rh. Mucronata* con un total de 4 550 ha (ídem).

Existe otro estudio en el bosque de mangle en el sudeste asiático que incorpora los países de Pakistán en el delta Indúes, en la India en el estuario de Goa, Bangladesh en el mangle ubicado en Sundarbans que también limita con la India y Sri Lanka, donde aborda la distribución y dinámica del mangle. Para cada país se analiza en diferentes años. En el caso del delta Indúes se hace para los años 1973 y 2010, en Goa en los años 1975, 1997, 2001, 2006, 2011 y en Sundarbans 1975, 1990, 2000; esto al recurso de imágenes satelitales disponibles (Giri *et al.*, 2014).

La metodología que utilizan se basa en utilizar imágenes Landsat 7 aplicando una clasificación no supervisada usando tres clases, las cuales son arbustos, árboles y palmas, esto para cada país. Entre los resultados que obtuvieron son que Pakistán cuenta con un total de 76 616 ha y tuvo una pérdida de 17 691 ha, esta pérdida se relaciona a la dinámica del delta, ya que ha presentado erosión y a la vez, sedimentación alterando las condiciones de la vegetación de mangle. Para el caso de la India cuenta con 343 065 ha y tuvo un déficit de vegetación de 58 020 ha, donde se debe vincular a la expansión urbana que ha abarcado un crecimiento de 26 128 ha en 38 años, además de introducir actividades como agricultura y acuicultura (ídem).

Para el delta Sundarbans en Bangladesh, la India y Sri Lanka la cantidad cobertura de mangle es de 411 487 ha con una disminución de 16 179 ha, siendo la erosión el principal motivo de la alteración del ecosistema, además también se ha asociado a la problemática de la deforestación.

En casos regionales específicamente en América Central pueden mencionarse el trabajo que abarca los países de El Salvador, Honduras y Nicaragua, en el Corredor de Mangle que va desde Bahía de Jiquilisco, El Salvador hasta Estero Padre Ramos en Nicaragua; en este trabajo incorpora las variables del cambio en la cobertura de la vegetación de mangle y en el uso del suelo (Alfaro, 2011).

En este estudio se implementa la metodología de sensores remotos con el uso del SIG, donde se elabora una clasificación para determinar el uso del suelo abordan un total de 14 clases de coberturas. Se utilizan las imágenes satelitales multiespectrales ASTER, donde se aplica la fotointerpretación y clasificación supervisada, además se toman en cuenta aspectos

sociales como es la percepción de la población de las comunidades que se encuentran cerca del área de estudio, se obtiene datos de percepción acerca de la evolución, estado actual, presiones y amenazas en el manglar, esto lo abordan mediante reuniones y entrevistas.

Los resultados del estudio determinan que el tipo de manglar que predomina es el arbóreo que está constituido por diferentes comunidades o asociaciones, el segundo predominante es el arbustivo que abunda en las áreas abiertas como playones o claros interiores en islas e islotes de las bahías y estuarios, en cuanto al uso y cobertura del suelo se conoce que la vegetación de mangle tiene una dominancia de 25,5% del área total que es de más 351 825 ha.

A nivel de cada país se obtiene como resultado que El Salvador cuenta con 24 943 ha que corresponden a ecosistemas de manglar, en el caso de Honduras tiene un total de casi 38 600 ha y es el país que posee la mayor superficie de camaroneras y salineras; por último, Nicaragua que tiene 19 720 ha de vegetación de mangle.

El estudio concluye que el manglar tuvo un crecimiento positivo en su cobertura, ya que pasó de 59 686,89 ha en 1997 a 88 208,24 ha en el 2007, la cobertura que más cambios negativos presentó fue la arbórea y arbustiva para el año 1997 contaba con 56 005,60 ha y pasa a 25 886,43 ha en el 2007; sin embargo, se establecen amenazas y presiones en el ecosistema manglarico en los tres países, debido a actividades agrícolas, ganaderas, salineras y camaroneras, así como el crecimiento urbano.

Para el caso de un estudio local se pueden mencionar el desarrollado en los países de El Salvador Honduras (Golfo de Fonseca) y Costa Rica (Térraba-Sierpe), donde involucran cambios de uso de los suelos y la afectación de estos cambios en la cobertura de mangle vinculándolo al crecimiento de la población, aplicando sensores remotos para su análisis, a su vez incorporan variables de precipitación, temperatura y brillo solar, para comparar estas variables entre las áreas de estudio (Lizano *et al.*, 2001).

Los resultados destacan que el manglar del Golfo de Fonseca es menos desarrollado que el de Sierpe-Térraba y en este último se dan procesos de medios salinos de mayor influencia en los procesos fisiológicos del manglar, también otro factor que favorece la

mezcla y el desarrollo entre especies es que el HNTS no presenta una estación seca bien definida lo que causa que el régimen de aguas saladas y dulces no sean tan variantes lo que no altera al ecosistema, lo contrario de lo que sucede en el Golfo de Fonseca que presenta época seca bien definida, causando disminuciones en las precipitaciones y la vez cuenta con mayor radiación solar y temperatura, afectando las condiciones del ecosistema (Lizano *et al.*, 2001).

En este estudio puede observarse la complejidad del ecosistema del HNTS, por tanto es importante conocer otros estudios que se hayan hecho en dicho humedal para entender su dinámica, por eso se analiza el trabajo de Mora (2013); el documento utiliza metodologías de sensores remotos, se obtiene como resultado los cambios espacio-temporales de 1948 al 2011 en el área de estudio; sin embargo, aparte de esto incorpora una serie de variables como son la química del agua, oceanografía, físicas de los sedimentos y texturas, que lo relaciona con la vegetación de mangle y lo asocia a los cambios experimentados en el área de estudio.

Los resultados obtenidos evidencian que la dinámica morfológica litoral de boca Zacate ha generado una erosión general lo que conlleva a una pérdida en la cobertura del bosque de mangle, además el área de estudio presenta una condición de sedimentos poco consolidados volviendo vulnerable a diferentes factores naturales como antrópicos para que influyan en la morfodinámica litoral.

Por otra parte, el estudio de Mainardi, (1996), a pesar que no es un trabajo basado en sensores remotos ni en SIG, si es una investigación que aborda los temas de estructura, composición y distribución de dicha vegetación de mangle, por tanto, ayuda a conocer las condiciones del ecosistema en dicha área.

La metodología aplicada consiste en la recopilación de información del área a nivel geológico, geomorfológico, de clima y suelos, para comprender las características del espacio geográfico, además de eso se hacen parcelas donde se estudia la vegetación que se encuentra en cada área de muestreo, midiendo el DAP (diámetro a la altura del pecho) y la altura de la vegetación del mangle.

La autora identificó y caracterizó las especies predominantes del humedal como son la *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Rhizophora racemosa* (mangle caballero), *Pelliciera rhizophorae* (mangle piñuela), *Mora oiefera* (Alcornoque); además se identifican comunidades boscosas en las cuales se determinan por la ubicación, la influencia del agua salada y dulce, tipo de vegetación predominante; y dentro de cada comunidad se caracterizan los tipos de bosques existentes; entre ellas la Comunidad boscosa de la zona superior del delta, Comunidad boscosa de la zona intermedia del delta, Comunidad boscosa de la zona inferior del delta, por tanto es un estudio muy completo en cuanto a la estructura del bosque del HNTS (Mainardi, 1996).

En general, los estudios que se han aplicado las técnicas de sensores remotos y SIG, se determina que son herramientas y metodologías fundamentales para el estudio de vegetación, ayudan a conocer con facilidad los cambios que han experimentado los ecosistemas a nivel de espacio y tiempo, así se vuelve un complemento para determinar en qué condiciones se encuentra; especialmente un sistema natural como es el mangle que presenta complejidad en su acceso al núcleo de su bosque, por tanto este tipo de métodos proporcionan la posibilidad de estudiar la dinámica del mismo.

1.6. Marco Conceptual

La investigación incorpora una serie de conceptos y análisis teóricos, por tanto, se deben especificar para poder comprender aspectos del estudio, es por esto que se dividen en cinco apartados, los cuales son: definición de los humedales y manglares, legislación ambiental en relación con los humedales y manglares, definición del uso de la tierra y cobertura, sensores remotos y teledetección, la evolución geomorfológica, a la vez, cada uno de estos se subdivide en otros apartados.

1.6.1. Definición de humedales y manglares

En este apartado se contemplan dos definiciones fundamentales de la investigación como es el término de humedales y manglares, que son los tipos de ecosistema en que se enfoca el estudio, se especifica cada uno de ellos a continuación:

- Humedales

El presente trabajo va a realizarse en el Humedal Nacional Térraba-Sierpe, para lograr comprender mejor la investigación se debe partir de conocer los significados de varios conceptos, entre ellos el concepto de humedal, a nivel internacional se define, según la Convención Ramsar 1971 que es la encargada de dar la categoría al Humedal de Importancia Internacional, como:

“las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”.

Para el grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2006) los humedales incluyen todo tipo de tierras que estén cubiertas o saturadas por aguas todo el año o la mayor parte y que no entran en las categorías de tierras forestales, tierras de cultivo o pastizales.

En cuanto a Costa Rica, la legislación por medio de la Ley Orgánica del Ambiente N° 7 554, emitida en el año 1995, define a los humedales como:

"ecosistemas con dependencia de regímenes acuáticos, naturales o artificiales, permanentes o temporales, lénticos o lóticos, dulces, salobres o salados, incluyendo las extensiones marinas hasta el límite posterior de fanerógamas marinas o arrecifes de coral, en su ausencia, hasta seis metros de profundidad en marea baja”.

Para el caso de Costa Rica, el país presenta gran cantidad de humedales, según el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC, 2004) el país cuenta con un aproximado de 359 humedales distribuidos en todo el país y con un total de 350 000 Ha representan el 7% del territorio nacional, esto según la Universidad Earth (2006).

Los humedales se caracterizan por su extensión y riqueza en biodiversidad, por lo que a pesar de que existen tantos de estos ecosistemas en el país, hay algunos con mayor relevancia principalmente por su extensión entre ellos sobresalen el Humedal del Caribe

noroeste, Humedal que se encuentra en el Parque Nacional Palo Verde, el de Gandoca-Manzanillo y el Humedal Nacional Térraba-Sierpe como el de mayor extensión (HNTS) (INBio, 2012).

Los humedales cuentan con una amplia variedad de vegetación como los marismas, depresiones en zonas de llanura, pastos marinos, bosques inundados y sitios estancados estacionalmente que entre las mismas sobre salen los manglares (SETENA, 2006).

El HNTS presenta una gran diversidad de vegetación, entre ella se puede encontrar árboles y arbustos, lianas, hierbas y palmas, estos llegan a un aproximado de cinco tipos de géneros, cuatro familias y 40 especies, entre las variedades de vegetación se encuentra predominado el mangle que entra en la categoría de árboles y arbustos (Mainardi, 1996).

- Manglares

Los manglares son ecosistemas dominados por un grupo de especies vegetales arbóreas que han adaptado a nivel fisiológico, reproductivo y estructural lo que les permite colonizar áreas anegadas y sujetas a la influencia de mareas de las costas tropicales y subtropicales protegiendo del oleaje (Mainardi, 1996).

Se definen también como un conjunto de árboles y arbustos tropicales, que se encuentran localizados entre las latitudes de 30° N y S. Se considera que estos bosques cubren un 75% de las costas tropicales, además se caracterizan por ser ecosistemas de régimen salobre que se desarrollan en los esteros, en la boca de los ríos, sobre sustratos o sedimentos blandos, incluyen 16 familias y de 40 a 50 especies Mora, 2013).

Estos ecosistemas se pueden definir como grupos de especies vegetales pantropicales y típicamente arbóreas, arbustivas y vegetación asociada, las cuales cuentan con adaptaciones morfológicas, fisiológicas y reproductivas que permiten colonizar áreas sujetas al intercambio de mareas (SETENA, 2006).

Entre otras definiciones, los manglares son un tipo de estado sucesional entre la vegetación litoral y la tierra firme, relacionada con características geomorfológicas y sedimentológicas; en cuanto a la estructura del mangle son bastante uniformes y con

tendencia a unirse en su etapa madura cerrando el dosel. Además, clasifica a los manglares en dos tipos los riparios y los litorales, para el caso del HNTS se cataloga como ripario por el aporte de agua dulce de los ríos Sierpe y Grande de Térraba, a su vez lo caracteriza por ser un dosel superior al del bosque manglárico del caribe con alturas de 9 a 10 m, también porque en la parte sur del humedal se presentan la especie *Pelliciera rhizophorae* que no está en la costa caribeña (Gómez, 1986).

En el caso del HNTS presenta una extensión de manglar de 17 732 ha, siendo un tipo de vegetación predominante en el humedal y tiene una alta diversidad de especies entre las dominantes pueden encontrarse *R. racemosa*, *P. rhizophorae*, *Avicennia sp*, *R.mangle*, *L. racemosa*, las cuales son las más abundantes y entre las plantas menos comunes están *Mangifera indica*, *Mora oleifera*, *Hibiscus pernambucensis*, *Cecropia peltata*, entre otros (Jiménez, 1993)

1.6.2. Legislación ambiental en relación a los humedales y manglares

La legislación a nivel internacional en temas de humedales que más se ha dado a conocer y que han participado muchos países se denomina Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas (Convención Ramsar).

Esta nace en 2 de febrero de 1971 con el propósito de proteger las funciones ecológicas de los humedales; los acuerdos de la convección determinan el papel fundamental de los regímenes hidrológicos y como hábitat de fauna y flora características. También se consideran de gran valor económico, cultural, científico y recreativo; además toman como prioridad la importancia que tienen los humedales con respecto a las aves acuáticas en sus migraciones estacionales; la Convención Ramsar pretende como objetivo principal impedir ahora y en el futuro las progresivas intrusiones y pérdida de humedales (UNESCO, 1994).

A nivel nacional es necesario contemplar la integración de Costa Rica en la Convención Ramsar, la cual se ratifica en el acuerdo de la Ley Convención relativa a los humedales de importancia internacional, “Convención Ramsar” 7 224, el 9 de abril de 1991, la cual consiste en resguardar estos ecosistemas y mantenerlos en régimen de protección, lo que es una gran responsabilidad para el país.

El país por su parte, cuenta con su propia legislación para regular las actividades que se realicen en los humedales, entre las principales leyes están la Ley de la Zona Marítima Terrestre 6043, del 2 de marzo de 1977, donde establece en el artículo 11 que la zona pública es la ocupada por todos los manglares de los litorales continentales e insulares y esteros del territorio nacional y el artículo 61 menciona que es prohibido la extracción de quien explote, sin autorización, tanto la fauna o flora existentes en la zona marítimo terrestre o los manglares a que se refiere el artículo 11, será reprimido con prisión de seis meses a cuatro años (Mauri y Gonzales, 2010).

Por otro lado, La Ley Orgánica del Ambiente 7554 creada en 1995 incorpora artículos que regulen la protección tanto de los humedales como de los manglares, en el artículo. 40, 41 y 45; en el artículo 40 describe el concepto de los humedales, para el caso de 41 estipula como interés público los humedales su conservación, por ser de uso múltiple, estén o no estén protegidos por las leyes que rijan esta materia y el artículo 45 prohíben las actividades orientadas a interrumpir los ciclos naturales de los ecosistemas de humedal, como la construcción de diques que eviten el flujo de aguas marinas o continentales, drenajes, desecamiento, relleno o cualquier otra alteración que provoque el deterioro y la eliminación de tales ecosistemas (Mauri y Gonzales, 2010).

A su vez, la Ley Forestal 7575, establecida en 1996, pasa a ser parte de esta regulación, ya que destaca en el artículo 9 que, en terrenos cubiertos de bosque, no se permitirá cambiar el uso del suelo, ni establecer plantaciones forestales, también el artículo 34 menciona la prohibición para talar en áreas protegidas (Mauri y Gonzales, 2010), por tanto, muchos de los ecosistemas de humedales están dentro de estas áreas de conservación, por lo que es prohibido actividades de esta índole.

1.6.3. Evolución geomorfológica

La evolución geomorfológica es un proceso de cambios del paisaje a través de los años, con tasas de variación en la superficie de la Tierra que se derivan de los procesos erosivos ligados a sistemas fluviales principalmente. Se considera como el medio más simple de modelación del relieve o de un sistema geomorfológico en el tiempo (Lugo, 2011).

Se define también como un modelo relacionado con cambios en las formas geográficas o geomorfológicas que se van dando con el tiempo, existen muchas teorías de los procesos evolutivos de la geomorfología como el ciclo geográfico que consiste en la juventud, madurez y vejez de los tipos de relieve, que se ve influenciado por varios factores entre ellos el tectónico; otra teoría es el ciclo de erosión que consiste en que la erosión y sedimentación son los encargados de modelar el relieve (Goudie, 2004).

Para lograr entender el proceso de evolución geomorfológica, se parte de conocer conceptos como el de geomorfología, erosión, sedimentación y paisaje, además de incorporar otras definiciones de formas asociadas a la costa para interpretar los procesos que se presentan en el área de estudio y que se explican a continuación.

- Geomorfología

La geomorfología es el estudio que aborda las formas que se presentan en la superficie terrestre como ríos, colinas y montañas, planicies, playas, entre otras, tiene en su función describir los procesos que han proporcionado la morfología del planeta (Huggett, 2007). También, la geomorfología se considera como una ciencia encargada del estudio de las formas de la superficie terrestre, submarinas y planetarias (Summerfield, 1991).

- Erosión

Es un proceso exógeno o conjunto de procesos que buscan una nivelación del relieve de la Tierra; entre los mecanismos que se presentan en la erosión destaca el transporte, denudación y depositación de materiales. Entre los agentes naturales que provocan la erosión destacan: la radiación solar y proceso de gravedad, además de agentes como el agua, los glaciares, las olas. Por su parte, el ser humano con las actividades antrópicas, también forma parte de agentes erosivos que provocan que se acelere el proceso como de deforestación que deja al descubierto el terreno (Goudie, 2004).

Los procesos terrestres se ven influenciados por diferentes agentes que modifican sus estructuras y formas, entre estos agentes se pueden mencionar la erosión que es considerado como un proceso geológico natural que se produce en ciertas localizaciones favorables a ello. La erosión puede generarse por acontecimientos naturales que modifican el terreno como las

precipitaciones, el viento, la red hídrica y en áreas costeras existen agentes erosivos como las olas, las corrientes marinas que afectan en el terreno; pero también las actividades del ser humano provocan los procesos de erosión por los usos intensos del suelo en diferentes actividades de producción (Goudie, 2004).

- Sedimentación

La sedimentación se refiere a partículas sólidas asentadas en líquidos que se desplazan en forma de suspensión; la sedimentación puede darse de forma fluvial, lacustre, marina y también de manera eólica (Goudie, 2004). Para la sedimentación es un proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en suspensión y son removidas por la acción de la gravedad (Pérez, 2005).

- Paisaje

Se constituye de diferentes procesos que se dan en el espacio geográfico como los usos y coberturas de la tierra que se generan mediante procesos naturales espontáneos, sin influencia directa del ser humano en el crecimiento de la vegetación, aunque se haya presentado intervención social como por ejemplo política y leyes de conservación, además incluye la vegetación natural en diferentes estados de sucesión como bosque primario, secundarios hasta charral y tacotal (Morera *et al.*, 2013). Para el caso de los procesos geomorfológicos se relaciona con el paisaje, porque con su evolución van modificando la estructura composición de vegetación en un lugar.

- Geomorfología litoral

En los espacios litorales existen diferentes formaciones que hacen que sean un área compleja y de diversos procesos, entre esas formaciones que se encuentra en el área de trabajo se pueden mencionar las playas, los estuarios, deltas y barras.

- Playas

Las playas son depósitos de sedimentos acumulados, se localiza entre la llegada de las olas y el límite superior de las mareas, están compuestos de arena fina otras veces de

rocas, dependiendo del grado de energía que estén expuesto las playas. Además, las playas son consideradas como un sistema con diferentes rangos de mareas, ubicadas en diferentes latitudes, con desigual clima y en todo tipos de costas (Goudie, 2004).

Se considera, también, a las playas como acumulación de sedimentos sin consolidar que van desde materiales muy finos hasta rocas, las playas se ubican en un 40% de las costas mundiales (Bird, 2007). También se consideran que las playas son áreas costeras que son acumulaciones sueltas de arena, grava, o una mezcla de los dos (Schwartz, 2005).

- Estuarios

Los estuarios son sistemas muy complejos y diversos, se pueden definir como accidentes geográficos que se encuentran en las desembocaduras de los ríos y que son influenciados por mareas y conforman ambientes hidrodinámicos y se pueden categorizar a nivel geomorfológico, por procesos de sedimentación con influencia de mareas, salinidad y ecología (Schwartz, 2005). También, pueden considerarse como la desembocadura de un río que está relacionado con la entrada del agua de mar (Bird, 2007).

Pueden definirse los estuarios también, como cuerpos semicerrados de agua, que se encuentran con una libre conexión con el mar abierto y en el cual el agua de mar se disuelve con agua que proviene de la masa continental. A la vez se define como sistema de valles ahogados, que están en relación con los cambios de mareas y la mezcla del agua dulce de los ríos; están expuestos al aporte de sedimentos de las cuencas, formando canales y áreas de acumulación de sedimentos (Bird, 2007).

- Deltas

Los deltas son los ríos que se encuentran en la fase final de la desembocadura, están contruidos de sedimentos, ya que se da un proceso formación deposicional y causa que la tasa de acumulación de sedimentos en la desembocadura del río sea superior a la velocidad a la que se encuentra el sedimento que se erosiona y se dispersa por las olas y las corrientes, (Bird, 2007).

Puede decirse, que los deltas se consideran accidentes geográficos en los ambientes costeros que se han formado sedimentos fluviales los cuales han sido transportados y

depositados en la boca de un río y, a la vez, que no han podido ser removidos por las mareas o las olas. La formación de los deltas se da de manera independiente al tamaño de la red fluvial de la cuenca, pero si la red fluvial es grande puede favorecer a la formación de los mismos, también las fallas tectónicas pueden ayudar a que se desarrollen este tipo de ambientes costeros (Schwartz, 2005).

- **Barras**

Son depósitos relacionados directamente con las playas y los ambientes costeros, se caracterizan por conformarse por diversos procesos y establecerse en diferentes formas, como las barras construidas en alta mar, las que se conforman por medio de entradas y ensenadas para cerrar lagunas costeras y pantanos, así como las barras que se establecen en zonas intermareales (Bird, 2007).

Las barras costeras se definen como crestas conformas por sedimentos, cuya forma, morfología y comportamiento son determinados por las interacciones entre las olas, corrientes, mareas, pendiente local y el tamaño de la granulometría de los sedimentos. Estas barras se encuentran en la playa, deltas, estuarios y en diversos lugares de la plataforma continental, tiene diversas formas, tipos, tamaños y orientación (Goudie, 2004).

- Barras submarinas: Las barras submarinas se consideran como una primera etapa que adquiere los sedimentos, tiene tendencias a desplazarse hacia las costas, por la influencias de las mareas que influyen en el arrastre del material, el cual puede observarse en mareas bajas y, en algunos casos, en forma de pequeñas crestas que se asoman sobre el nivel del mar (Lugo, 2011). Por último, se clasifican también por la ausencia de vegetación y por la presencia de formas asimétricas.

- Barra insulares: Las barras insulares, están definidas como el proceso evolutivo de la barra submarina y se caracterizan por un afloramiento del material acumulado sobre el nivel del mar, formando islas, en algunos casos, también pueden formarse lejos de la costa mediante la dinámica de corrientes transversales de sedimentos hacia el talud submarino (Lugo, 2011). Esta categoría de barra puede observarse como cúmulos de sedimentos más densos y canales de agua que las atraviesan (Goudie, 2004); así mismo, son barras que aún no están cubiertas por vegetación.

- Barras litorales: Las barras litorales se definen como el proceso superior en la consolidación de barras, se establecen de forma paralela a la línea de costa, con un origen en saturación de sedimentos (Lugo, 2011). Se caracterizan, además, por presentar crestas distintivas, divididas en las que tienen pendiente más pronunciadas hacia el lado de tierra firme y la de pendiente bajas hacia el mar (Goudie, 2004).

1.6.4. Definición de uso y cobertura de la tierra

Es en este apartado se establecen las definiciones conceptuales de uso y cobertura de la tierra que es parte del desarrollo metodológico y variable del estudio, se especifican a continuación:

- Uso de la tierra

El uso de la tierra es considera, como la modificación antrópica del ambiente natural para ser construido en campos de cultivo, pasturas o asentamientos urbanos (IPCC, 2000). Para Lücke (1986), el uso de la tierra es determinado por el ambiente físico (clima, relieve, suelos, hidrología, vegetación, etc.), ya que influyen en el potencial de empleo de tierras. También, incluye las actividades humanas presentes y del pasado con sus resultados tanto favorables como adversos.

La investigación se va a abordar los usos a partir de los establecidos por el Manual CLC-CR (Rosales, 2016), donde se dividen en usos de la tierra y coberturas, en el caso de los usos en el humedal se encuentra gran variedad y se puede decir que en su área de influencia predominan el cultivo de palma aceitera, arroz, estanques de maricultura, pastos para la ganadería y algunos asentamientos (Umaña, 2013). Para el caso de la cobertura se determinan cuatro tipos los cuales, son arenas y playas, zonas pantanosas, lagos o laguna y manglar; se incorpora el concepto utilizado por categoría para los usos y coberturas que se determinaron (Tabla N° 2).

Tabla 2. Definiciones de las clases utilizadas en los usos y oberturas de la tierra

CLASE	DEFINICIÓN
Usos de la tierra	
Arroz	Planta Oriza sativa de la familia Poaceae, se siembra en superficies planas o ligeramente onduladas, en un rango de 0 a 200 msnm.
Palma Aceitera	Palma aceitera (<i>Elaeisis guineensis</i>) planta perenne de tronco solitario y hojas pinnadas.
Pastos Limpios	Tierras ocupadas por pastos, sin presencia de maleza. Incluyen pastos de corta, ensilaje y heno.
Tierras Desnudas o Degradadas	Superficie de terreno desprovisto de vegetación, debido a procesos naturales o antrópicos.
Estanques para acuicultura y maricultura	Cuerpos de agua destinados a la cría de crustáceos, moluscos y peces.
Cobertura de la Tierra	
Playas y Arenas	Terrenos bajos y planos constituidos por suelos arenosos y pedregosos.
Zonas Pantanosas	Tierras planas, que permanecen inundadas durante todo el día o mayor parte del año.
Manglar	Ecosistema dominado por grupos de especies pantropicales, arbóreas y arbustivas; incluye la Negraforra (<i>Acrosticum aerum</i>)
Lagos o Lagunas	Superficies o depósitos de agua naturales de carácter abierto o cerrado, que pueden estar conectadas o no a un río o al mar.

Fuente: Rosales, (2016).

- Cobertura de la tierra

Para el caso de la cobertura de la tierra se define como el estado biofísico de la superficie de la tierra (Sánchez, 1997), también se define como los elementos que cubren la superficie terrestre, tanto naturales como antrópicos, entre la cobertura natural se clasifican los bosques, arbustos, cuerpos de agua, nieve, arena y afloramiento rocosos y los antrópicos como cultivos y plantaciones, áreas urbanas e industriales (Instituto Amazónico SINCHI, 2006).

1.6.5. Sensores remotos y teledetección

Los procesos metodológicos del estudio se componen de fundamentos como los sensores remotos, la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica, sus definiciones se detallan a continuación:

- Sensores remotos y teledetección

Los sensores remotos se consideran el marco de estudio de la Teledetección, son a la vez objetos que proporcionan las herramientas necesarias para darle una correcta interpretación al espacio (Chuvienco, 2010). Los sensores remotos son la ciencia y el arte de obtener información de un objeto, área o fenómenos por medio del análisis de datos adquiridos mediante un dispositivo, el cual no está en contacto directo con el objeto, área o fenómeno que está investigando (Pérez, 2005).

Por otra parte, la teledetección se define como una técnica que es capaz de suministrar información a distancia de los objetos situados en la superficie terrestre, además incorpora algunos elementos como una fuente de energía, cubiertas terrestres como es el bosque, el agua o el suelo, como tercer elemento el sensor remoto, el sistema de recepción, la interpretación y el usuario final (Chuvienco, 2010).

Para esta investigación esta herramienta y técnica de análisis de datos son fundamentales para abordar los objetivos, ya que cada uno de ellos debe ser procesado con la teledetección, por lo que cabe destacar que son esenciales para el desarrollo de la misma.

- Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG se consideran como programas que son capaces de almacenar, gestionar, manipular y proporcionar una representación gráfica de la información recopilada, donde demuestra un panorama del espacio (Chuvienco, 2010). Por otra parte, se definen como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos (Brenes, 2006.).

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

En este capítulo van a analizarse las etapas necesarias para elaborar la metodología, desde el enfoque y tipo de la investigación, las fuentes de información primaria y secundaria, así como las variables y análisis de la información.

2.1. Enfoque y Tipo de Investigación

La investigación es básica conocida también como pura, ya que se orienta hacia la búsqueda de nuevos conocimientos y campos de la investigación, con el objetivo de crear nuevos instrumentos de carácter teórico (Barrantes, 2014); que permitan identificar los procesos que se han efectuado en el pasado al HNTS y a su vez una metodología que se pueda aplicar en otras áreas con este tipo de ecosistema.

Este trabajo, además constituye un análisis temporal con carácter longitudinal, debido a que se enfoca en aspectos que se desarrollan en diferentes periodos como es el reconocimiento de procesos geomorfológicos y cambios de usos de la tierra entre 1948 al 2012, con el propósito de reconstruir acontecimientos para tratar de explicar dinámicas que se han dado a través del tiempo, a su vez, tiene una orientación de carácter explicativa por su enfoque está dirigido a obtener respuestas a problemas concretos para la toma de decisiones.

Su profundidad u objetivo de la investigación es dirigida en dos aspectos, los cuales son la descriptiva y relacional (Barrantes, 2014), la primera consta de detallar fenómenos mediante la observación como es la evolución geomorfológica, así como los cambios en los usos de la tierra, la segunda busca vincular fenómenos o dinámicas que puedan intervenir en los procesos del objeto de estudio, para este caso es cómo la cobertura se ha modificado por actividades naturales o antrópicas.

El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que se relaciona con metodologías de tipo empírico-analítico, que se desarrollan los resultados con diferentes técnicas enfocadas en estadísticas y fórmulas que permiten analizar los datos obtenidos, además la concepción del fenómeno de la investigación es nomotética (Barrantes, 2014).

En los alcances de la investigación se obtendrán datos de pérdida y ganancia de cobertura de mangle, mediante el análisis de procesos erosivos y sedimentarios que se cuantifican con cifras del terreno en hectáreas (ha) para saber cuánta extensión se modificó en el tiempo, además de relacionar con la disminución de la vegetación manglarica con la dinámica de cambios de usos de la tierra y obtener datos de las especies dominantes en el humedal, así como las plantas de mangle que son pioneras en los nuevos bancos de sedimentos.

Para el caso de las limitaciones del estudio destaca el acceso al sitio por sus condiciones de regímenes hídricos y terreno poco consolidado, donde la entrada será imposible, provocando vacíos de información y comprobación de campo, además de su gran extensión puede perjudicar la visita a todas las zonas de interés. No obstante, son limitaciones que con un buen trabajo de campo y teledetección pueden ser sufragadas.

2.2. Fuentes de Información

Las fuentes de información se dividen en primarias y secundarias, las primeras son las que se obtienen directamente como los resultados de los procesamiento del SIG, las segundas son las que recopilan información de distintos temas en relación al estudio como los libros, artículos, revistas, imágenes satelitales y fotografías aéreas; ambos tipos se detallan a continuación.

1. Fuentes primarias

Es la información obtenida en los procesos de digitalización de los diversos usos de la tierra, en los cambios geomorfológicos, las clasificaciones espectrales y el trabajo de campo donde van a compararse las digitalizaciones y la clasificación por especies, además de las tomas de muestras de suelo que se van recolectar. Debe considerarse que es una de las fuentes más importantes para el estudio, ya que es donde se produce información propia, lo que vuelven a los resultados en datos únicos.

2. Fuentes secundarias

Se consultaron diversos materiales bibliográficos relacionados con el tema de la investigación que ayudan a fundamentar las bases teóricas del estudio; entre esos documentos de referencias se utilizaron materiales como:

- Libros, revistas, tesis, artículos, textos sirvió de apoyo en la parte escrita del documento de investigación, para los diversos aportes teóricos necesarios en los temas estudiados, además mediante los cuales pueden construirse diferentes apartados del documento.
- Fotografías aéreas e imágenes satelitales son los insumos para el desarrollo de los diversos objetivos de la investigación, los cuales son emitidos por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y el Departamento de Programas de Investigación Aerotransportada (PRIAS) del Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT).

Se utilizaron otros materiales como hojas topográficas las cuales son Coronado, Terraba y Sierpe a escala 1:50 000, elaboradas por el IGN y diversos insumos cartográficos del área de estudio, también se consultaron diversos datos estadísticos como censos de población, datos de vegetación, usos y coberturas de la tierra.

2.3. Análisis de la Información

Para abordar la investigación se han identificado tres etapas, en las cuales van a desarrollarse las variables de cada objetivo, de allí se generarán los resultados y el análisis del estudio, entre esas etapas están:

1. Procesos de georreferenciación de las fotografías aéreas e imágenes satelitales.
2. Análisis las variables e instrumentos de la evolución geomorfológica, los usos y coberturas de la tierra, así como la distribución de especie de mangle.
3. Fase de trabajo de campo y verificación de los resultados.

2.3.1. Procesamiento de las fotografías aéreas e imágenes satelitales

Se utiliza el límite que se establece en la primera etapa de la investigación y se procede a determinar los años que van a trabajarse. Se inicia con el año 1948 al 2012; para el caso de las fotografías que van a utilizarse las de los años 1948, 1972 y 1992, suministradas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), para el año 2012 va a trabajarse con la imagen satelital Rapid Eye suministrada por el Laboratorio PRIAS, para un total de 64 años.

Se parte del año 1948, que es la primera fotografía aérea registrada para el área de estudio y se utilizará con el objetivo de abarcar a nivel temporal todo el registro más antiguo que se tenga para entender los cambios en el espacio. La siguiente fotografía es la de 1972, porque se hará una secuencia de cada 20 años para presentar una interpretación consecutiva del espacio; por último, se utiliza la fotografía aérea de 1992 (Tabla 3).

Por último, se analiza el año 2012 con la imagen satelital Rapid Eye (Tabla 3), tanto por su fácil accesibilidad como por sus potenciales a partir de las bandas espectrales para lograr un análisis más detallado de las especies de mangle existentes y su distribución.

Las fotografías aéreas deben ser referenciadas, para lo cual se utilizan como base la imagen Rapid Eye 2012, la cual ya está con las coordenadas correspondientes (CRTM05) que son las oficiales para el país; además, se apoya con una serie de puntos que determinan sectores claves para reconocer en la fotografías e imagen para ser más exactos con este proceso y con menos margen de error. Por su parte, es importante considerar que los insumos fotográficos existente para los años de estudio tiene diferentes escalas, lo que genera que varié los resultados cartografiados, por lo que se determina el margen del error a partir de la escala de la fotografía y de la escala con que se digitaliza esto con el fin que se considerar la diferencia de datos para cada año (Salitchev, 1979).

Tabla 3. Datos de las fotografías aéreas e imágenes satelitales

Fotografías aéreas e imágenes satelitales							
Proyectos	Escalas	Año	Rollo	Línea	Número de Fotografías	Fuentes	Margen de Error (metros)
Fotografías aéreas 1948							
VV91 PL	1:50000	1948	1006	556	181	IGN	50
				557	149, 151		
				558	145, 147		
				559	92, 94, 96		
Fotografías aéreas 1972							
Pérez Zeledón	1:20000	1972	53	2	113	IGN	20
San Isidro			33	18	39		
			32	19	210, 212		
			69	317	18, 20		
Coto Brus			45	314	201, 208		
		1973	46	310	32, 43		
Fotografías aéreas 1992							
DMA	1:60000	1992	1	12	69, 71	IGN	10
			3	10	600, 602		
Imagen satelital							
Proyecto	Tamaño pixeles	Años	Bandas espectrales			Fuente	
Rapid Eye	5 m x 5 m (1:25.000)	2012	Azul-Verde-Rojo-Borde Rojo-Infrarrojo Cercano			CeNAT-PRIAS	25

Fuente: Elaboración propia, 2015.

2.3.2. Variables y sus instrumentos

La investigación está enfocada en abordar tres variables las cuales son los procesos de evolución geomorfológica, los usos y coberturas de la tierra, así como la distribución de especies de mangle para el área de estudio en un periodo de 64 años, cada variable busca explicar la pérdida o ganancia de cobertura de mangle.

- Análisis de la evolución geomorfológica

Se va a realizar mediante la técnica de fotointerpretación de tres fotografías aéreas de los años 1948, 1972 y 1992, además de una imagen satelital del año 2012, todas las imágenes se procesan con el Sistema de Información Geográfica (SIG) Arc Map 10. 3.

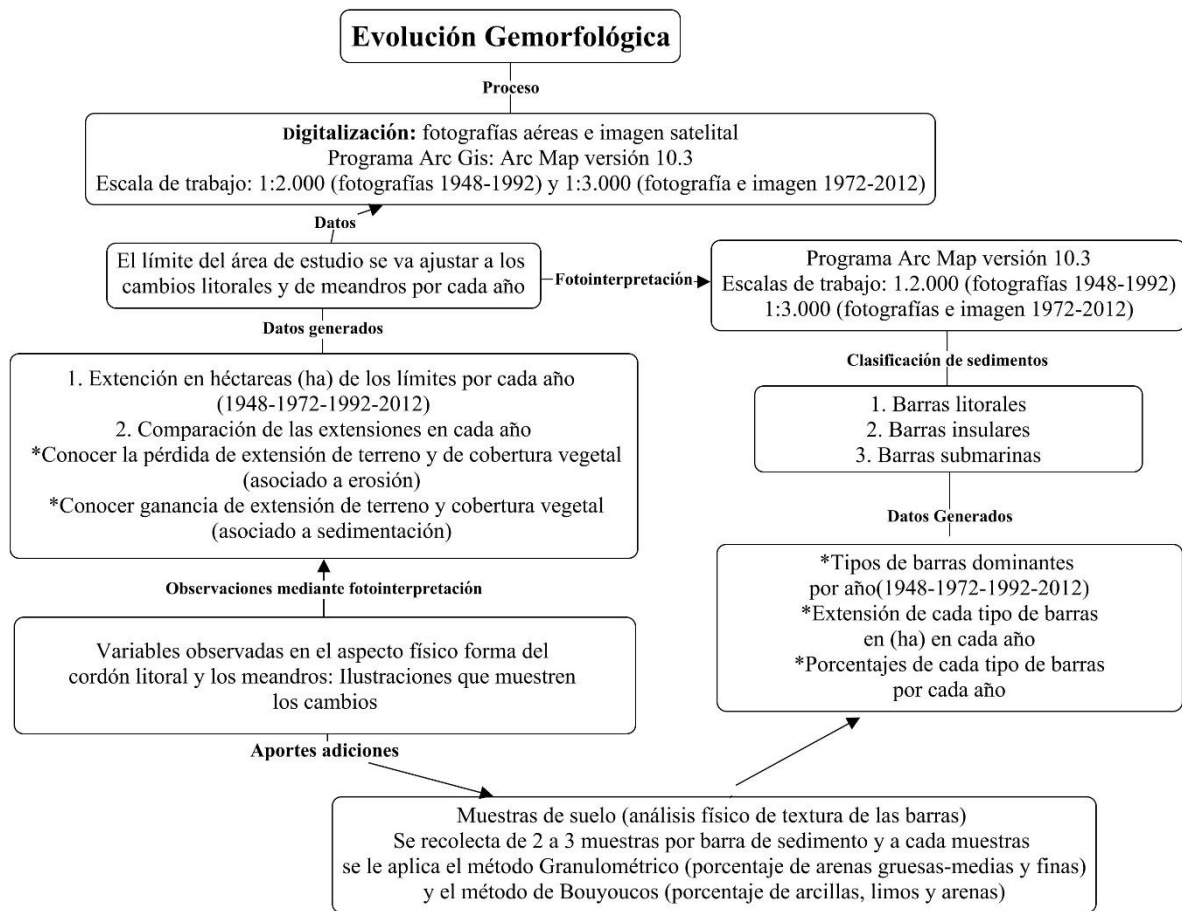
La técnica de la fotointerpretación permite la identificación de los procesos evolutivos de las barras de sedimentos, que a su vez permite determinar la forma y extensión del área de estudio que posteriormente se valida con el trabajo de campo. Cabe destacar que las digitalizaciones son efectuadas por solo una persona, por lo que el margen de error es limitado.

Para la digitalización de las fotografías aéreas e imagen satelital, se toma como base el área de estudio que es el límite del Sc, el cual se adapta a la vegetación de mangle. Dicho límite se coloca sobre cada insumo fotográfico y se delimita agregando al *shapefile* las variaciones en el cordón litoral y los meandros para cada año, se trabaja la digitalización a escala 1: 2 000 para los años 1948 y 1992, para el año 1972 y 2012 a escala 1:3 000, esto por la escala de cada foto o imagen.

Dado que toda la información va generarse por medio del SIG, dichos datos deben construirse por medio de las tablas de atributos que incorporan el año analizado y la extensión por periodo, esto una vez que se digitaliza cada límite, así logra llevarse un orden a lo largo del tiempo, además de generar análisis espaciales entre los distintos años analizados.

Una de las ventajas que tiene la fotointerpretación, es el hecho de que va a proporcionar dos tipos de información. La primera son las variables observables en el aspecto físico (formas del cordón litoral y los meandros) del humedal para cada año; la segunda es la clasificación de tipos de barras de sedimentos. Para el caso de los aspectos físicos observables va a trabajarse por bocas, las cuales son de norte a sur: boca Coronado, Chiquita, Brava, Zacate, Guarumal y Sierpe, para demostrar los cambios mediante ilustraciones por cada año y la relación con lo estudiado (Anexo 1).

Figura 1. Proceso metodológico aplicado a la variable de evolución geomorfológica



Fuente: Elaboración propia, 2015.

La información de los tipos de barras de sedimentos se procesó en el Arc Map versión 10.3 a escalas de 1: 2 000 para los años 1948 y 1992, para el año 1972 y 2012 a escala 1:3 000, se aplica una clasificación que consta de tres clases, las cuales son: barras submarinas, barras insulares y barras litorales. Se va a obtener el tipo de barras de sedimentos dominantes, así como el área y el porcentaje de cada clase de barras, para luego compararlo en cada periodo estudiado y relacionarlo con los datos anteriores de hectáreas (ganancia o pérdida por año).

La comprobación de las barras sedimentarias va ser mediante muestras de suelo recolectadas en los tres tipos de barras submarinas, insulares y litorales, en el HNTS. Posteriormente se procesaran el Laboratorio de Geografía Física de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional. A las muestras de suelo se le van a determinar la

textura mediante la identificación de la granulometría y va a utilizarse el método de bouyoucos (Bouyoucos, 1962) para conocer la cantidad de arcillas, limos y arenas que tiene cada tipo de barra, lo cual va a permitir comprobar la diferencia física que tiene y validar los resultados de la fotointerpretación.

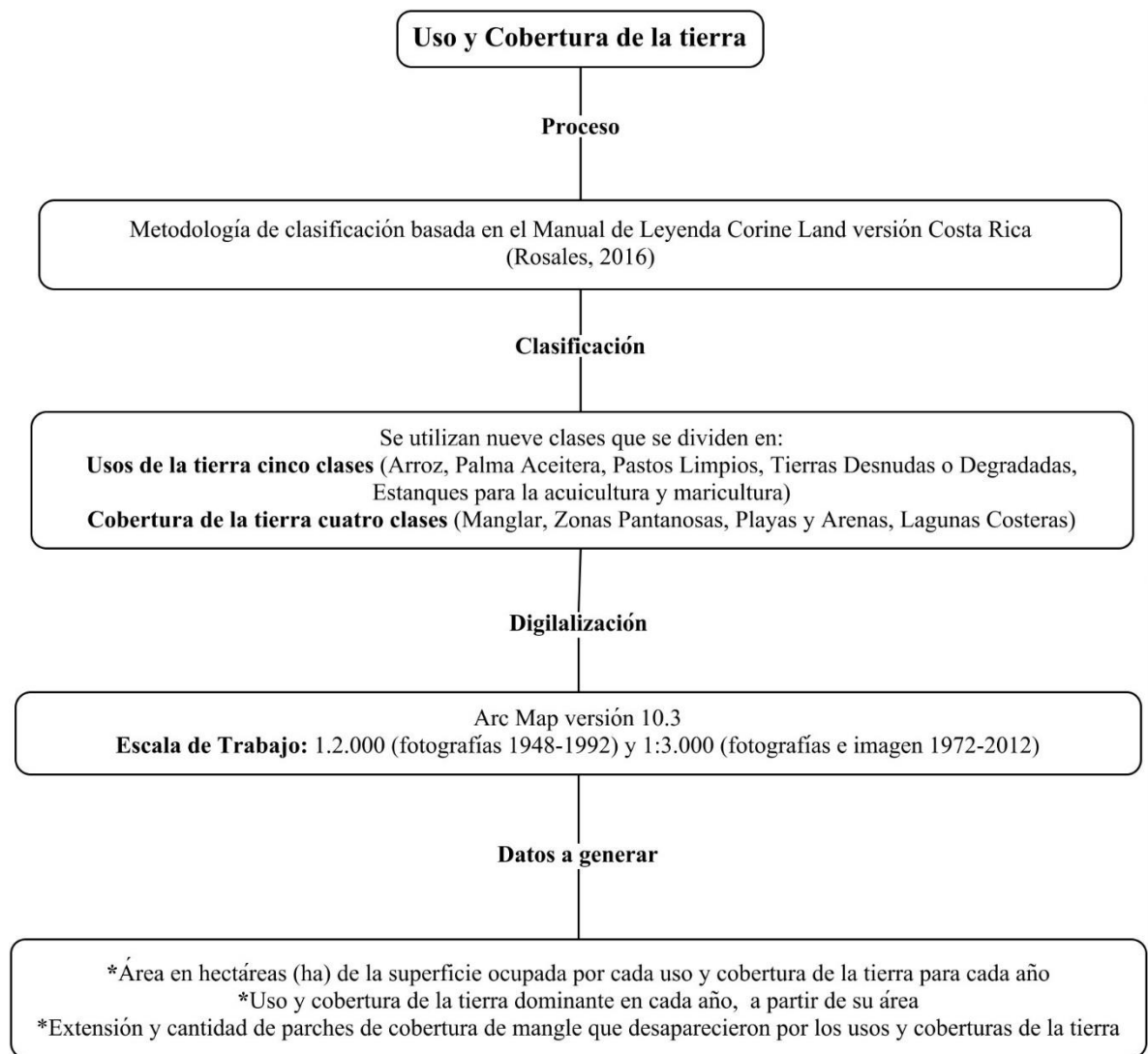
Para el método granulométrico va a utilizarse 100 g de cada muestra de suelo, luego se pasa a un horno donde se debe secar durante 24 horas y a una temperatura promedio de 108 °C, después se colocar en el tamiz, los cuales van a utilizarse seis de diferentes medidas para separar las arenas gruesas, medias y finas. Para las arenas gruesas se utilizan los tamices de 2 mm hasta 0,5 mm, las arenas medias se utilizan de 0,25 mm y las arenas finas van hacer 0,125 mm hasta 0,063 mm. Esto se determinó con estas medidas, según la metodología utilizada por Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2014), que clasifica las arenas en gruesas (2-0,5 mm), medias (0,5-0,25 mm) y arenas finas (0,25-0,063 mm).

Para el caso del método de bouyoucos se utilizan 40 g de cada muestra de suelo recolectada, después se le agrega 50 ml de la solución hexametafosfato y carbonato de sodio (calgón), así como 100 ml de agua destila, se coloca en la batidora eléctrica (Halmiton Beach) durante 10 min, posteriormente se lleva hasta un cilindro de sedimentación (probeta de vidrio especial para el método de bouyoucos) se vierte la mezcla y se termina de llenar el cilindro con agua destilada hasta alcanzar los 1000 ml; se deja reposar y con un cronómetro se mide a los 30 segundos, al minuto, 120 min, 360 min y 1 440 min y en cada uno de los tiempos se le va a medir la temperatura del agua con un termómetro (°C), así como también con el hidrómetro de bouyoucos (framos 7 litros); luego se analizan los resultados (Bouyoucos, 1962).

- Digitalización de los usos y coberturas de la tierra

El uso de la tierra se define como la modificación antrópica del ambiente natural para ser construido en campos de cultivos, pasturas o asentamientos urbanos (IPCC, 2000), por su parte, la cobertura de la tierra se caracteriza como el estado biofísico de la superficie de la tierra (Sánchez, 1997).

Figura 2. Proceso metodológico aplicado a la variable de uso y cobertura de la tierra



Fuente: Elaboración propia, 2015.

El instrumento que va a utilizarse en esta etapa es similar a la evolución geomorfológica que consta del uso del SIG y la técnica de fotointerpretación para este caso de los usos y coberturas de la tierra, además se apoya en la metodológica Corine Land versión Costa Rica desarrollada por el MAG e Inder, ya que la misma se eligió por contener más clases, así como simbología definida con el propósito de estandarizarla a nivel nacional.

Para el desarrollo de esta etapa se realizará la clasificación de usos y coberturas de la tierra, proceso que se apoyará de la metodología del manual de definición de clases de la

leyenda CLC-CR para la generación de mapas de usos y cobertura de la tierra Leyenda Corine Land versión Costa Rica (Rosales, 2016), el cual consta de 61 clases, pero solo van a utilizarse 9, porque son las que se adaptan al área de estudio (Tabla 4).

Tabla 4. Clases de usos y coberturas de la tierra aplicada al año 1948 al 2012

CÓDIGO	CLASE	SIMBOLO	ESPECIFICACIONES
Coberturas de la tierra			
414	Manglar		Color de fondo: R:180-G:230-B:250 Color trama: R:8-G:115-B:0
411	Zonas Pantanosas		Color de fondo: R:80-G:230-B:250 Color trama: R:38-G:115-B:0 Tamaño: 1mm x 1 mm
521	Lagunas costeras		Color de fondo: R:180-G:230-B:250 Color de la línea: R:0-G:90-B:207
Usos de la Tierra			
211	Arroz		Color de fondo: R: 255-G:0255-B:166 Color trama: R:38-G:115-B:0
225	Palma Aceitera		Color Fondo: R:255-G:161-B:20 Color Trama: R:38-G:115-B:0
231	Pastos Limpios		Color: R:255-G:255-B:166
341	Playas y Arenales		Color de fondo: R:255-G:255-B:255 Color trama: R:115-G:38-B:0 Tamaño: 1 mm
343	Tierras Desnudas o Degradadas		Color: R:220-G:220-B:220
524	Estanques para Acuicultura y Maricultura		Color: R:115-G:178-B:255

Fuente: Rosales, (2016).

Esta clasificación va a desarrollarse para cada año, mediante el programa Arc Map versión 10.3 de ESRI, basada en la fotointerpretación de las diversas texturas que se observan en el área de estudio, además se realizan dos tipos de escala en el momento de la digitalización, por el tipo de escala de las fotografías aéreas e imagen satelital. Para el caso de los años 1948 y 1992 se trabaja a escala 1: 2 000 y a escala 1:3 000 en los años 1972 y

2012, cabe destacar que sola una persona va a efectuar todos los procesos para mantener un margen de error similar.

Van a obtener datos en metros cuadrados de la superficie ocupada por cada uso y cobertura en cada año, que servirá para conocer cuál domina en el área, además de obtener un registro histórico de la extensión y cantidad de parches de cobertura de mangle que desaparecieron por los cambios en los usos de la tierra. Va a trabajar esta información en la Tabla de atributos de cada *shapefile* que se crea para cada año en el Arc Map.

- Distribución espacial del mangle

Esta etapa consiste en la identificación de las especies de mangle en el área de estudio para determinar la relación con los procesos actuales de la geomorfología, y los usos del suelo mediante una clasificación espectral que consiste en obtener N individuos en un conjunto de K clases en función de una serie de variables cuantitativas ($X_1, X_2, \dots, X_n$) (Chuvieco, 2010).

Se utiliza como instrumento el SIG, aplicando la herramienta de la clasificación no supervisada que se basa en no establecer ninguna clase prioritaria, aunque es necesario determinar el número de clases que van a requerirse y se aplican algoritmos matemáticos de clasificación automática (Chuvieco, 2010), se valida en el campo con la fórmula de la comprobación efectividad de las clases a partir de puntos por tipo de clases.

Esta etapa se inicia con el procesamiento de la imagen satelital, su corrección atmosférica y geométrica, además, se realiza un recorte de la imagen de acuerdo con el límite del área de estudio. Posteriormente, se utiliza el software ENVI para aplicar una clasificación no supervisada mediante la herramienta *K-means* para determinar la cantidad y nombre de las clases. Por último, los resultados o productos será la extensión de cada especie de mangle para el 2012, determinar las especies dominantes, y la relación con la evolución geomorfológica a lo largo de poco más de sesenta años. Todo el proceso de este inciso se resume en la siguiente imagen (Figura 3).

Figura 3. Proceso metodológico aplicado a la variable de clasificación espectral para la vegetación de mangle



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Para esta parte de la investigación, se realizará un análisis detallado de especies de mangle únicamente para el año 2012, se identifican los tipos de mangle y su distribución en el humedal, el cual va a realizarse una clasificación no supervisada. Al tener la imagen procesada con la corrección geométrica y atmosférica procede a realizarse la clasificación espectral.

Se trabaja con el programa ENVI versión 5 para efectuar la clasificación no supervisada con *K-Means*, este tipo de clasificación se basa en medidas aritméticas aplicada

a las bandas de la imagen, en el cual el programa utiliza la técnica de mínima distancia entre espectros mediante la búsqueda de los píxeles con la misma entonación de colores que estén más cercanos, así establece las clases (CeNAT, 2009).

Una vez obtenido el proceso de clasificación por medio del programa ENVI se revisarán las clases con el programa Arc Map, ya que, en algunos casos, las muestras quedan contaminadas con píxeles de otros colores alterando el espectro, por lo que se debe manejar bajo un proceso de depuración, esto consiste en eliminar los pixeles que sean de tamaños pequeños.

Para validar la información adquirida en la clasificación debe realizarse una inspección en el campo para obtener los tipos de especies de mangle que corresponden a cada clase y lograr una comprobación validada, esto va a ser utilizando cartografía que se genera en el proceso y con el apoyo de un navegador GPS para obtener puntos que ayuden a verificar en el SIG.

Además de este tipo de validación, va a ejecutarse otra comprobación que consiste en conocer la efectividad de las clases a partir de puntos por tipo de clases (en este caso, especies de mangle), la cual se obtiene con la fórmula que propone (Chuvienco, 2010), la cual corresponde a:

$$n = \frac{z^2 pq}{L^2}$$

Donde **z** es la abscisa de curva normal, **p** es el porcentaje estimado de acierto, **q** es el porcentaje de errores y **L** es el nivel permitido de error. Esta fórmula permite determinar cuántos puntos de muestra del espectro se necesitan para validar cada clase de mangle obtenida y si los resultados superan al 80% puede afirmarse que la clasificación es válida.

Si se conoce el margen de error de cada clase, puede darse una aprobación a la clasificación y se continúa con el proceso de análisis, donde se identifica la ubicación de las especies de mangle en el espacio, se obtiene la distribución en el humedal.

Al completar estos pasos va a realizarse un análisis de datos, mediante las cifras que se obtienen de la Tabla de atributos, como es la extensión de cada especie de mangle, la

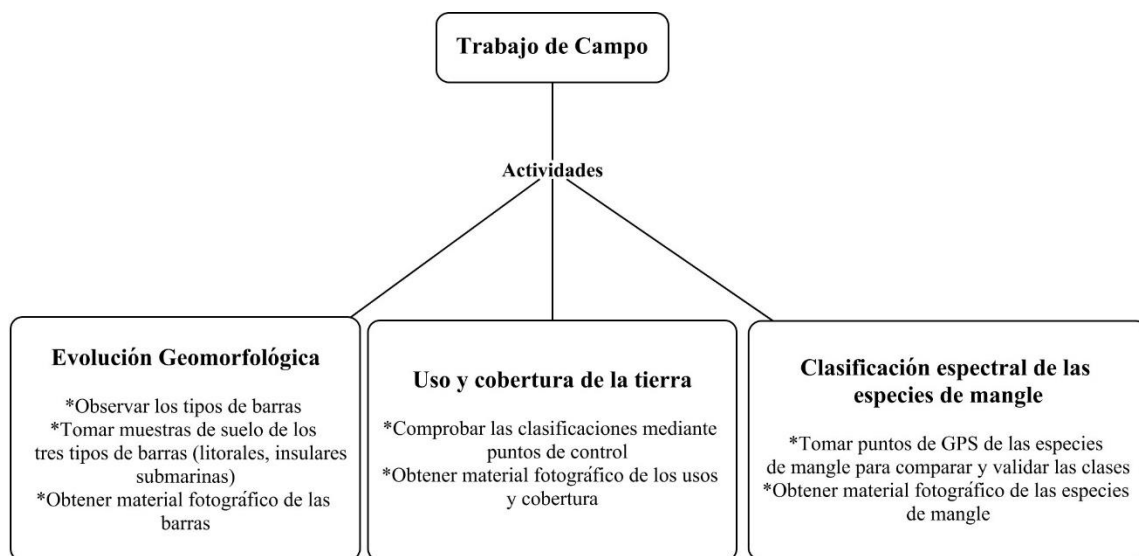
especie dominante, además de vincularlo con los datos de la evolución geomorfológica para saber cuáles especies de mangle se encuentran en los sedimentos consolidados con vegetación para verificar las especies pioneras, a la vez, asociarlo a los usos de la tierra conociendo cuales clases de mangle están cerca de dichos usos.

2.3.3. Fase de trabajo de campo

Esta fase se va a realizar en dos visitas de campo, por la gran extensión del área (ha) de estudio; va a dividirse el humedal en cuatro sectores para trabajar; el primero va abarcarse de Boca Coronado a Boca Brava, el segundo de Boca Brava a Boca Zacate, el tercero de Boca Zacate a Boca Guarumal y el cuarto de Boca Zacate a Guarumal a Boca Sierpe (Anexo 1).

El trabajo de campo se concentra en realizar las actividades a partir de los objetivos de la investigación, por lo tanto, para el caso de la evolución geomorfológica va a efectuarse una observación de los sedimentos, además de tomar registros fotográficos y tomar las muestras de suelo con tamiz de 1 cm para cada muestra, esto se va a abordar bajo otra matriz de campo para ser más específico con las muestras (Anexo 2) y esto luego se procede a llevarlo al laboratorio para el análisis físico del suelo.

Figura 4. Proceso metodológico aplicado al trabajo de campo



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Para el uso y cobertura de la tierra van a verificarse los usos con Sistema de Posicionamiento Global (GPS) esto para validar la información, además de tomar registros fotográficos. En la clasificación espectral la visita de campos se apoyará de la actividad de recolección de puntos de GPS por especie (mínimo 20 puntos por especie), con el objetivo de validar la información clasificada, además de recolectar datos extra de las condiciones el ecosistemas con datos de los árboles de mangle de su diámetro y altura, mediante la aplicación del DAP (Diámetro del árbol a la altura del pecho) y observando las características físicas de la vegetación, esto mediante una matriz de campo (Anexo 3).

CAPÍTULO III: EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA

Para conocer los procesos evolutivos del sistema deltaico en el HNTS, se parte de describir las formas del relieve para conocer la dinámica del delta, como una herramienta para este análisis, se inicia con la clasificación obtenida de los tipos de sedimentos que dominan en la desembocadura de los ríos Térraba y Sierpe, dicha categorización ayuda a entender los procesos de evolución geomorfológica que tuvo el humedal. Además, se analizan los procesos asociados a la erosión y sedimentación, así como una comparación de los cambios en las bocas del humedal a partir de la evolución del relieve, para determinar cuál de ellas fue la que sufrió más cambios en el cordón litoral; todo este análisis se hace para los años 1948, 1972, 1992 y 2012.

3.1. Clasificación de las formas del relieve del Humedal Nacional Térraba – Sierpe

El HNTS es una zona geográfica que está conformada por material fluvial, que ha sido depositado en el transcurso del tiempo; según Brenes y Solano (1993), el sistema de delta del humedal se conformó mediante una doble fase deltaica que consiste en la conformación de depósitos de dos ríos, que, en este caso, es el Grande de Térraba y el río Sierpe, esto se desarrolló por un proceso de deposición de material, condiciones de mareas y oleaje débil. A su vez, algunas formaciones, como la isla Violín, han tenido una gran influencia sobre este proceso, ya que actúan como una defensa de las corrientes oceánicas, lo que ayuda al asentamiento de los sedimentos que provienen del continente.

Conforme los ríos depositan sus sedimentos en el mar, estos fueron formando un cono submarino con una estructura que sigue el vértice del río, lo cual provocó un crecimiento del cono en la parte más profunda. Después, logra consolidarse en el litoral somero hasta alcanzar un proceso de colmatación, así como también una barrera de material que obstruye el cauce del río en su desembocadura, hasta lograr el aumento del nivel del río, por lo tanto, la dinámica empieza a provocar que el mismo río forme brazos para lograr su salida al mar (Brenes y Solano 1993).

Al conformarse los sedimentos, se inicia la colonización de especies vegetales, que son las encargadas de terminar el proceso de consolidación. Para el caso del delta Térraba-

Sierpe existen algunas especies de mangle como *Rhizophora mangle* y *R. racemosa* que capturan sedimentos por medio de su compleja estructura de raíces aéreas, esto favorece a la acreción de sedimentos y a la expansión del sistema deltaico (Silva *et al.*, 2015).

El delta del HNTS logra su consolidación y, actualmente, tiene una geomorfología caracterizada por la dominancia de depósitos aluviales que provienen del continente y también de la transición marino-costero del periodo Cuaternario (Denyer *et al.*, 2007). También, se subdivide en cinco unidades, las cuales son: marismas, pantanos permanentes o temporales, planicies aluviales con influencia marina cercana de la costa, planicie aluvial pequeña y delta del abanico del río Térraba (Kappelle *et al.*, 2002).

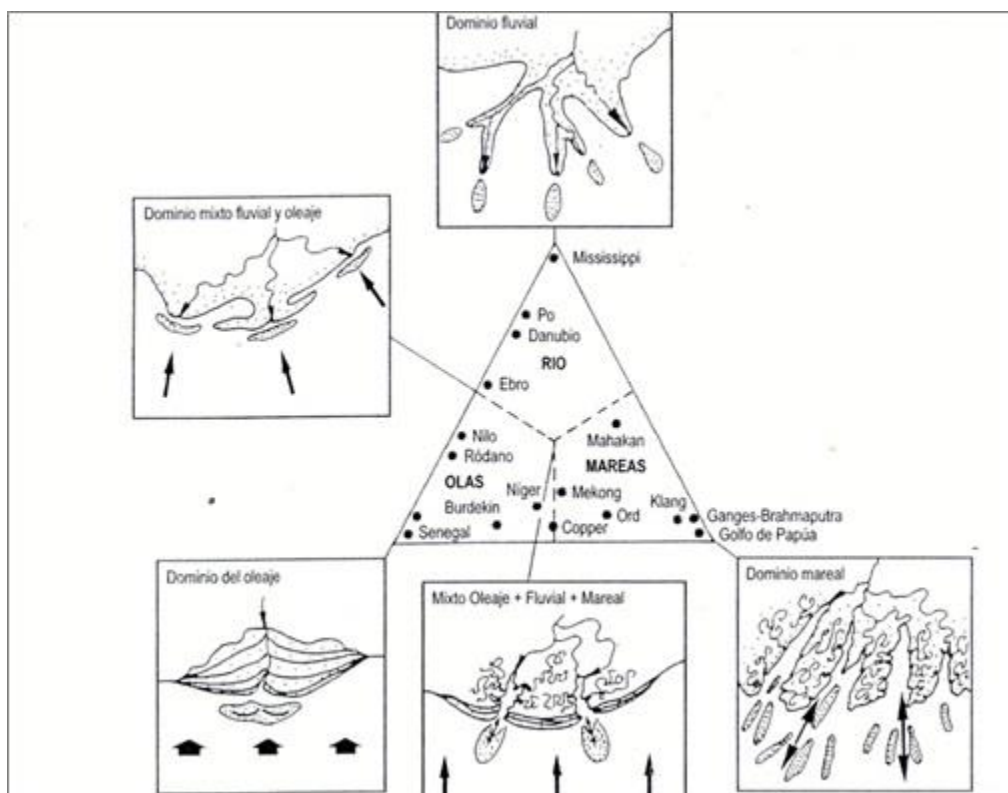
A pesar que el HNTS es un sistema consolidado, está expuesto a constantes modificaciones, por su característica de delta, ya que, según Silva *et al.*, (2015) tanto los estuarios como los deltas están influenciados por dinámica litoral, la cual influye en el oleaje y las mareas, así como también por las descargas fluviales que vienen cargadas de sedimentos provenientes del continente, que provocan cambios constantes en la desembocadura.

Una de las dinámicas que influyen en mayor medida en el sistema deltaico Térraba-Sierpe, está determinada a partir de la clasificación ternaria de los tipos de delta, es el proceso de mareas, el cual es dominante sobre aportes fluviales y olas (Gutiérrez, 2008). Se clasifica de esta manera, debido a la morfología del delta, ya que se observa la formación de varias bocas en la desembocadura (Figura 5 y 6), así como canales amplios y erosión hacia el interior de la llanura deltaica.

Esto puede comprobarse con otras características, según Bird (2007), los sistemas de deltas donde se dan procesos de dominio de mareas se relacionan a zonas costeras con pocas profundidades, así mismo se encuentran otras evidencias como es la abundancia de sedimentos en las bocas asociados con grandes porcentajes de arenas, caracterizados por ser depósitos recientes que, en muchos casos, conforman playas o cúspides arenosas. Estas características se asemejan a las que tiene el HNTS, ya que la zona costera donde este se encuentra está dentro de la plataforma continental con profundidades que rondan entre 0 hasta los 15 m, estos datos muestran que se tratan de zonas superficiales. Además, en cuanto a los

sedimentos para este sistema de delta, se da la presencia de mucho material principalmente aportado por el río Grande de Térraba y de menor medida del río Sierpe (Lizano, 2015).

Figura 5. Clasificación ternaria de los tipos deltaicos, basada en regímenes del frente del delta



Fuente: Gutiérrez (2008).

Esta influencia de las mareas hace que el cordón litoral se modifique constantemente, mediante procesos de erosión y depositación, causando una fuerte dinámica a nivel geomorfológico asociado de manera directa con la vegetación de mangle. Según Ortiz, (2012) en el HNTS se evidencia la remoción de mangle en algunos sectores y en otra colonización.

A pesar de los efectos tan importantes que provocan las mareas en el sistema deltaico del HNTS, esta investigación no contempla detalladamente esta variable, debido a la poca información con la que se cuenta para la zona ya que los datos más cercanos son los suministrados por la Estación de Predicción de Mareas (EPM) ubicada en Quepos. Sin embargo, cabe destacar los datos con que se cuenta, donde las alturas máximas de mareas

para esta zona son un aproximado de 2,87 m, superando los 3 m reportados en de 1993, 1997, 1998, 2002, 2006 y 2010 (Lizano, 2008).

Por otra parte, el oleaje, aunque no es el factor que más influye en el delta sí es parte del sistema y tiene una relación directa con las mareas, ya que según Lizano (2015) los procesos de mareas altas provocan que se dé una energía fuerte por parte de las olas, esto ocasiona que se dé modificaciones en el sustrato del manglar. Entre los datos de oleaje para el sector Térraba-Sierpe, se tiene una dirección suroeste donde más del 62% de las olas viajan con esta trayectoria, el 33% hacia el sur y 3% al oeste (Lizano, 2008).

Además de los factores vinculados a procesos costeros, es necesario considerar los efectos que provoca la sedimentación que generan los ríos Térraba y Sierpe en diferente medida. Esto se debe a las características propias de cada cuenca, donde la del Térraba tiene una extensión de 5 085 km² con un recorrido de 27 distritos y cuatro cantones (Cedeño *et al.*, 2010), y, por su parte, el río Sierpe se caracteriza por ser una red hídrica que no supera más de 82 km de longitud y recorre solamente el cantón de Osa (Madrigal, 1998).

Entre las características que demuestran la sedimentación del río Grande de Térraba, destacan la presencia de aguas con altos porcentajes de sólidos en suspensión y turbidez, con un aumento considerable en la época lluviosa, así como un mayor porcentaje de sedimentos más gruesos en lugares, como en el tramo de Brujo en Buenos Aires hasta Paso Real y de Palmar Norte a Caña Blanca (Umaña y Springer, 2006). Esto se relaciona a que pertenecen al sector de la parte baja de la cuenca, donde los efectos de la tasa de erosión de la cuenca alta y media se ven reflejados por la pérdida de la cobertura boscosa, así como a los cambios de uso de la tierra

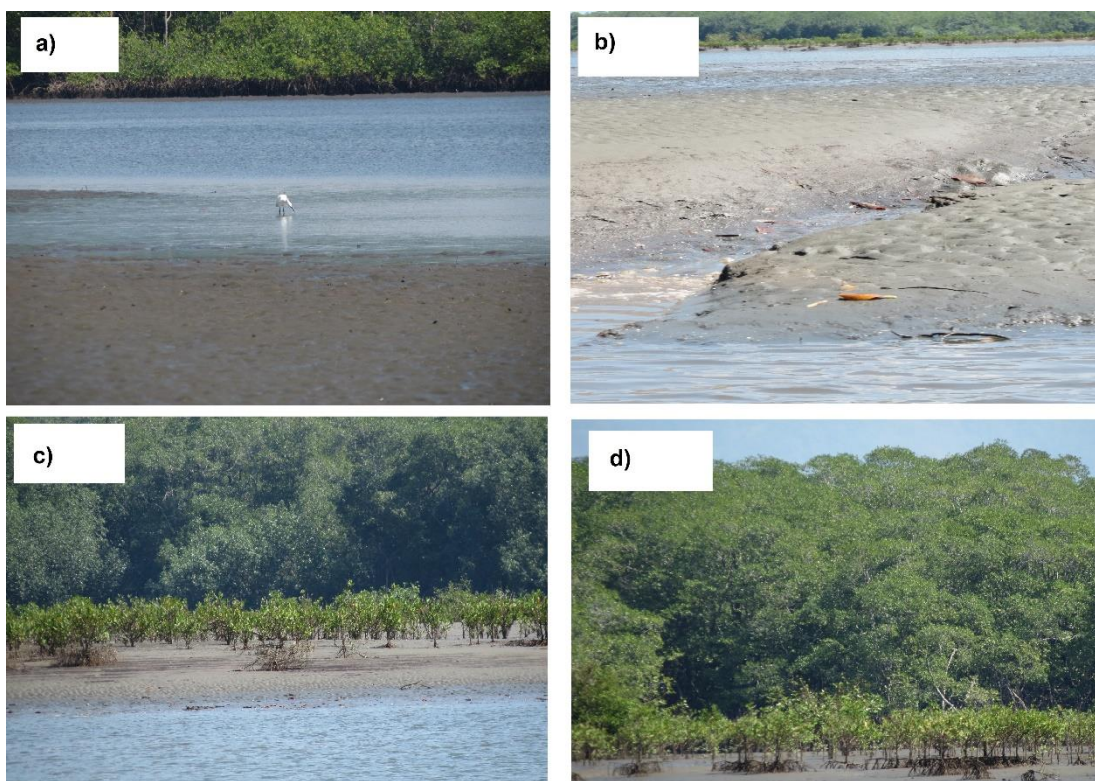
Los factores mencionados influyen en los procesos de erosión y sedimentación del humedal, se considera que en la última década el delta está enfrentando una intensificación en el arrastre de material; también el río Grande de Térraba está provocando que en los últimos años se dé un mayor depósito de sedimentos, esto quiere decir que el sistema está teniendo una dinámica fuerte y desordenada (Lizano, 2008).

Para poder conocer los cambios que ha tenido el HNTS debe partirse de conocer como ha sido el proceso histórico de este sistema deltaico. Por esto, el estudio contempla un periodo

de 64 años, donde pretende determinar la evolución geomorfológica que ha tenido el humedal, analizando los cambios en el cordón litoral a partir de sedimentos, las barras en cada periodo y al contemplar las variaciones por bocas.

La evolución geomorfológica se analiza de forma específica mediante la identificación de las barras de sedimentos que se clasifican a partir de su aspecto físico (color, textura, cobertura de vegetación), que se obtiene mediante la fotointerpretación y se considera además la textura de los sedimentos que se obtienen mediante la recolección de muestras y análisis de laboratorio. Se eligieron tres categorías las cuales son: barras submarinas, insulares y litorales.

Figura 6. Tipos de barras en el Humedal Nacional Térraba Sierpe: a) barras submarinas, b) barras insulares, c) barras litorales

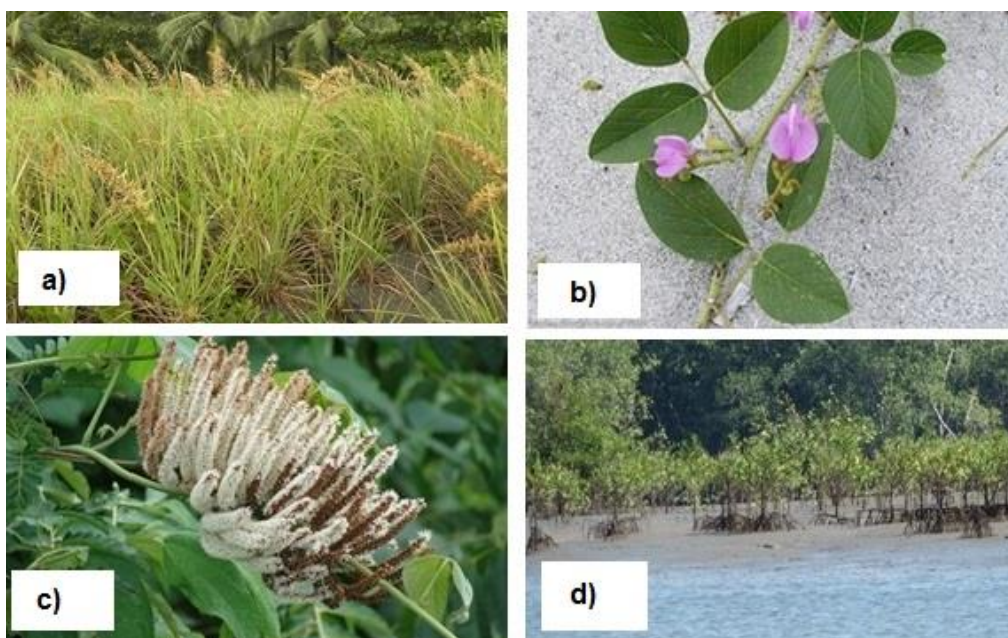


Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Las barras submarinas son la primera etapa que adquieren los sedimentos, y tienen a depositarse en las costas, ya que la mareas influyen en el arrastre de material, el cual puede observarse en mareas bajas, y en algunos casos en forma de pequeñas crestas que se asoman sobre el nivel del mar (Lugo, 2011). Además, se clasifican también por la ausencia de vegetación y por la presencia de formas asimétricas (Figura 6).

En cuanto a las barras insulares, estas se definen como el proceso evolutivo de la barra submarina, donde se inicia un afloramiento del material acumulado sobre el nivel del mar, formando islas en algunos casos, también pueden formarse lejos de la costa mediante la dinámica de corrientes transversales de sedimentos hacia el talud submarino (Lugo, 2011). Así mismo, son barras que aún no están cubiertas por vegetación (Figura 6).

Figura 7. Vegetación de las barras litorales en el Humedal Nacional Térraba Sierpe: a) *Uniola pittieri*, b) *Canavalia rosea*, c) *Entada polystachya*, d) *Rhizophora mangle*



Fuente: Trabajo de campo 2016 (a, d) e imágenes de Google (b, c).

La última categoría que son las barras litorales, se caracterizan por ser el proceso superior en la consolidación de barras, las cuales logran establecerse de forma paralela a la línea de costa, con un origen en la saturación de sedimentos (Lugo, 2011), además se identifican por presentar crestas distintivas, divididas en las que tienen pendiente más pronunciadas hacia el lado de tierra firme y la de pendiente bajas hacia el mar (Goudie, 2004).

Para el caso del HNTS, las barras litorales están cubiertas por vegetación, lo que fortalece su basamento (Figura 6).

Entre la vegetación identificada que cubre las barras litorales están las gramíneas, como la especie *Uniola pittieri*, la cual es una planta que alcanza hasta 15 cm de altura con reproducción por medio de estolones y predominantes en playas arenosas (Hammel *et al.*, 2003); bejucos como *Canavalia rosea* y *Entada polystachya* que se distribuyen en todo el país, pero tienden a colonizar espacios húmedos (Hammel *et al.*, 2010). También, en algunos sectores se identificó *R. mangle* con individuos aislados dentro del sedimento (Figura 7).

Tabla 5. Resultados de las muestras de suelo aplicando el método de bouyoucos: Humedal Nacional Térraba Sierpe

Método de bouyoucos				
Tipo de Barra	Punto	% Arena	% Limo	% Arcilla
Barra submarina	BS2	98	1	1
Barra submarina	BS3	98	0	2
Barra submarina	BS8	93	4	3
Barra insular	BI4	95	2	3
Barra insular	BI5	95	3	2
Barra insular	BI6	95	2	3
Barra litoral	BL1	91	7	2
Barra litoral	BL7	65	20	15
Punto en el delta-vegetación negraforra	PNF	42	36	22
Punto en el delta-vegetación mangle piñuela	PNF	52	30	18

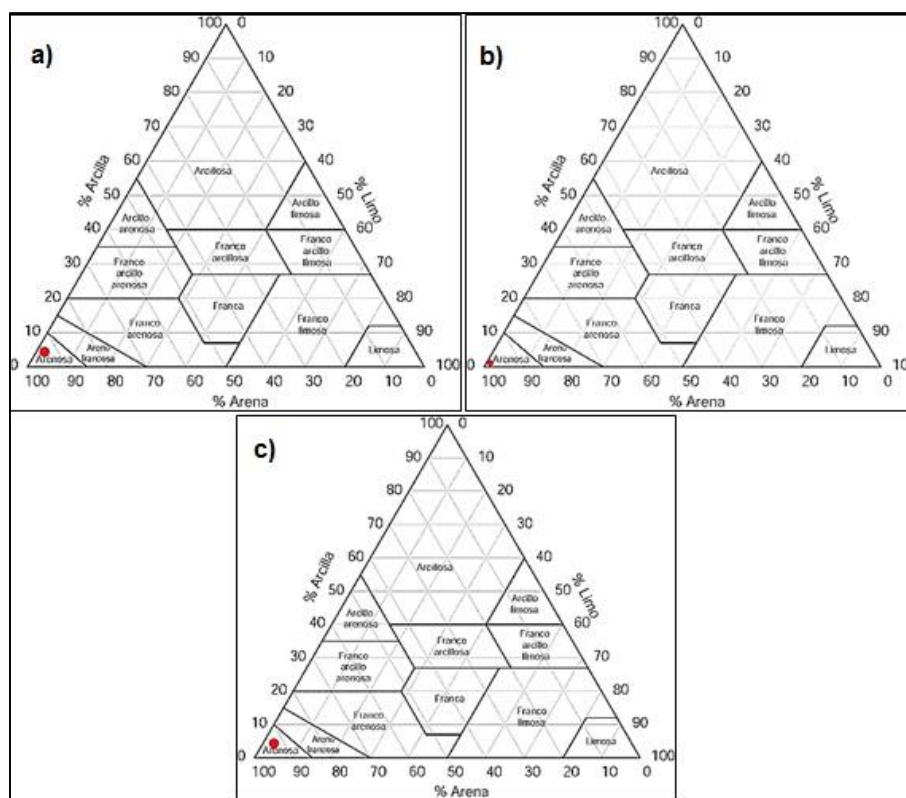
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Para la identificación de la textura de las barras se utilizó el método de bouyoucos (Bouyoucos, 1962), donde se clasifica los porcentajes de arena, limos y arcillas. Para las barras submarinas e insulares se tomaron tres muestras de suelo para cada una en diferentes sitios del humedal y para las litorales se tomaron dos muestras (Anexo 4). Además, se utilizó el método de granulometría para conocer el porcentaje de arenas en cada barra; estas se

clasificaron en arenas gruesas (2-0,5 mm), medias (0,5-0,25 mm) y finas (0.25-0,063 mm) según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2014).

En el caso de las barras submarinas, se obtuvo una dominancia de arenas de más del 90% en todos los sitios de muestreo (Tabla 5). Mediante la asociación de estos datos al triángulo de textura, se determina que las tres muestras a partir de sus porcentajes en arenas, limos y arcillas están determinadas como tipo de suelos arenosos (Figura 8), esto indica que son sustratos ligeros compuestos de partículas grandes y con poca materia orgánica, lo cual facilita su lavado (Gisbert *et al.*, 2010).

Figura 8. Triángulo de texturas del suelo en las barras submarinas: a) muestra BS2, b) muestras BS3, c) muestras BS8



Fuente: Bouyoucos, (1962), adaptación propia, (2016).

Nota: El punto de color negro indica el tipo de textura que tiene el suelo de las tres muestras que se recolectaron en campo para el tipo de barra submarina.

En cuanto a la granulometría para las barras submarinas, se determinó que los puntos BS2 y BS3 estuvieron compuestos por arenas gruesas y medias, el punto BS8 se caracterizó por estar dominado por arenas finas y medias (Tabla 6). Esto último se debe a la peculiaridad de que el punto BS8 está ubicado entre la isla Guarumal y el terreno firme (Anexo 4), por lo que se vuelve un sitio con poca relación de mareas y oleaje, teniendo también una influencia directa con las descargas del material que trae el río Sierpe, lo cual ocasiona que la barra tenga una mayor estabilidad.

Tabla 6. Datos en porcentajes de los tipos de arenas clasificadas como arenas gruesas, medias y finas en las barras submarinas

Granulometría de las barras submarinas			
Punto	Arena Gruesas %	Arenas Medias %	Arenas Finas %
BS2	59,92	34,92	2,62
BS3	1,94	64,95	32,2
BS8	9,33	14,43	74,74

Fuente: Elaboración propia, 2016.

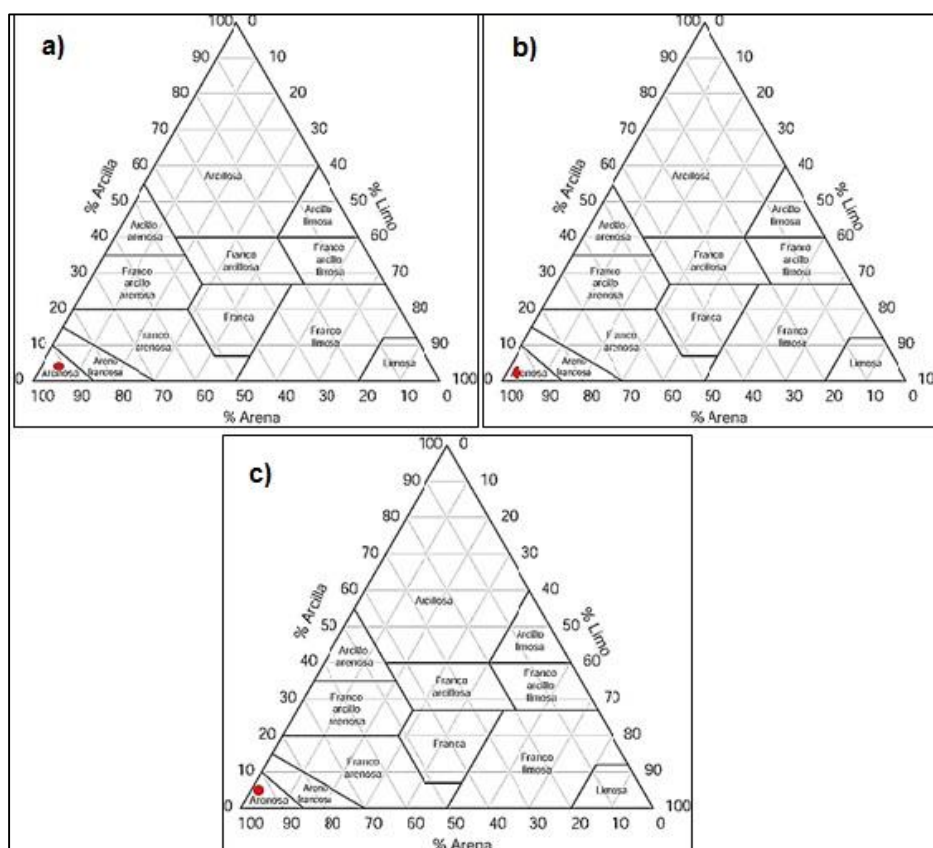
Para el caso de las barras insulares, se determinó que las muestras estuvieron dominadas en más del 90% por arenas (Tabla 5), lo cual mediante el triángulo de texturas es considerado como suelo arenoso (Figura 9). Por lo tanto, son similares a las barras anteriores, aunque estas se distinguen por presentar una granulometría, donde predominan las arenas finas y medias (Tabla 7). Esto puede favorecer a que el lavado de material sea menor que en las barras submarinas, por ser material más fino y pesado. Cabe destacar que estas barras son las que alcanzan una mayor similitud en sus propiedades físicas, estableciendo una definición más clara en su contenido a nivel de textura.

Tabla 7. Datos en porcentajes de los tipos de arenas clasificadas como arenas gruesas, medias y finas en las barras insulares

Granulometría de las barras insulares			
Punto	Arena Gruesas	Arenas Medias	Arenas Finas
BI4	3,19	48,97	45,82
BI5	2,57	29,74	65,83
BI6	0,25	44,43	53,51

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 9. Triángulo de texturas del suelo en las barras insulares: a) muestras BI4, b) muestras BI5, c) muestras BI6



Fuente: Bouyoucos, (1962), adaptación propia (2016).

Nota: El punto de color negro indica el tipo de textura que tiene el suelo de las tres muestras que se recolectaron en campo para el tipo de barra insulares.

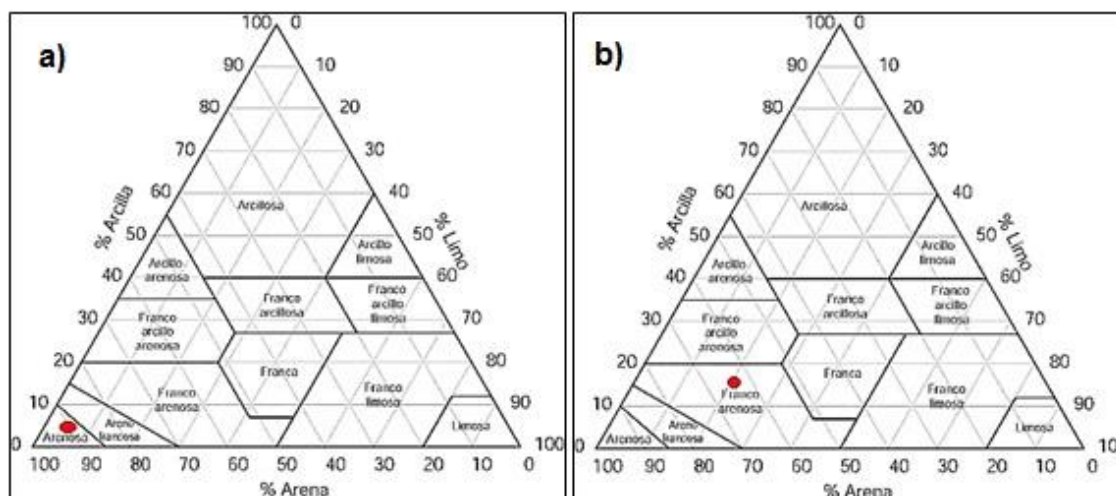
Por último, las barras litorales presentaron variación en su contenido de arenas, limos y arcillas; aunque las arenas, al igual que en las barras anteriores, fueron dominantes (Tabla 5). Por lo tanto, el punto BL1 fue establecido como suelos arenosos, mientras que el punto BL7 fue clasificado como franco arenoso (Figura 10), el cual se caracteriza por presentar más limos que ocasiona un equilibrio en la textura del suelo arenoso, haciendo que sea más estable y a la vez más denso, lo cual limita el lavado del material (Gisbert *et al.*, 2010). En cuanto a la granulometría, estas barras litorales se encuentran dominadas por arenas finas, seguidas por las arenas medias y con menor porcentaje las gruesas (Tabla 8).

Tabla 8. Datos en porcentajes de los tipos de arenas clasificadas como arenas gruesas, medias y finas en las barras litorales

Granulometría de las barras litorales			
Punto	Arena Gruesas	Arenas Medias	Arenas Finas
BL 1	0,4	35,11	62,12
BL 7	0,54	6,46	91,31

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Figura 10. Triángulo de texturas del suelo en las barras litorales: a) muestras BL1, b) muestras BL7

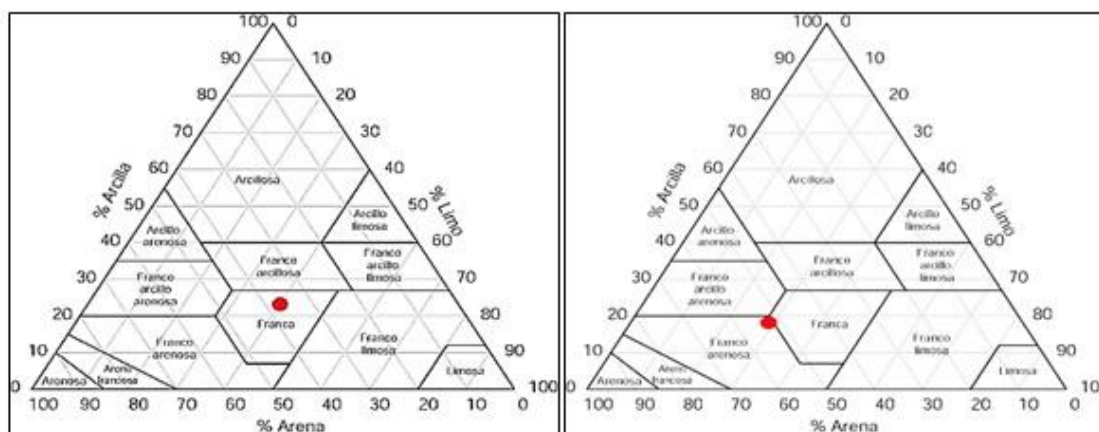


Fuente: Bouyoucos, (1962), adaptación propia, 2016.

Nota: El punto de color negro indica el tipo de textura que tiene el suelo de las dos muestras que se recolectaron en campo para el tipo de barra litoral.

Además de las muestras tomadas en las diferentes barras, se recolectan dos muestras más en la planicie deltaica, la cual se define como la superficie terrestre que se caracteriza por presentar un relieve donde predominan los sedimentos fluviales y numerosos cauces que son parte de la red hídrica principal de la planicie aluvial (Lugo, 2011). El primer punto (PNF) fue en una zona cubierta vegetación de negraforra (*Acrostichum aureum*) y el segundo (PMP) se localizó en la vegetación de mangle piñuela (*Pelliciera Rhizophorae*).

Figura 11. Triángulo de texturas del suelo en sectores del delta Térraba Sierpe: a) muestra PNF, b) muestras PMP



Fuente: Bouyoucos, (1962), adaptación propia, 2016.

Nota: El punto de color negro indica el tipo de textura que tiene el suelo de las dos muestras que se recolectaron en campo.

En PNF se encontró un porcentaje similar de arenas y limos, mientras que en PMP hubo dominancia de arenas, aunque no superando el 52% (Tabla 5). Esto quiere decir que el punto PNF es un suelo con textura franca, la cual está considerado como las texturas que tienen un equilibrio y que se encuentran más estables en sus componentes con porciones parecidas entre arenas, limos y arcillas, esto favorece sus propiedades, siendo considerados buenos suelos para el desarrollo agrícola (Gisbert *et al.*, 2010). En el caso del punto PMP está entre los francos arenosos y los francos (Figura 11), lo que indica que son similares al punto anterior. Esta característica lo vuelve suelos más densos, con mayor cohesión entre sus partículas (Rucks *et al.*, 2004), lo que indica que son suelo consolidados. En cuanto a la granulometría, esta no se aplicó en estos puntos, por la mayor presencia de limos y arcillas,

lo cual vuelve inadecuado este método que es efectivo en suelos dominados por arenas, como en el caso de las barras.

En resumen, puede concluirse que las barras submarinas son sedimentos con porcentajes altos en arenas, bajos en limos y en arcillas, en las barras insulares su mayor contenido de arenas medias y finas lo que los vuelve suelos con texturas más cohesivas en comparación con las barras submarinas. En cuanto a las barras litorales, estas contienen mayores porcentajes de limos y arcillas, lo que las hace suelos más consolidados en comparación con las demás barras.

Por su parte, la planicie deltaica presenta características de suelos consolidados tanto por la presencia de limos y arcillas como de abundante cobertura vegetal. Según Barrantes y Cerda, (2015), el humedal tiene cinco diferentes texturas en sus suelos (lodos, lodos arenosos, arena, arena lodosa y arena lodo gravosa), donde los más abundantes son los sedimentos finos con un 88% (limos, arcillas y francos), así como un 12% los sustratos gruesos (arenas).

3.2. Evolución geomorfológica de las formas deposicionales del HNTS asociado a la erosión y sedimentación para 1948, 1972, 1992 y 2012

La evolución geomorfológica de las formas deposicionales de los sedimentos se aborda con un mapeo para cada año de análisis, se realiza un proceso de reconocimiento de los tipos de barras que se presentan, así como los cambios a nivel físico del delta. Todo esto con la finalidad de determinar los procesos de evolución de la planicie deltaica en el humedal.

Para cada periodo de análisis, se obtuvieron diferentes extensiones del área de estudio, por los procesos de agentes modeladores como es el agua, los sedimentos y las mareas a los que está expuesto el humedal (Zaldívar *et al.*, 2004). Para analizar la pérdida o ganancia de superficie del humedal se toman los datos del área del delta, este cálculo corresponde al terreno consolidado más los sedimentos, ya que al área total se suman otras categorías como **áreas de nubes** y zonas sin **información** que no se cuantifican, porque sesgan las cifras finales (Tabla 9).

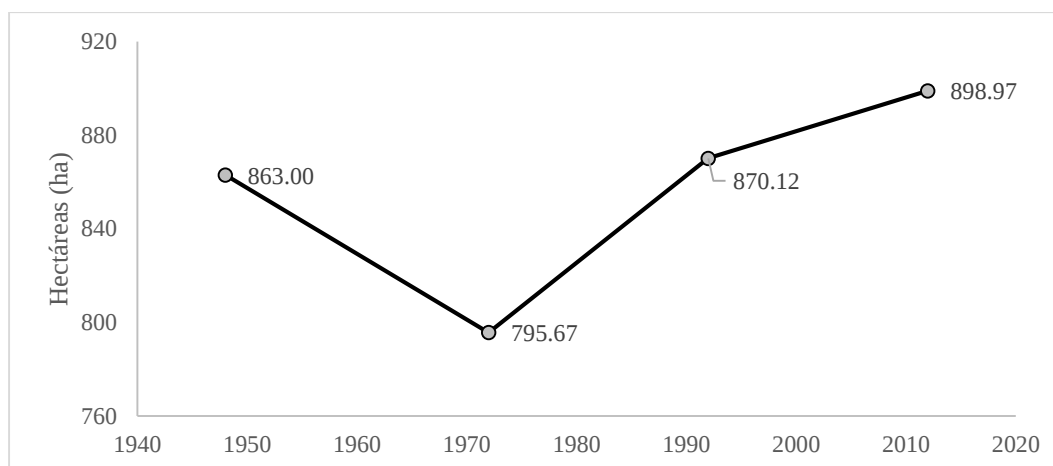
Tabla 9. Datos de extensión del terreno de la llanura deltaica en el Humedal Nacional
Térraba Sierpe para los años 1948, 1972, 1992 y 2012

Año	Área Total (ha)	Área del Delta (ha)	Comparación con la extensión (ha) del año 1948 (<i>ext. 1948 año – ext. año X</i>)	Relación de extensión con el año anterior (ha) (<i>ext. año – ext X año anterior</i>)
1948	15.446 ,12	14.583,14	-----	-----
1972	14.309,83	14.037,31	-548,83	-548,83
1992	14.500,54	13.298,66	-1284,48	-738,65
2012	14.166,59	13.911,73	-671,41	+613,07

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Se obtuvo que el año con mayor terreno fue 1948 mientras que el año con menor terreno fue 1992 (Tabla 9); aunque, se debe considerar que para este año la información es incompleta con respecto a las fotografías aéreas para el sector norte. Al comparar los datos se determinó que solamente en el periodo de 1992-2012 hubo ganancia de terreno, mientras que en los años anteriores se perdió terreno continuamente; sin embargo, al analizar por separado las barras y la planicie deltaica se encontró que las barras empiezan a aumentar su área desde 1972 alcanzando el porcentaje más alto de sedimentos en 2012 (Gráfico 1), mientras que la planicie deltaica empieza un crecimiento continuo a partir de 1992 (Gráfico 2). Es importante resaltar que, aunque hubo ganancia de terreno en el último periodo esta, no aumentó el área del humedal lo suficiente como para igualar el área de 1948 (Tabla 9).

Gráfico 1. Áreas (ha) de los tipos de barras: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el periodo de 1948 al 2012

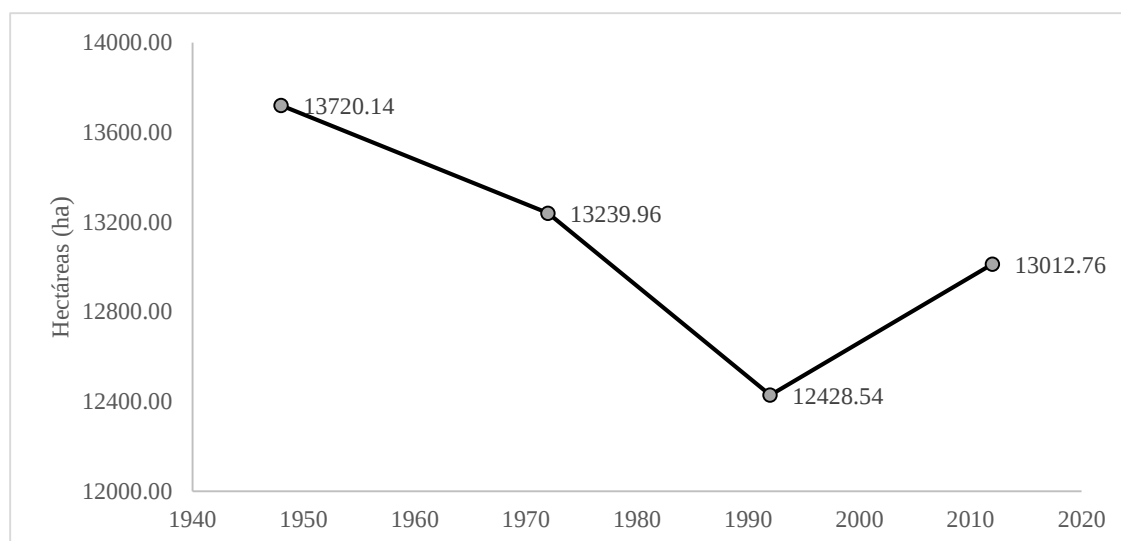


Fuente: Elaboración propia, 2015.

Para la década de 1940 la región Brunca contaba con un desarrollo agrario limitado, lo que promovió que el humedal tuviese un impacto antropogénico escaso y presentara su mejor periodo de conservación para este análisis. Esto se puede evidenciar con el hecho de que en esta época el único cultivo expansivo en la zona era el banano; sin embargo, por el poco acceso al humedal su siembra se concentró en los sectores del Pacífico Central, en cantones como Quepos (Aguirre) y Parrita, así como en el sector sur del cantón Golfito hasta el cantón de Corredores y en menor expansión en el pueblo de Sierpe, no interviniéndose el humedal (Royo, 2003).

Además para esta época otro indicador que se relaciona con el poco desarrollo agrario y también menores tasas de sedimentos, es la baja tasa demográfica que tenía la cuenca del río Grande de Térraba y Sierpe, ya que, entre los cantones de Pérez Zeledón, Buenos Aires, Coto Brus y Osa se sumaban 41 701 habitantes (Hernández, 1985), una cantidad menor a las décadas posteriores (Tabla 14). Esto favoreció que los suelos fueran menos explotados y que se conservara la cobertura boscosa, lo que ayudó a proteger los suelos ante la erosión.

Gráfico 2. Áreas (ha) de la llanura deltaica: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el periodo de 1948 al 2012



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Por otro lado, entre los procesos naturales que pueden influir en la erosión y sedimentación, en términos generales, están los factores climáticos que, según datos de Quirós y Martímnez (2015), para la década de 1940 fueron muy estables sin eventos relevantes en fenómenos ENOS entre Niño o Niña, esto se suma a los demás aspectos positivos en el equilibrio del sistema deltaico. Cabe destacar, que, aunque en estos procesos las mareas y oleaje son importantes, para 1948 hay un vacío de información.

A partir de las dinámicas antrópicas y naturales antes mencionadas que se desarrollan en la cuenca alta y media, son las que promueven los depósitos de sedimentos en los ríos, los cuales posteriormente son arrastrados mediante la red hídrica y depositados, en su mayoría en la desembocadura, asociado a otros factores de bajas intensidades de mareas y oleaje, donde los materiales sedimentarios se llegan a establecer como barras. Por esto para el año 1948 había pocas barras ya que se dieron pocos factores que favorecieran a la formación de las mismas (Tabla 10).

Tabla 10. Datos del área y porcentaje de la superficie ocupada por tipos de barras:
Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 1948

Clasificación de la tipos de sedimentos en barras, para el año 1948		
Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Barras Submarinas	236,01	27
Barras Insulares	331,78	39
Barras Litorales	295,21	34
Total	863	100

Fuente: Elaboración propia, 2015.

A pesar de que hubo pocos sedimentos para 1948, se encontró una superficie cubierta de 863 ha, siendo más abundantes las barras insulares y litorales en Boca Chiquita y Zacate (Mapa 7), lo que indica cómo se mencionó anteriormente estas barras están compuestas por sedimentos más consolidados que generan estabilidad en el sustrato; por otro lado la baja cantidad de barras submarinas indica que la cantidad de material suspendido no es abundante en el sistema (Tabla 10).

Para el caso de 1972, se da un decrecimiento del área del humedal, lo que se asocia presencia con la presencia de procesos de erosión, en algunos sectores, que ocasionan esta pérdida de material consolidado y a su vez es el año con menos sedimentos acumulados. Los mayores cúmulos se encontraban en Boca Guarumal, caso contrario se presenta hacia las bocas Brava, Chiquita y Zacate donde se da la pérdida de terreno tanto consolidado como sin consolidar (Mapa 8).

Los sedimentos para este periodo cubren un área menor que en el periodo anterior, con una pérdida de 67,33 ha. En cuanto a las barras, predominan las submarinas, lo que indica que se encuentran más sedimentos recientes sin consolidar; por otro lado, las barras insulares y litorales son las que llegan a cubrir menor área de manera similar, lo que sugiere más erosión (Tabla 11).

Tabla 11. Datos del área y porcentaje de la superficie ocupada por los tipos de barras:
Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 1972

Clasificación de la tipos de sedimentos en barras, para el año 1972		
Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Barras Submarinas	436,34	55
Barras Insulares	155,91	20
Barras Litorales	203,42	25
Total	795,67	100

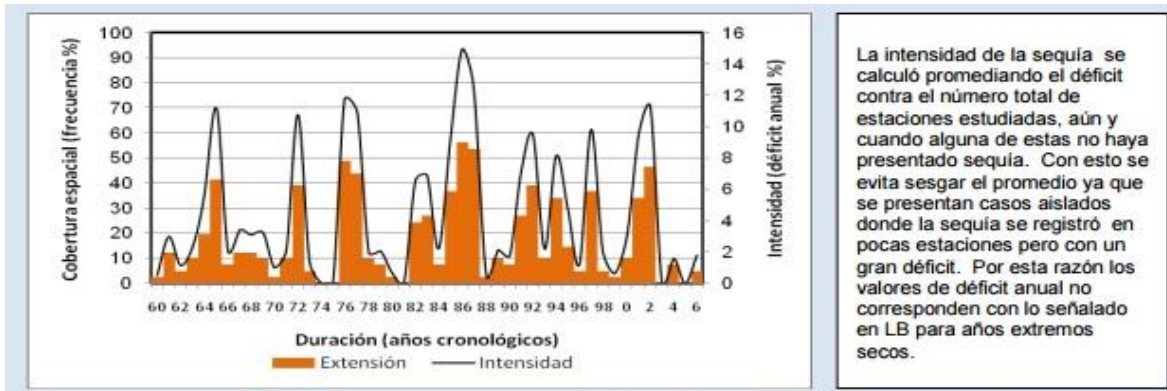
Fuente: Elaboración propia, 2015.

El crecimiento del área de las barras submarinas puede relacionarse a las primeras plantaciones de piña y palma africana en la zona sur en la década de 1960 a 1970, los cuales tienen gran influencia en el aporte de sedimentos. Además, el crecimiento de los usos de la tierra para 1973 en la región Brunca es de 1 085 ha de pastos y 3 249 ha de cultivos (Miranda, 1982), los cuales generan deforestación y con ello mayor aporte de sedimentos.

También, se debe considerar que para este periodo la población en los cantones de Pérez Zeledón, Buenos Aires, Coto Brus y Osa alcanzan 131 723 habitantes (Hernández, 1985), casi triplicándose en 20 años (Tabla 14). Este factor poblacional pudo haber jugado un rol importante en la expansión agraria y, con ello, un aumento en el aporte de material sin consolidar en el sistema deltaico.

Cabe destacar que, aunque había sedimentación, el proceso que dominó este periodo fue la erosión, lo cual puede relacionarse a procesos naturales como los climáticos por la presencia de fenómenos ENOS en categoría Niño entre 1972 y 1973, ocasionando la disminución de precipitaciones y aumento de la temperatura (IMN, 2008). Como se aprecia en la Figura 12, la intensidad y la extensión del periodo de sequía abarcaron los años desde 1960 hasta 1972 en el país, lo cual influyó en el arrastre de menos sedimentos por la red fluvial de la cuenca alta y media, así como también erosión en la planicie deltaica.

Figura 12. Intensidad y extensión de las sequías para Costa Rica entre el año 1960 a 2005



Fuente: IMN (2008).

En los siguientes 20 años (1972-1992), se da un proceso de disminución considerable del terreno asociado a dos factores, uno de ellos la falta de fotografías aéreas como se mencionó anteriormente y el otro la evidencia de procesos erosivos que causa la pérdida de superficie, principalmente en boca Zacate, Chiquita y Brava, la cual da origen a una nueva boca por los cambios litorales denominada Boca Nueva (Mapa 9).

La erosión para este periodo se asocia también a los procesos climáticos, ya que se da un proceso similar al de 1972 con la presencia de un fenómeno ENOS con la característica de Niño, donde entre 1972 a 1992 se experimenta una de las sequías más relevantes en el periodo de 1986 a 1988 como se muestra en la Figura N° 16 (IMN, 2008), acompañado de otros procesos de sequías de fuertes intensidades en los años 1973 y 1990-1993 (Quirós y Martínez, 2015).

Además, se suman los procesos costeros como las mareas a los cambios en la dinámica del delta, donde los promedios de la altura para las mareas son de 2,87 m y para los años 1992-1993 pasan a tener un máximo de 3 m (Lizano, 2015), lo cual promueve el arrastre y lavado del terreno, ocasionado también erosión de la planicie deltaica. Por lo cual se determina, que para este periodo los factores erosivos son tanto climáticos como oceánicos.

A pesar de los procesos erosivos que enfrenta el humedal en este periodo, es importante resaltar lo que expone Denny (2006), quien menciona que los ecosistemas sometidos a la erosión, también podrían mantener un proceso de depositación de sedimentos,

modificando otras áreas. Esto puede ser el caso para las bocas de Guarumal y Zacate, donde se inicia una dinámica erosiva en boca Zacate, y unos procesos de depositación en boca Guarumal. Es por esto que a pesar de la pérdida de terreno consolidado, se crean de igual forma bancos de sedimentos que representan un porcentaje importante en el humedal, con un área cubierta de 870,12 ha, con un aumento de 74,45 ha en comparación con 1972, predominando las barras litorales, seguido por las barras submarinas y con una minoría las barras insulares (Tabla 12).

Tabla 12. Datos del área y porcentaje de la superficie ocupada por los tipos de barras:
Humedal Nacional Terraba Sierpe para el año 1992

Clasificación de la tipos de sedimentos en barras, para el año 1992		
Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Barras Submarinas	301,46	35
Barras Insulares	204,20	23
Barras Litorales	364,46	42
Total	870,12	100

Fuente: Elaboración propia, 2015.

La predominancia de barras litorales para este periodo se vincula directamente a la cantidad de barras submarinas que había para 1972, las cuales se caracterizan por estar compuestas por material sin consolidar; sin embargo, mediante los procesos de colmatación y consolidación de los sedimentos, así como un aporte continuo de materiales por parte de las cuentas de aporte, estas barras logran estabilizarse en 44 años (Mapas 8 y 9). En cuanto a las barras submarinas, estas abarcan un área importante lo que se asocia también con las actividades antropogénicas en la cuenca del Terraba y del río Sierpe, que repercuten en la desembocadura del sistema deltaico. Se destaca el auge de las piñeras entre las décadas de 1980 y 1990 que generan una crisis de cambios del uso del suelo, pérdida de cobertura boscosa, uso de agroquímicos, erosión y degradación de suelo (Acuña, 2006).

A su vez, otros usos del suelo como café, caña de azúcar y pastos que se desarrollan entre Buenos Aires y Pérez Zeledón aumentaron su extensión en la década de 1970 teniendo un auge de su actividad y expansión en 1979 (Tabla 15), donde pasaron a duplicar su área y en algunos casos a triplicarla (Miranda, 1982). Estos usos de la tierra repercuten en el aporte de sedimentos para 1992 provocando un aumento considerable de material como lo señala Sánchez *et al.*, (2013), donde las dinámicas productivas que se dan en la cuenca media del río Térraba tienen consecuencias en la parte baja de la cuenca, específicamente en el HNTS.

Además la conformación de las barras submarinas se asocia con otros procesos que pueden tener relación con el aumento de material depositado, como la tala de mangle a la que estuvo expuesto el humedal en esa época, por la sobreexplotación para 1990 por parte de Coopemangle, quienes a pesar de contar con permisos incumplieron la ley que los regulaba, provocando afectaciones al ecosistema (Lahmann, 1999). Esto se justifica con el hecho de que la vegetación manglarica tiene raíces que están adaptadas a captar los sedimentos, por lo que al disminuir la vegetación el material queda expuesto a la corriente, ocasionando la conformación de las barras submarinas en la desembocadura (Denny, 2006).

Para el último periodo de análisis, se da un comportamiento de recuperación del terreno en comparación con 1992 con un crecimiento de 584,22 ha de la planicie deltaica, aumentando, asimismo, el área cubierta por sedimentos en 28,85 ha. Esto se evidencia en los sectores de boca Brava, Chiquita y Guarumal, donde hay mayor presencia de bancos de material y a su vez aumento del área, lo contrario en boca Zacate, donde su área decrece (Mapa 10).

Este aumento del terreno se asocia con la protección al HNTS, ya para estas dos últimas décadas el humedal pasa ser área protegida y se ratifica como sitio Ramsar entre 1994 a 1995 (Salas *et al.*, 2012). Dicho proceso favoreció a la protección del ecosistema mediante la disminución en la deforestación y otras actividades de presión como fue la pesca acelerada y la extracción de piangua; sin embargo, al no tenerse control en la cuenca alta y media los sedimentos originados por el cambio de uso de la tierra siguen provocando un aumento del área de las barras submarinas con respecto a las demás tipos de barras (Tabla 13).

Tabla 13. Datos del área y porcentaje de la superficie ocupada por los tipos de barras:
Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 2012

Clasificación de los tipos de sedimentos en barras, para el año 2012		
Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Barras Submarinas	499,44	56
Barras Insulares	108,64	12
Barras Litorales	290,90	32
Total	898,97	100

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Si se relacionan las variables y hechos históricos para esas dos décadas se puede identificar que continúa el aumento de cambios de uso de la tierra en la región Brunca, con un crecimiento de 91,70 ha de pastos y 12 459 ha más de cultivos permanentes en un periodo de tres años (2007-2010) (Amador y Sánchez, 2011). Además, se da una ampliación de las áreas de arroz hasta un 3% en dos años, así como un incremento del desarrollo inmobiliario del cantón de Osa en la Fila Brunqueña, donde pasaron de construir 100 infraestructuras por año a 735 esto en tres años (Cedeño *et al.*, 2010) (Tabla 14).

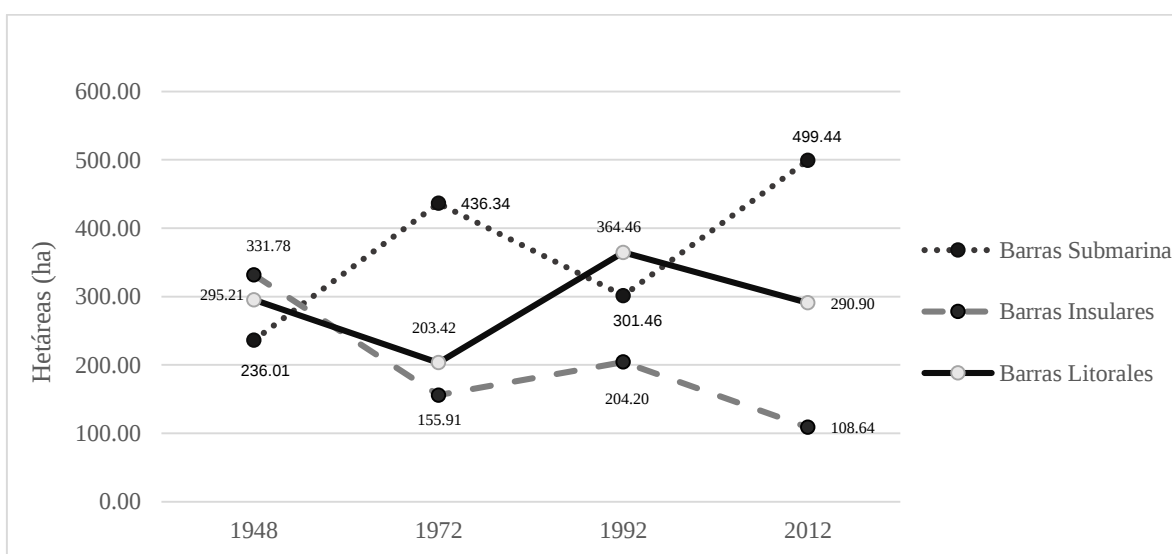
También los fenómenos naturales tuvieron influencia en este aumento de sedimentos, ya que para el periodo del análisis de estos últimos 20 años se presenta varios fenómenos relacionados con el ENOS de la categoría Niña, la cual se cataloga como la fase fría y húmeda que provoca con aumento de las lluvias. Según los datos de Centro de Predicción Climática de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA), Costa Rica se ve afectada por aumentos de lluvias en los años 1995 a 1996, así como 2000, 2001, 2005, 2006, 2008, 2009, 2012 en categoría leve y de categoría fuerte para los años 1998, 1999, 2000 y 2001 (Quirós y Martínez, 2015).

La presencia de muchos periodos de Fenómeno de la Niña generó para el 2010, que se diera un aumento de un 35% en las precipitaciones y para los años 2011 un crecimiento de un 20% únicamente para el Pacífico Sur (Quirós y Martínez, 2015). Esto influye en el

arrastré de más material de las cuencas del río Grande de Térraba y Sierpe, lo que ha provocado una mayor sedimentación en el sistema deltaico.

Por otra parte, cabe destacar que los cambios en el factor mareal antes mencionados también afectan al humedal, especialmente en los años de 1997, 1998, 2002, 2006 y 2010 (Lizano, 2015). Con estos aumentos de mareas y oleaje, se facilita que haya más material sedimentario en el sistema, que causa que los depósitos de sedimentos estén en constante movimiento mediante el arrastre y depósito en un principio como barras submarinas.

Gráfico 3. Dinámica de los tipos de barras submarinas, insulares y litorales: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el periodo de 1948 al 2012



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Por lo tanto, se puede decir que para 1948 se tiene mucho terreno consolidado y, además, se presentan valores significativos en sedimentos; sin embargo, en su mayoría son barras litorales, las cuales están ocupadas por vegetación que provoca una estabilidad en el material. En el caso de 1972, el terreno de la planicie deltaica inicia un proceso de erosión que se relaciona a procesos naturales, principalmente, climatológicos y, a su vez, se da un crecimiento de las barras submarinas que se vinculan al desarrollo agrario en la cuenca alta y media del Térraba, la cual provoca un aumento de material en suspensión en el cauce (Gráfico 3).

Para el año 1992, se pierden hectáreas de la planicie deltaica, por la falta de información, así como procesos naturales, factores climatológicos y de mareas; sin embargo, a nivel de material sedimentario logra tenerse en su mayoría barras litorales, las cuales están consolidadas. Para el año 2012 puede decirse que mediante el establecimiento de las diferentes legislaciones que resguarda al ecosistema del humedal (Tabla 15), se han visto cambios favorables en el aumento del terreno, ya que al haber más vegetación manglárica ayuda a la consolidación del terreno, además, promueve el equilibrio del sistema; sin embargo, por otra parte, el aporte significativo de sedimentos por las diferentes actividades antrópicas que se desarrollan en la cuenta alta y media hace que el humedal tenga mucho material en suspensión y sin consolidar, que si siguen un patrón de crecimiento puede perjudicar significativamente a la vegetación de mangle (Benavides *et al.*, 2015), (Gráfico 3).

Tabla 14. Recuentos actividades y hechos históricos en la región Brunca

Recuento histórico de la dinámica demográfica, agraria, de factores naturales y de la legislación ambiental en la cuenca de río Grande de Térraba y en el Humedal Nacional Térraba-Sierpe			
Variables y hechos históricos		Años	Fuentes
Datos demográficos			
AÑO	POBLACIÓN:	1950-2010	(Hernández, 1985)
1950 -----	41 701		
1963-----	75 935		
1973-----	131 723		
1984-----	168 030		(INEC, 2000 y 2011)
2000-----	233 983		
2008-----	267 172		
2011-----	247 664		
Cantones de Pérez Zeledón, Buenos Aires, Coto Brus y Osa			
Datos actividades antrópicas			

Plantación bananera: se establece desde 1930, para retirarse en 1984, alrededor de 54 años en el cantón de Osa	1930-1984	(Mora, 2007)
Cultivo de Piña: desde 1963, en 1985 es el auge de la piña y para el 2012 existe 4 000 ha de piña entre Buenos Aires y Pérez Zeledón	19 623-2012	(Cedeño <i>et al.</i> , 2010) (Acuña, 2006) (Sánchez, 2013)
Palma Africana: inicia con pequeño parches de cultivo para 1964, donde actualmente cuenta con 33 450 ha que equivale a un 67% de área cultivada de este producto en el país.	1964-2011	(Beggs y Moore 2013) (Sánchez, 2013)
Cultivo de Arroz: a partir del 2005 hubo un incremento de las áreas cultivadas de arroz al pasar de 7 a 10% en 2010 y para el 2012 se tenían 17 967,30 ha cultivadas de arroz.	2005-2012	(Cedeño <i>et al.</i> 2010) (Sánchez, 2013)
Uso agropecuario: La cuenca alta del río General (uno de los dos afluentes principales del río Grande de Térraba), para el año 1973 pasa de tener 361 ha de café (lo que equivale a 5% del territorio de la región) a tener 2 527 ha que equivale a 35%. Para el caso de la caña de azúcar, pasó de 722 ha que es un 10% a 1 083 ha que es un 15% y para pastos de 1 085 ha que es un 25% a 3 610 ha que es un 50%, esto para 1973 al 1979 para la Región Brunca	1973 – 1979	(Miranda, 1982)
Uso agropecuario: La cobertura de diferentes actividades agropecuarias para 1948 fue: pastos 238 343,5 ha, cultivos permanentes 34 761 ha. Para el año 2007 fueron de: cultivos permanentes 30 000 ha y pastos 212 300 ha, datos 2010 cultivos permanentes 42 459 ha, cultivos estacionales 12 668 ha y pasto 304 005 ha.	1983-2007-2010	(Mora <i>et al.</i> 1987) (Amador y Sánchez., 2011) (Comité Sectorial Regional

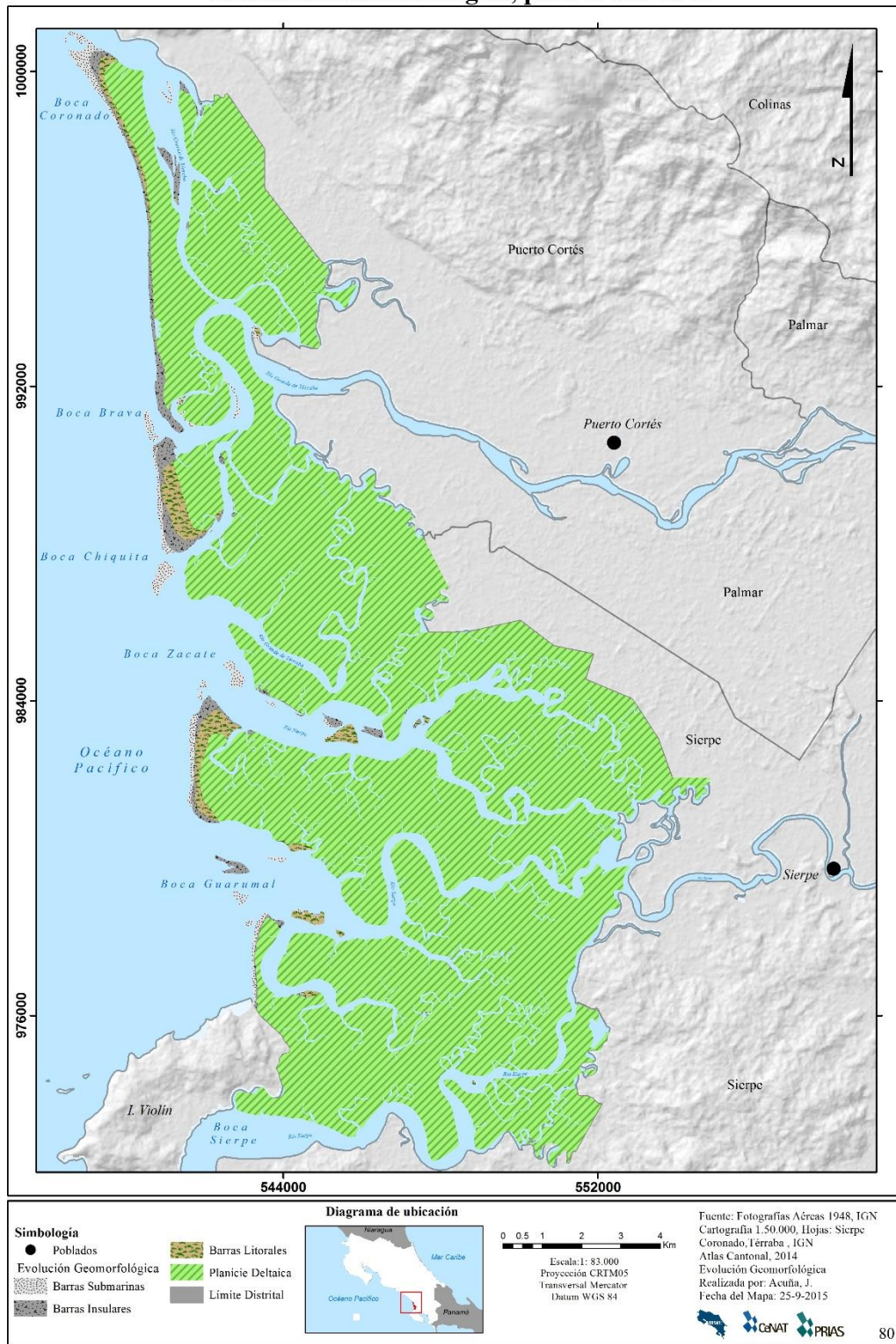
		Agropecuario Región Brunca, 2010)
Creación de Coopemangle: En 1988 nace con la intención de tener permisos para extraer los recursos del humedal de forma legal, sin embargo incumplieron los permisos y sobreexplotaron el mangle, para 1990 incumple la ley y sobreexplotan el humedal con la tala de mangle.	1988-1990	(Lahmann, 1999) (Vargas, 2007)
Incremento del desarrollo inmobiliarios de cantón de Osa en Fila Brunqueña a un 202% pasando de 100 construcciones por año a 735.	2007-2008	(Cedeño <i>et al.</i> , 2010)
Factores naturales		
Fenómenos hidrometeorológicos: ENOS (Fenómeno del Niño en los años 1965, 1972, 1976-1977, 1986-1987, 1992, 1994, 1997-1997) (Fenómeno de la Niña en los años 1973, 1998, 2007-2008)	1972-2008	(IMN, 2008) (Vallejos <i>et al.</i> , 2012)
Mareas: Los datos de la mareas pasan de tener máximas de 2,87 m, a superar los 3 m o más para los años 1993, 1997, 1998, 2002, 2006 y 2010.	1993-2012	(Lizano, 2015)
Procesos de legislación en el HNTS		
Ley de Aguas (Nº. 276) surge en 1942 : Artículo 69: Por zona marítima se entiende el espacio de las costas de la República que baña el mar en su flujo y reflujo y los terrenos inmediatos hasta la distancia de una milla, o sean mil seiscientos setenta y dos metros, contados desde la línea que marca la marea alta.	1942	(Pizarro <i>et al.</i> , 2004) (Mauri y Gonzales, 2010)
Ley de la Zona Marítima Terrestre (Nº. 6 043), que resguarda el área del humedal mediante los artículo: 1, 2, 3, 7, 9, 10 y 11	1977	(Pizarro <i>et al.</i> , 2004) (Mauri y Gonzales, 2010)

Protección del HNTS: 1977 Decreto N.º 7 210-A-Gaceta N.º 146 declaran todos los manglares del país como Reserva Forestal, en 1994 con el Decreto Ejecutivo Nº 22 993-Mirenem se declara área protegida y 1995 como sitio Ramsar.	1977-1995	(Salas <i>et al.</i> , 2012)
Ley de Conservación de la Vida Silvestre (Nº.7 317), establece en el Artículo 7º: La Dirección General de Vida Silvestre del Ministerio de Ambiente y Energía tiene las siguientes funciones en el ejercicio de su competencia: h) Administrar, supervisar y proteger los humedales. La creación y delimitación de los humedales se hará por decreto ejecutivo, según criterios técnicos.	1993	(Pizarro <i>et al.</i> , 2004) (Mauri y Gonzales, 2010)
Ley Orgánica del Ambiente (Nº. 7 554) Con esta ley se fortalece la protección de los humedales y los manglares, principalmente con los artículos No. 40, No. 41 y 45	1995	(Pizarro <i>et al.</i> , 2004) (Mauri y Gonzales, 2010)
Ley Forestal (Nº. 7 575), esta ley elimina las interpretaciones técnicas y legales sobre el aprovechamiento del recurso forestal de los ecosistemas de manglar que habían existido hasta ese momento. Considera el mangle como recurso forestal y quedan regulados bajo esta ley, de acuerdo con los artículos 1, 13, 14, 18	1996	(Pizarro <i>et al.</i> , 2004) (Mauri y Gonzales, 2010)
Convenios Internacionales: La Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (Convención Ramsar) , (Ratificado en la Ley. 7 224, del 2 de abril de 1991).	1991-1992-1974	(Pizarro <i>et al.</i> , 2004) (Mauri y Gonzales, 2010)

La Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, (Ratificado por la Ley. 7 291, del 23 de marzo de 1992). La Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (Cites), (Ratificada por la Ley 5605 del 30 de octubre de 1974).		
Otras leyes: En 1982 se instauran la Restricción de extracción de molusco Decreto Ejecutivo No. 13 375	1982-1996	(Lahmann, 1999) (Museo Nacional de Costa Rica, 2014)

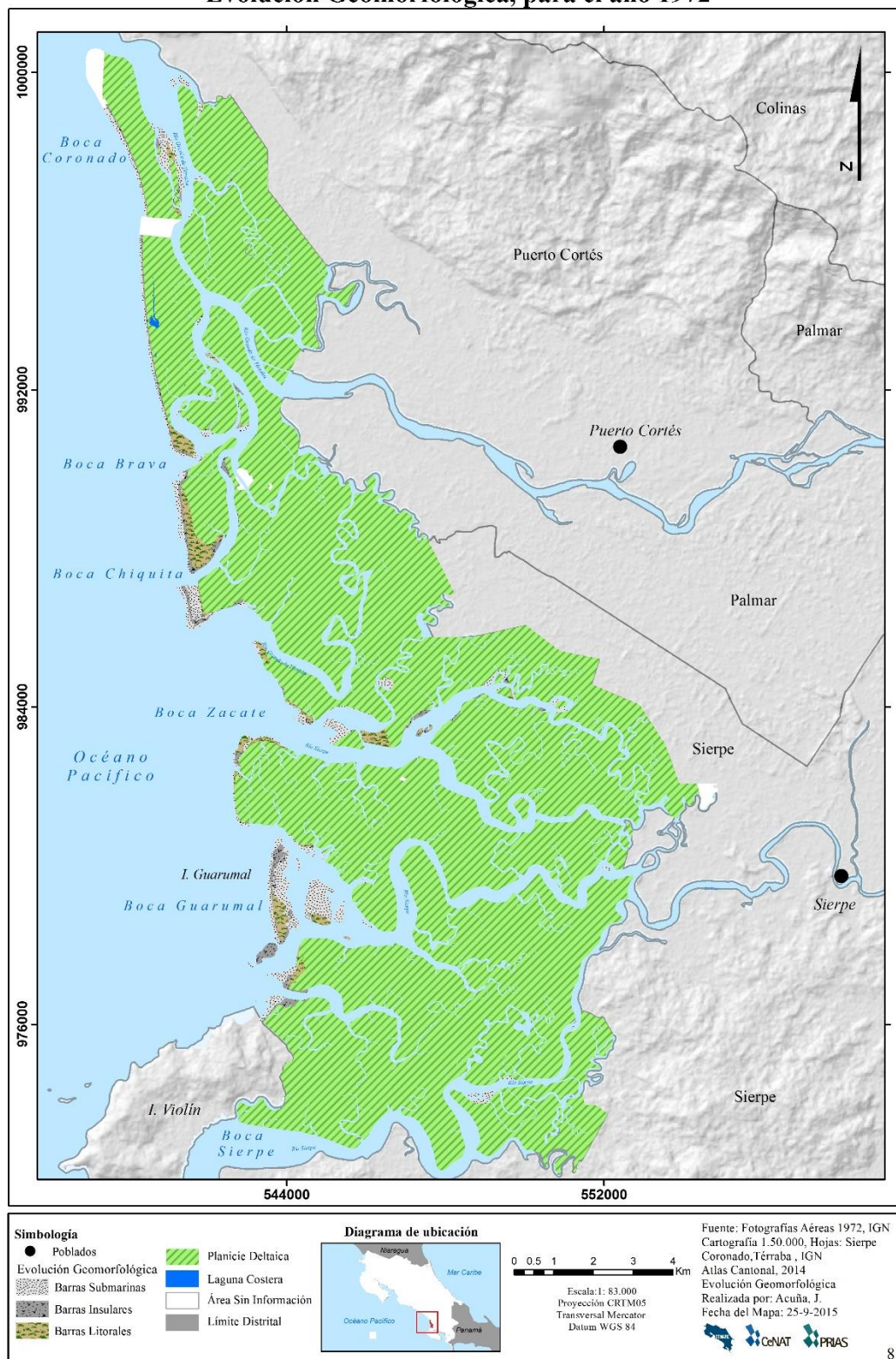
Mapa 7. Evolución Geomorfológica para el año 1948: Humedal Nacional Térraba Sierpe

**Mapa N° 7: Humedal Nacional Térraba Sierpe:
Evolución Geomorfológica, para el año 1948**



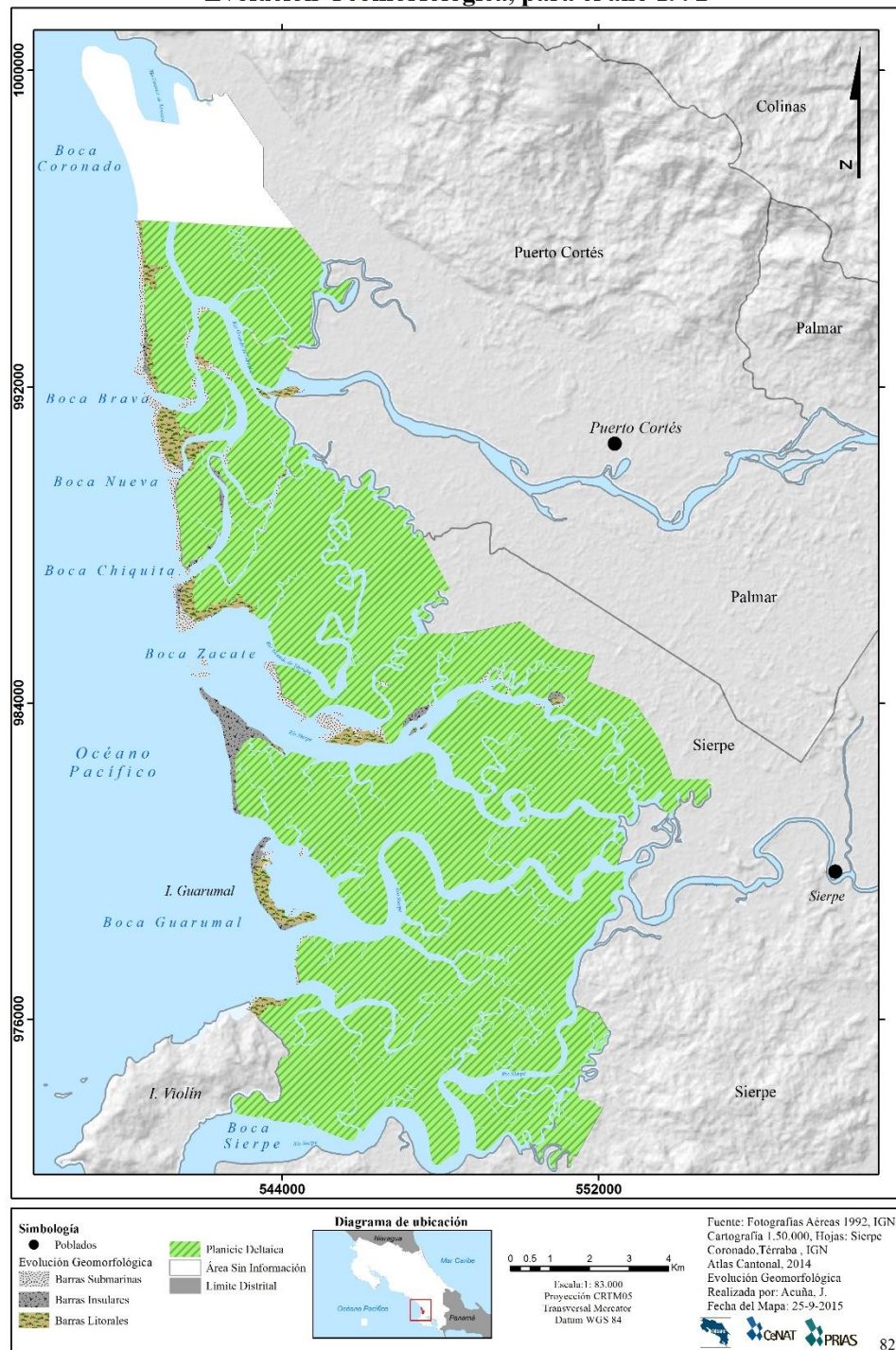
Mapa 8. Evolución Geomorfológica para el año 1972: Humedal Nacional Térraba Sierpe

Mapa N° 8: Humedal Nacional Térraba Sierpe
Evolución Geomorfológica, para el año 1972



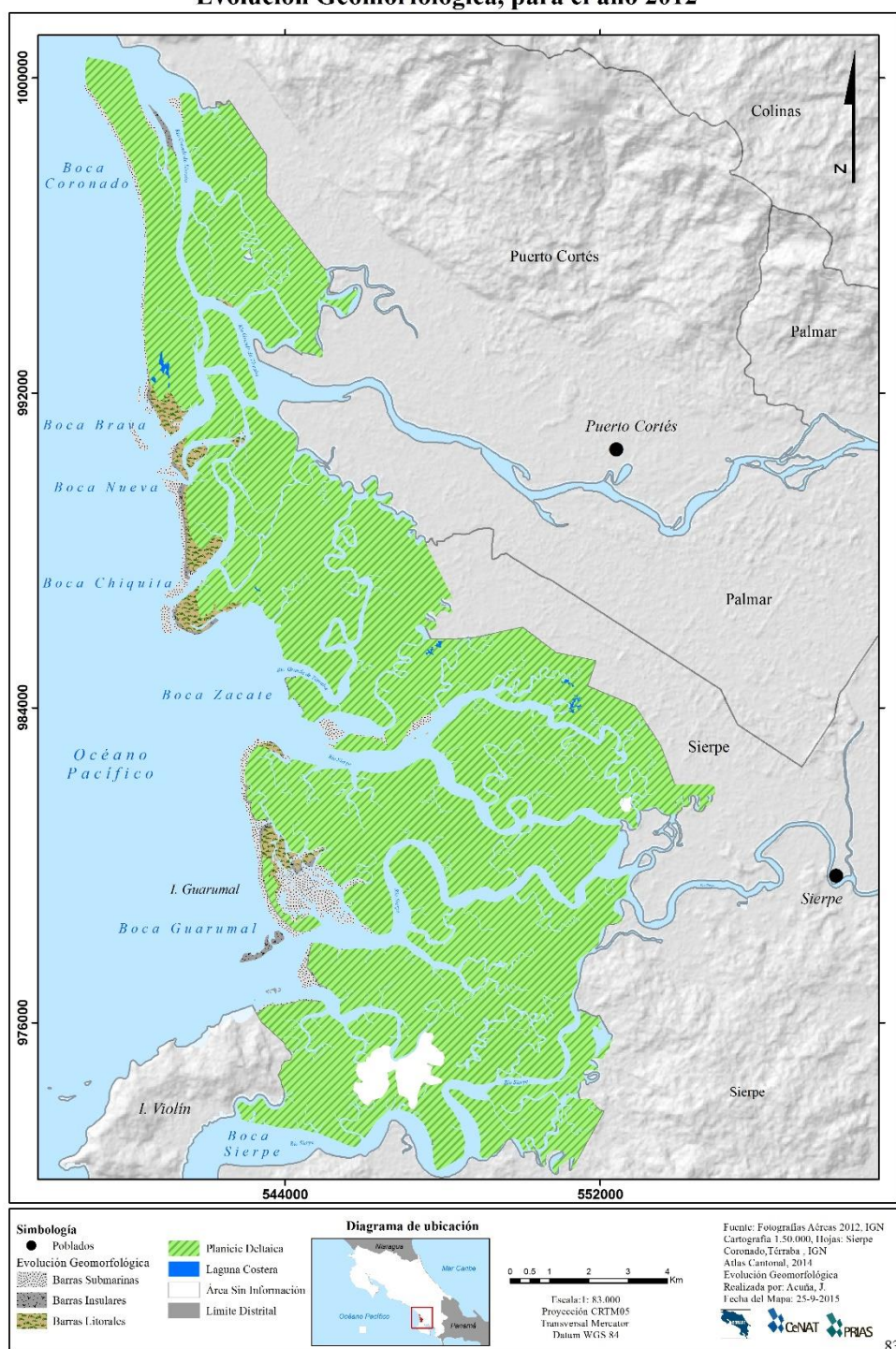
Mapa 9. Evolución Geomorfológica para el año 1992: Humedal Nacional Terraba Sierpe

Mapa N° 9: Humedal Nacional Terraba Sierpe
Evolución Geomorfológica, para el año 1992



Mapa 10. Evolución Geomorfológica para el año 2012: Humedal Nacional Térraba Sierpe

Mapa N° 10: Humedal Nacional Térraba Sierpe
Evolución Geomorfológica, para el año 2012



3.3. Análisis de la evolución geomorfológica en las bocas del Humedal Nacional Térraba – Sierpe

El HNTS con su dinámica constante ha provocado pérdida y aumento de terreno, así como también variaciones en sus sedimentos, esto ha generado diferentes formas en el cordón litoral, lo que modifica sus bocas. Por esto mediante el mapeo busca identificarse los cambios que tuvieron las desembocaduras y conocer los procesos de evolución geomorfológica experimentados durante los 64 años de estudio. Por lo tanto, se parte de caracterizar las desembocaduras de norte a sur, iniciando con boca Coronado, Brava, Chiquita, Zacate, Guarumal y Sierpe, donde las más afectadas son las que se encuentran en el centro del sistema deltaico, las cuales son Guarumal y Zacate, las menos afectadas se ubican en los extremos, Coronado y Sierpe.

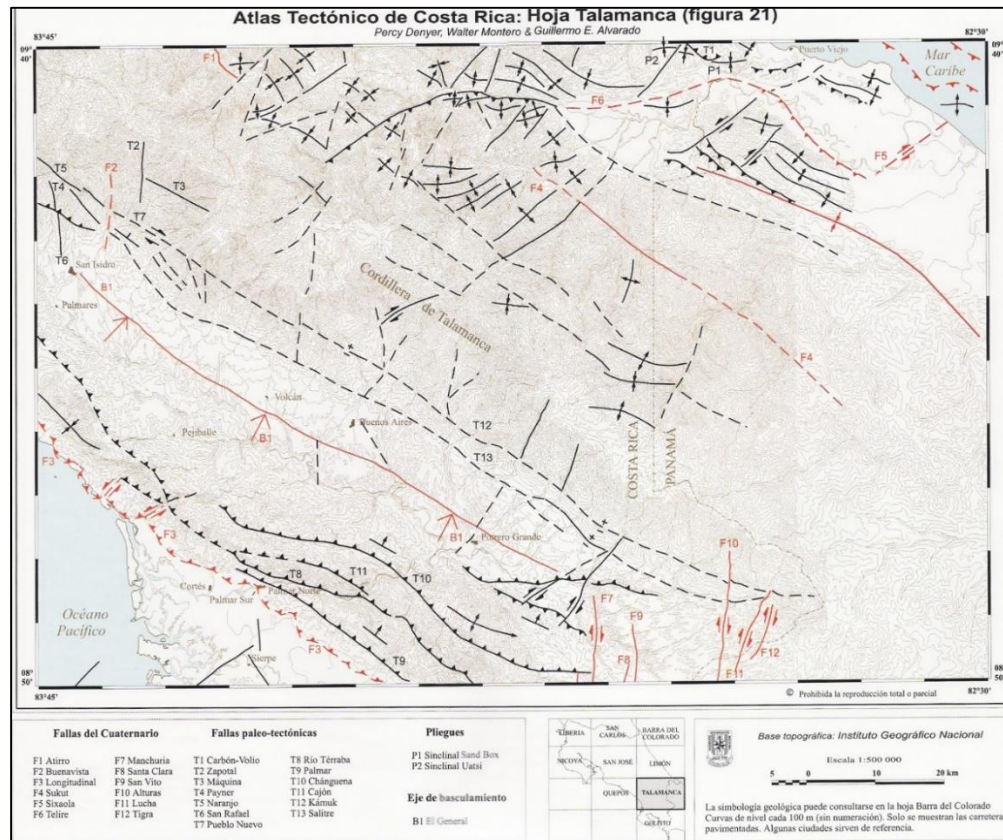
En cuanto a boca Coronado, esta ha sido una de las menos afectadas, lo cual puede estar relacionada con la formación de una flecha de arena consolidada en la desembocadura del río Grande de Térraba; esta forma acumulativa aluvial, actualmente, está cubierta por vegetación, aunque la misma no pertenece al área del humedal, por lo que no se analiza de forma detallada. Sin embargo, al lograr estabilizarse provocó que el resto del terreno se haya protegido de la acción erosiva de las corrientes y mareas que afectan al delta (Figura 14).

La formación de esta flecha de arena puede estar vinculada a un sistema de fallas que atraviesa el lugar, clasificada como falla inversa de carácter activo (Laboratorio de Ingeniería Sísmica, 2009), donde el bloque que tiene el levantamiento es el que tiene la dirección noreste y el que presenta un hundimiento es el que se encuentra en el sureste, ubicado en el humedal, lo cual ha favorecido al depósito del material (Figura 13).

En lo que concierne al proceso que ha tenido boca Coronado a nivel geomorfológico, se analiza únicamente lo que es parte del humedal donde para 1948 inicia su formación con presencia de los tres tipos de barras hacia la parte norte, con un orden secuencial de barras litorales, seguido por barras insulares, así como barras submarinas, además de algunos otros bancos de sedimentos en medio del cauce del río (Figura 14). En este caso, la barra insular es la que cubre una mayor longitud, de aproximadamente 7 km, así como un ancho que va de entre 155 m a 300 m; a continuación le siguen las barras litorales presentando una longitud

de 4,5 km y un ancho que ronda entre 50 m a 350 m y, por último, las barras submarinas con 2,5 km de longitud y 40 m a 500 m de ancho.

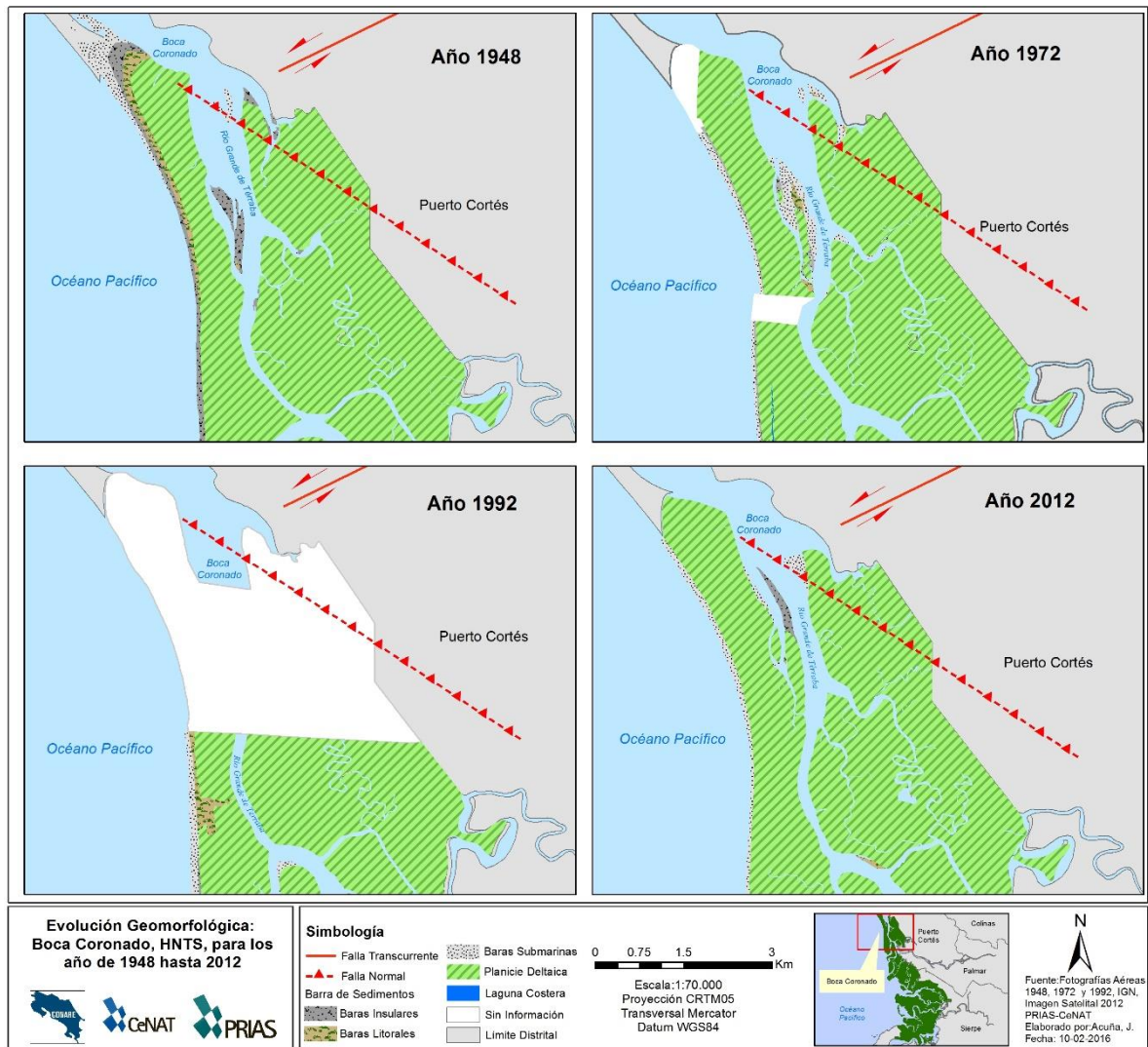
Figura 13. Sistemas de fallas que atraviesan boca Coronado en el Humedal Nacional Térraba Sierpe



Fuente: Denyer *et al.* (2003).

Para el año 1972, se presenta una mayor cantidad de barras submarinas junto con un decrecimiento de las barras litorales e insulares, lo que se traduce en más sedimentos sin consolidar, a su vez, relacionado con el auge de las actividades agrarias. En 1992, al presentarse una falta de fotografías aéreas queda un vacío de información y es hasta el 2012 cuando esos sectores con barras submarinas (que estaban hace 40 años atrás) logran consolidarse con vegetación y pasar a ser barras litorales (Figura 14).

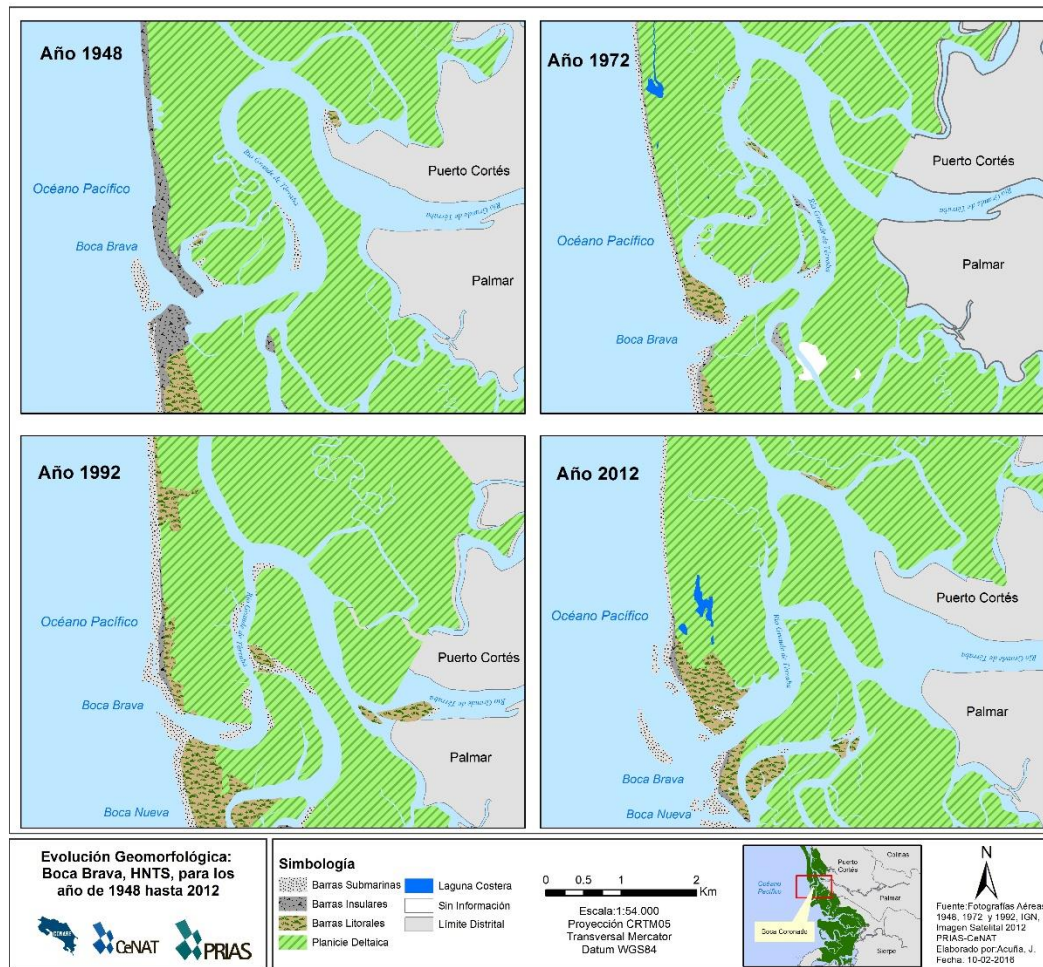
Figura 14. Proceso de evolución geomorfológica de boca Coronado para el año 1948 al 2012: Humedal Nacional Térraba Sierpe



Fuente: Elaboración propia, 2015.

De acuerdo con su localización, la segunda desembocadura por analizar es boca Brava, esta ha tenido una fuerte dinámica evolutiva a nivel de sedimentos que ha provocado varios cambios en el aspecto físico del cordón litoral. En 1948 presentaba en la parte norte de la boca un área cubierta por barras insulares de 4,2 km de longitud y un ancho que ronda entre los 100 m a los 220 m, así como también pequeños bancos de sedimentos que forman barras submarinas de carácter aislados (Figura 15).

Figura 15. Proceso de evolución geomorfológica de boca Brava para el año 1948 al 2012:
Humedal Nacional Térraba Sierpe



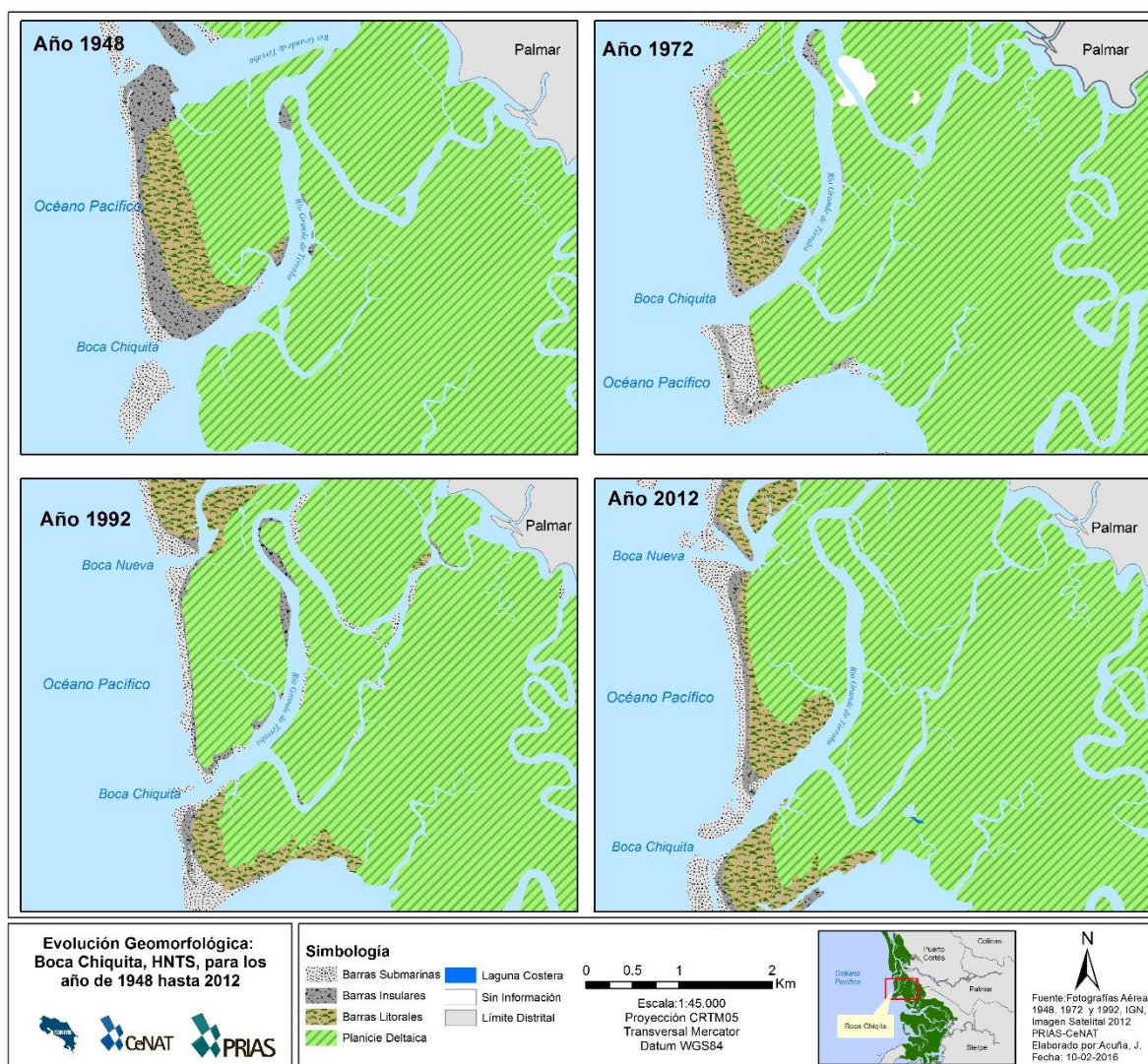
Fuente: Elaboración propia, 2015.

Para el año de 1972, se presenta erosión en la parte norte que estaba ocupada por barras insulares y estas pasan a conformar barras submarinas e insulares que no superan los 40 m de ancho aproximadamente. En cuanto al segmento sur, en este se desarrolla una dinámica igualmente erosiva, removiendo las barras litorales e insulares con una pérdida de 530 m de ancho y 1,5 km de longitud, donde pasan a ser ocupadas por barras submarinas (Figura 15).

En cuanto a 1992, la parte norte las barras submarinas e insulares logran estabilizarse hasta alcanzar una cobertura homogénea; mientras que en la parte sur el paisaje se fragmenta y se origina una nueva boca denominada como Boca Nueva por los pobladores. Finalmente,

para el 2012 la parte norte gana terreno y se conforma una pequeña laguna costera asociada a los procesos climáticos ENOS categoría Niña y en la parte sur con la apertura de la nueva boca se observa gran material acumulado predominando las barras litorales (Figura 15).

Figura 16. Proceso de evolución geomorfológica de boca Chiquita para el año 1948 al 2012: Humedal Nacional Térraba Sierpe



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Para el caso de boca Chiquita, esta tiene igualmente una dinámica fuerte, donde para 1948 se observa en el sector norte la presencia de los tres tipos de barras, predominando las barras litorales con hasta 500 m de ancho y por su parte las barras insulares con aproximadamente 4 km de longitud; en cuanto al sector sur, se da una estabilidad en el

terreno. En el caso de 1972, la parte norte es fuertemente erosionada desapareciendo casi en su totalidad las barras submarinas insulares presentes en 1948 y, por el contrario, la estabilidad que presentaba el sector sur se reduce y pasa a ser ocupada por barras submarinas e insulares, cumpliéndose lo señalado por Denny (2006) en cuanto al equilibrio del proceso erosivo.

En los siguientes 20 años (1972-1992), se da una dinámica orientada hacia la consolidación de tanto la parte sur como la parte norte, donde la parte norte ocupada por barras litorales se estabiliza y pasa a conformar terreno firme con vegetación homogénea y en el segmento sur se pasa de la presencia de barras submarinas e insulares a la formación de barras litorales (Figura 16). En el último periodo (1992-2012), se evidencian nuevamente procesos de erosión y con paisaje similar al de 1948 donde se encontraban de forma sucesivas los tres tipos de barras, aunque para este periodo su dirección está mejor definida cumpliendo el patrón de oleaje noroeste (Lizano, 2015); por otro lado, en el sector sur se da un patrón similar al de 1992 con una expansión de las barras litorales (Figura 16).

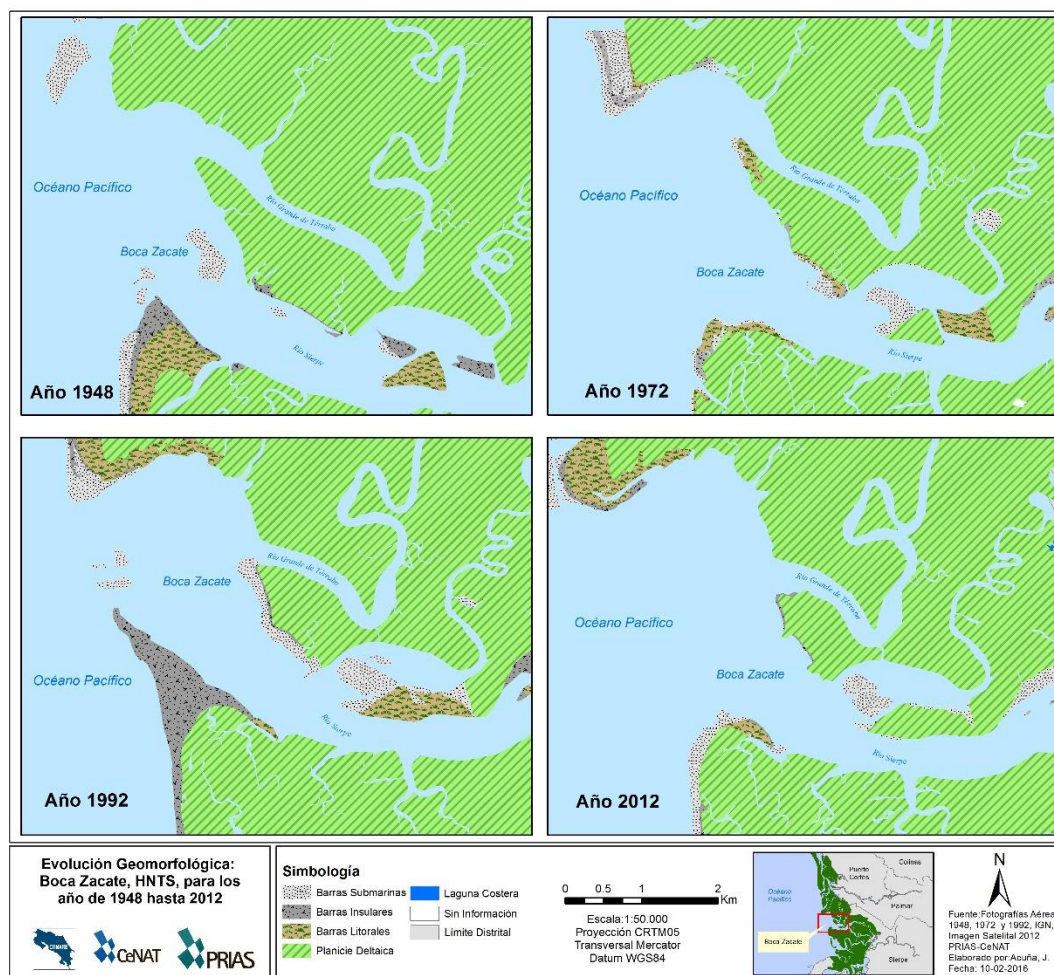
La siguiente desembocadura es boca Zacate, esta se considera como una de las más dinámicas en los 64 años de análisis, la cual tiene procesos erosivos fuertes ocasionando pérdidas de mucho terreno de la planicie deltaica. También, se puede observar que para 1948 en la parte norte se da una sedimentación aislada con los tres tipos de barras, y por el contrario en el sector sur se da una depositación significativa ocupada de igual forma por los tres tipos de barras dominado por las barras litorales con más 650 m de ancho y a nivel de longitud predominan las barras insulares con alrededor de 2 km (Figura 17).

Para el año 1972, en el sector norte se presenta una erosión rápida comparada con 1948 y a su vez cercana a la desembocadura del río Sierpe donde se encontraban los sedimentos aislados se empieza a formar una nueva barra. Por otro lado, en el sector sur tanto la barra litoral como insular se fijan y pasan a ser ocupadas por vegetación homogénea (Figura 17).

Para 1992, boca Zacate sigue una similitud con 1972 donde la erosión en el sector norte se sigue presentando y la barra sigue en proceso de consolidación con predominancia de barras litorales. Para la parte sur, el terreno consolidado aumenta, aunque se forma una

barra insular que abarca una gran superficie que sigue un patrón en dirección noroeste asociado a la trayectoria del oleaje (Lizano, 2015) (Figura 17).

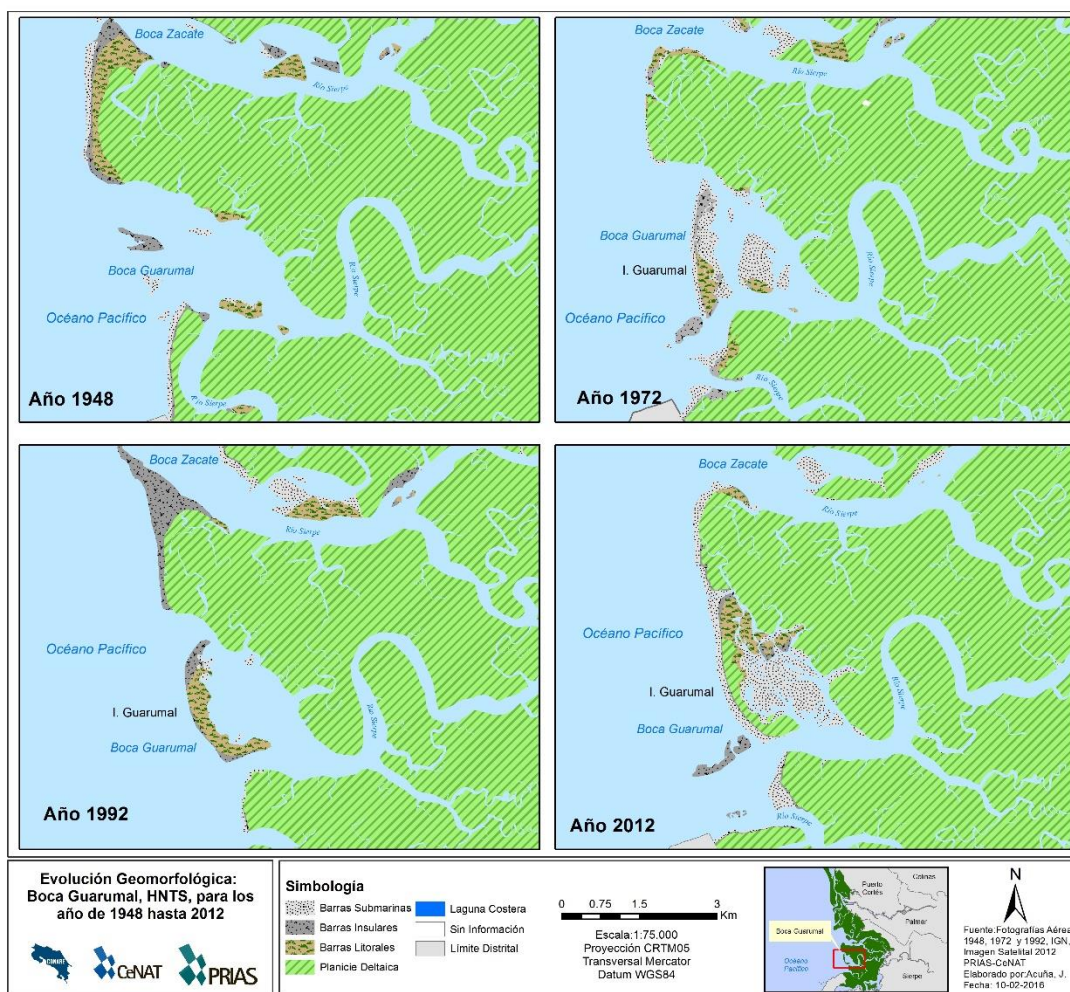
Figura 17. Proceso de evolución geomorfológica de boca Zacate para el año 1948 al 2012:
Humedal Nacional Térraba Sierpe



Fuente: Elaboración propia, 2015.

En el caso del año 2012, esta boca sigue perdiendo terreno en la parte norte y se consolida la barra cercana a la desembocadura del río Sierpe y esta pasa a tener vegetación homogénea. En cuanto al sector sur, la erosión no se da en el terreno consolidado si no en la barra insular mencionada la cual desaparece por completo (Figura 17).

Figura 18. Proceso de evolución geomorfológica de boca Guarumal para el año 1948 al 2012: Humedal Nacional Térraba Sierpe



Fuente: Elaboración propia, 2015.

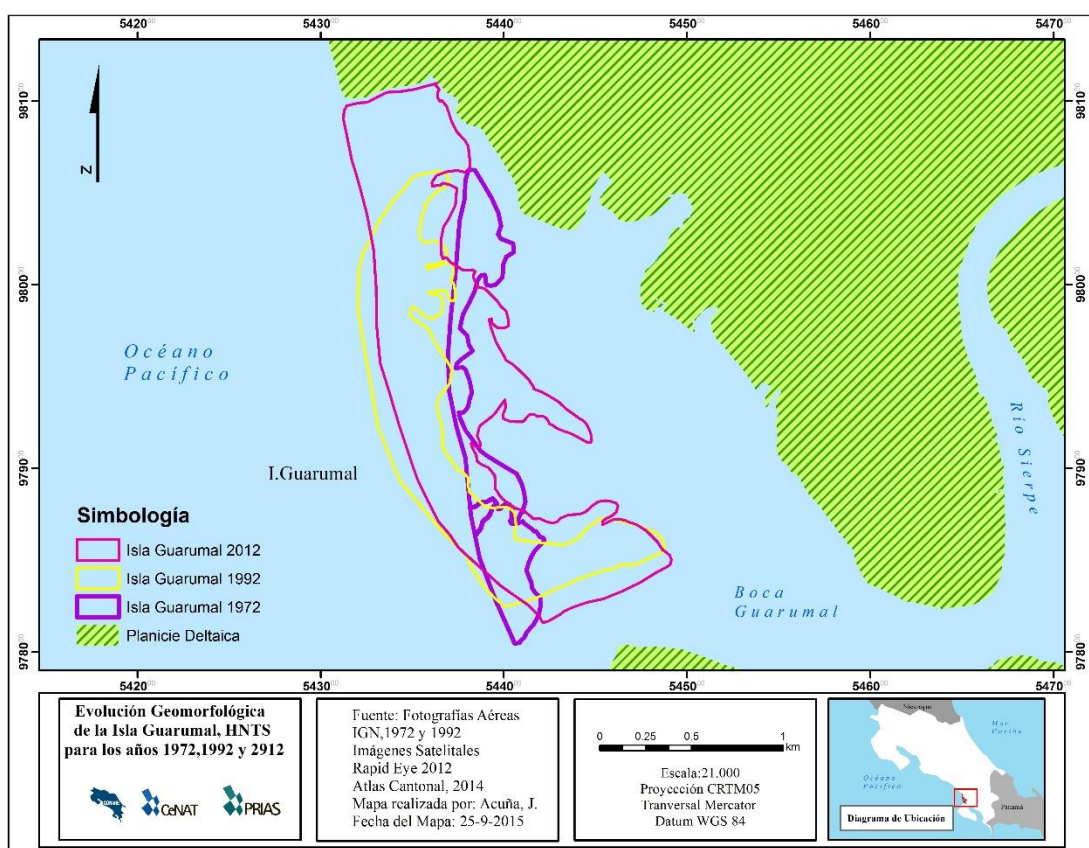
En boca Guarumal, es un caso peculiar en comparación a las otras desembocaduras, ya que en la parte norte se conforma una isla en un periodo de 40 años, donde para 1948 no existe ninguna isla si no solamente pequeños bancos de sedimentos aislados. Sin embargo, en la parte sur de la boca estaba una barra de dirección norte-sur conformada y sólida cubierta con vegetación y que funciona como barrera de sedimentos (Figura 18).

Para 1972, en el sector norte se empieza a apreciar la conformación de una isla con presencia importante de barras insulares y litorales con dirección norte sur así como barras

submarinas, sumando 120 Ha. Por su parte, el sector sur con la desaparición de la barra el resto del terreno pasa a tener depósitos de las tres diferentes barras (Figura 18).

A continuación, en 1992, en el sector norte los sedimentos que conforman la isla siguen consolidándose, aunque perdiendo área correspondiente a barras submarinas y a su vez tomando una forma arqueada con dirección noreste (Figura 19). En el caso del sector sur, esta muestra un patrón de estabilidad sin presencia significativa de barras de cualquier tipo (Figura 19).

Figura 19. Proceso de evolución geomorfológica de Isla Guarumal del año 1972 al 2012:
Humedal Nacional Térraba Sierpe

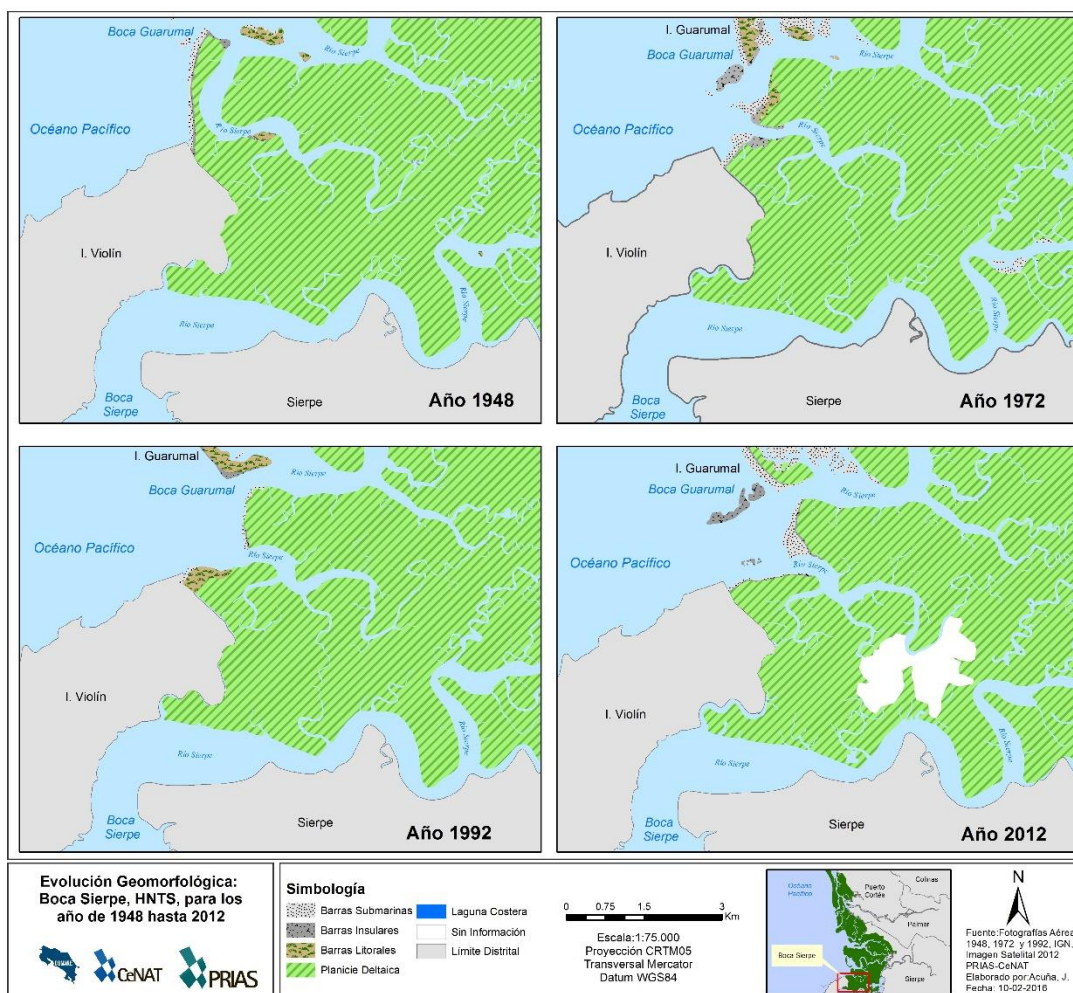


Fuente: Elaboración propia, 2015.

Finalmente, para el año 2012 el sector norte logra consolidar una isla firme con dirección noroeste denominada isla Guarumal (Figura 19), donde se aprecia vegetación homogénea en gran parte de su área, la cual alcanza 177 ha, también se observa en la isla un

fuerte depósito de barras submarinas que la conectan en marea baja con el terreno firme de la planicie deltaica, todo esto promovido por la sedimentación causada por la actividad antrópica en las cuencas que desembocan en el humedal. Para el sector sur, este se mantiene estable en cuanto a la dinámica de sedimentación.

Figura 20. Proceso de evolución geomorfológica de boca Sierpe para el año 1948 al 2012:
Humedal Nacional Térraba Sierpe



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Por último, en el análisis de boca Sierpe se determina que esta es la desembocadura más estable de las seis, sin cambios significativos en el paisaje, presentando solamente algunas pequeñas variaciones en los meandros del humedal siendo estos procesos naturales de los deltas (Figura 20).

El comportamiento estable de esta boca está relacionado con la isla Violín, que es una formación rocosa que corresponde al Cretácico con geología similar a la de la Península de Osa, y con dimensiones de 6,5 km de longitud; 3,2 km de ancho y 250 msnm de altitud. Esta isla funciona como una barrera contra las corrientes oceánicas, por lo que ha sido clave para la formación del delta Terraba-Sierpe, ya que detrás de la estructura rocosa crea un asentamiento de sedimentos (Brenes y Solano, 1993).

Por lo tanto, el humedal ha enfrentado diferentes procesos y evolución en sus bocas destacando a boca Zacate como el sistema más afectado por la erosión, así como también se resalta boca Guarumal por la formación de la isla del mismo nombre, también para boca Brava por la conformación de una nueva desembocadura conocida como boca Nueva. Por su parte, la estabilidad de boca Coronado y Sierpe son por parte de factores tectónicos y geológicos que provocan dicha consolidación. Cabe destacar que en las cinco bocas exceptuando Sierpe, se da presencia de los tres tipos de barras, así como también evidencia de erosión, esto indica la fuerte actividad del sistema deltaico Terraba-Sierpe.

CAPÍTULO IV: USO Y COBERTURA DE LA TIERRA EN EL HUMEDAL NACIONAL TÉRRABA SIERPE

El estudio hace un análisis de los cambios de cobertura y usos de la tierra en 64 años, donde se parte de aplicar técnicas de fotointerpretación y trabajo de campo para validar la información; a su vez, estos resultados se relacionan con la evolución geomorfológica para determinar qué influyó más en la pérdida de mangle, si usos de la tierra o los procesos de erosión y sedimentación; con el objetivo de conocer la dinámica que más ha modificado a este ecosistema.

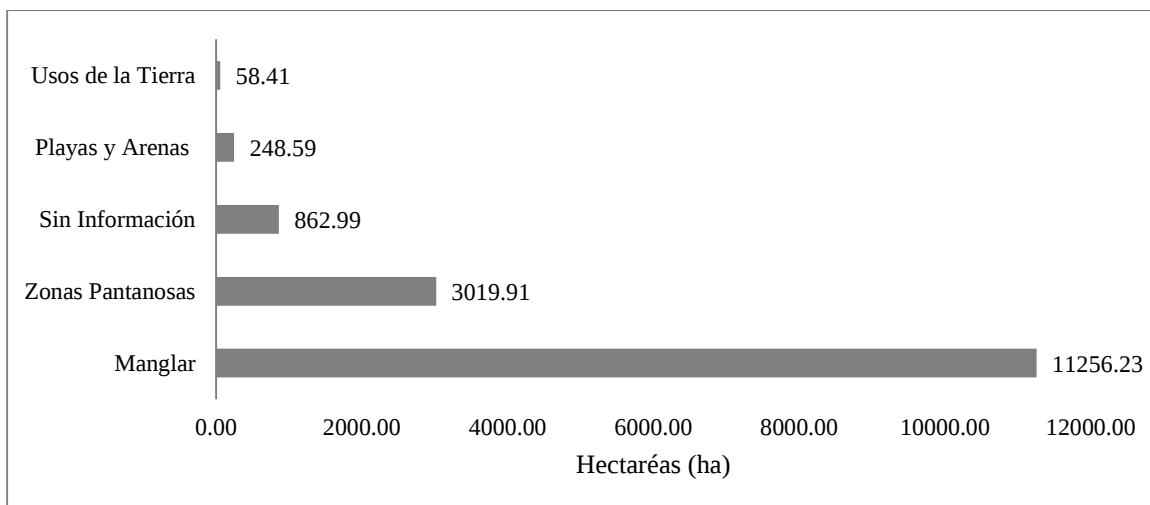
4.1. Cambios en los usos de la tierra en el Humedal Nacional Térraba – Sierpe para 1948, 1972, 1992 y 2012

Para poder determinar los procesos de cambios en la cobertura y uso de la tierra se parte de analizar los cuatro periodos de estudio que son 1948, 1972, 1992 y 2012 que abarcan un tiempo promedio de 20 años entre cada uno. Por lo tanto, las modificaciones en las coberturas de mangle están asociadas a los eventos históricos y naturales que se presentaron a lo largo de las seis décadas.

Durante los 64 años, el HNTS ha enfrentado el desarrollo de diferentes usos de la tierra; entre ellos, el cultivo de arroz, pastos con árboles y limpios, palma africana, terreno descubierto y estanques de acuicultura. Además, entre las coberturas que se identificaron están la vegetación de mangle, áreas pantanosas, arenas y playas, así como pequeños sistemas lagunares.

Se analiza a partir de 1948, que fue la época con más superficie terrestre en el humedal, donde dominaba la vegetación de mangle con 73%; seguido por las zonas pantanosas, las cuales se componen de vegetación de mangle y otras especies de plantas asociadas a humedales como negrafora (*Avicennia germinans*), caracterizadas por presentar mucha humedad y estar localizadas hacia los núcleos del ecosistema, abarcando un 19%, que al sumarse con la categoría de mangle se obtiene un 92% del terreno (Gráfico 4).

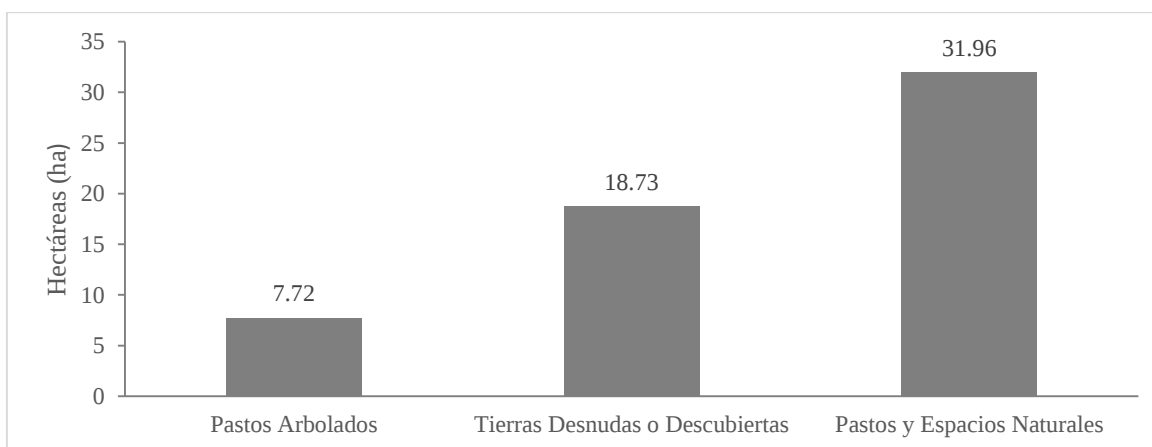
Gráfico 4. Áreas (ha) de los usos y coberturas de la tierra: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 1948



Fuente: Elaboración propia, 2015.

También, se clasifican otras coberturas como las zonas de playa y arenas que abarcan un 2% correspondiente a los diferentes tipos de barras que se clasificaron en la evolución geomorfológica. También, se estableció la categoría de áreas. Sin información que corresponde a un 6%, esta nubosidad en las fotografías aéreas provoca vacíos de información (Gráfico 4).

Gráfico 5. Áreas (ha) de los usos de la tierra: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 1948



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Para la categoría denominada como usos de la tierra que se desarrollan en el humedal; se expresan en forma conjunta en el gráfico, debido a que cubren poca extensión para 1948, entre los usos identificados están los pastos y espacios naturales, así como pastos arbolados y de terreno descubierto o degradado.

Los pastos y espacios naturales fueron los usos de la tierra con más extensión para este periodo; seguido por las áreas de terreno descubierto o degradado y con una menor cobertura los pastos arbolados (Gráfico 5). Al compararse estos datos con las demás extensiones se encuentran solamente cifras bajas; no obstante, es necesario comprender que son presiones al ecosistema; además, es necesario tomar en cuenta que para ese momento la legislación ambiental era escasa, solamente estaba la Ley de Aguas que resguardaba la zona marítima terrestre (Tabla 15); sin embargo, para el ecosistema de humedal no existía un reglamento que lo protegiera, por lo que se tenía la potestad de desarrollar cualquier tipo de actividad en el humedal.

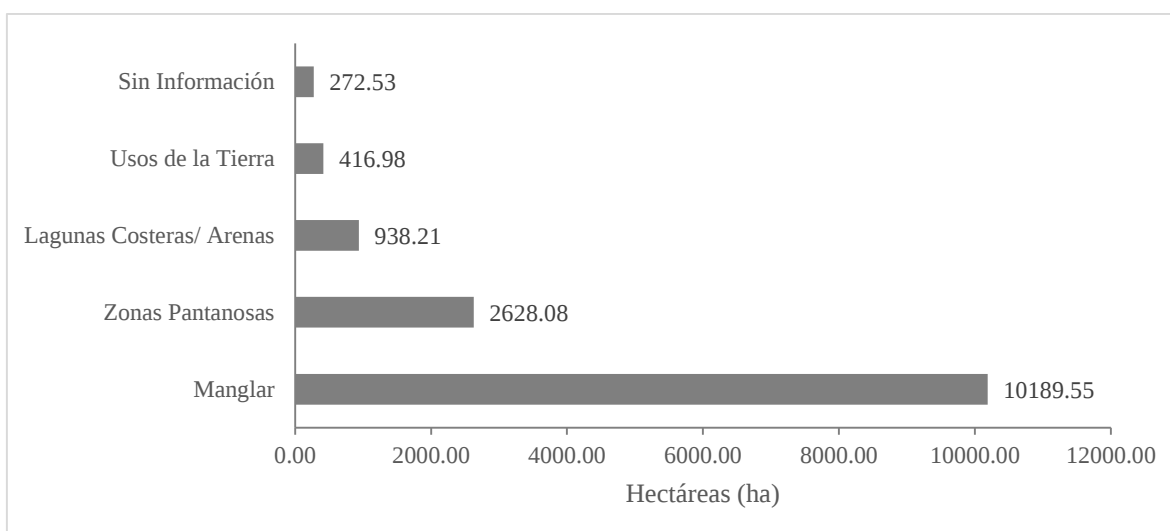
En cuanto a la distribución de los usos de la tierra, para este periodo estos se encuentran en los sectores del humedal cercanos a las comunidades del distrito de Sierpe, donde se localizan algunos parches de pastos y también se desarrollaron usos hacia la zona de boca Zacate, donde se ubican áreas de pastos con árboles y terrenos descubiertos (Mapa 11). En cifras, puede determinarse que los usos de la tierra solamente representan un 1% del área del humedal, lo cual sugiere un desarrollo incipiente de las actividades agropecuarias.

Además para esta época las actividades económicas se basaban en una limitada agricultura de subsistencia de cultivo de granos básicos, árboles frutales, la cría de animales (aves de corral, cerdos y ganado vacuno), la caza y la pesca (Royo, 2003). También, la falta de accesibilidad para llegar al humedal dificultaba el asentamiento y desarrollo agrario.

Después de 24 años, la situación en la cobertura de la tierra en el humedal cambia y la vegetación de mangle pasa a representar un 71%, con una disminución de 1 068 ha en comparación con 1948. También, se da un decrecimiento de las zonas pantanosas, ya que pasan a cubrir un 18% del terreno, que se traduce en una pérdida de 391,83 ha con respecto a 1948; por lo tanto, el total de superficie ocupada por la vegetación manglarica es de un 89% del área del humedal (Gráfico 6). Entre los factores que influyeron en la pérdida de mangle se señalan los procesos morfológicos en relación a la dinámica erosiva, ya que el humedal

pierde gran parte de su terreno en sectores como boca Zacate, boca Brava y boca Chiquita, que se ven afectados por el lavado de material, donde gran parte del terreno erosionado está cubierto de vegetación.

Gráfico 6. Áreas (ha) de los usos y coberturas de la tierra: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 1972



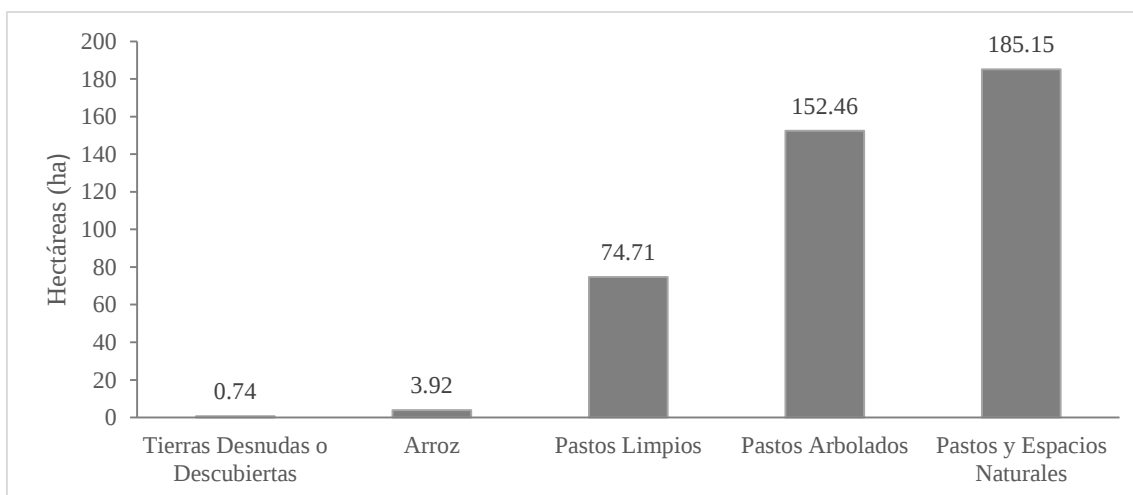
Fuente: Elaboración propia, 2015.

Por otra parte, los usos de la tierra como son el arroz, los pastos limpios y arbolados, espacios naturales, así como también las tierras desnudas o degradadas abarcan una mayor área, lo cual fue otro factor incidente en la pérdida de cobertura de mangle, ya que aumentó en 358,58 ha con respecto a 1948 (Gráfico 7), lo que equivale a un 3% del área. Esto se relaciona al establecimiento de nuevos cultivos como el arroz y pastos limpios dentro del humedal, así como al crecimiento de los usos de la tierra que ya estaban establecidos en 1948, los cuales eran pastos con árboles, zonas con espacios naturales, así como tierras desnudas o degradadas (Mapa 11).

No obstante, el crecimiento del uso de la tierra antes mencionado que se desarrolla en este periodo va vinculado al crecimiento poblacional que se da en el cantón de Osa, el cual se atribuye a los procesos históricos en los cuales se destacan el establecimiento de varias plantaciones de monocultivos como banano, así como las primeras plantaciones de piña y de

palma aceitera en el año 1964 (Cedeño *et al.*, 2010), que fueron impulsoras de población debido a las fuentes de empleo que generó en esa época para el país.

Gráfico 7. Áreas (ha) de los usos de la tierra: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 1972



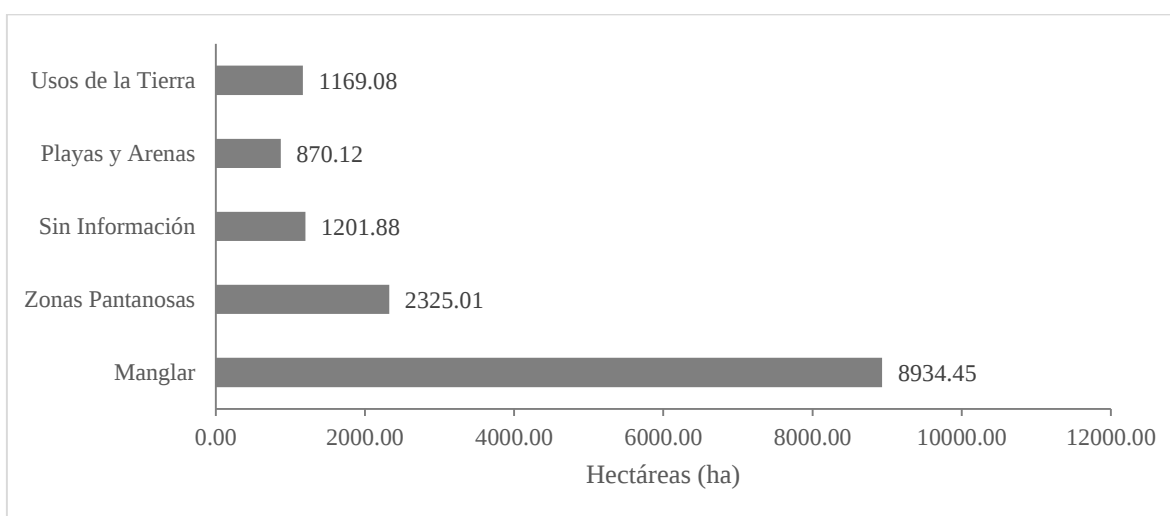
Fuente: Elaboración propia, 2015.

En cuanto a la distribución de los usos de la tierra estos se dan en el distrito de Sierpe y Puerto Cortés con el desarrollo de plantaciones de arroz cerca del límite del humedal y con algunos sectores sobrepasando lo que actualmente es el área protegida del humedal. Por otra parte, los pastos limpios ocupan un área considerable ubicada en comunidades como Cantarana y otros sectores del distrito de Sierpe cercano al manglar. Además, en los poblados de boca Brava y boca Chiquita se aprecian otros usos como espacios naturales y terrenos degradados (Mapa 12)

Asimismo, el proceso de expansión de los usos de la tierra y la disminución de mangle se siguió presentando para el año 1992, donde crecen las áreas de los espacios naturales, pastos limpios y con árboles, cultivo de arroz; además se da el desarrollo de una nueva actividad, la cual fue el establecimiento de estanques de acuicultura. Esto provocó que la vegetación de mangle pasara a ocupar un 62% del humedal, esto indica que se perdió un 9% de superficie manglárica en comparación con 1972. Para el caso de las zonas pantanosas, representó un 16% del terreno, que entre ambas clases se traduce en un 72% de vegetación manglárica (Gráfico 8).

En el caso de los usos de la tierra para 1992, las plantaciones de arroz tuvieron un incremento de 20 ha, los pastos limpios aumentan 142,45 ha, por su parte los estanques de acuicultura que es el nuevo uso establecido ocupó un área de 128, 02 ha (Grafico 9). También, es importante señalar que las tierras desnudas o degradadas tuvieron un crecimiento de 30 ha, que está relacionado con la deforestación acelerada de mangle entre los años de 1988-1990, mediante el cual se obtenía carbón y tinta para taninos (Vargas, 2007).

Gráfico 8. Áreas (ha) de los usos y coberturas de la tierra: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 1992



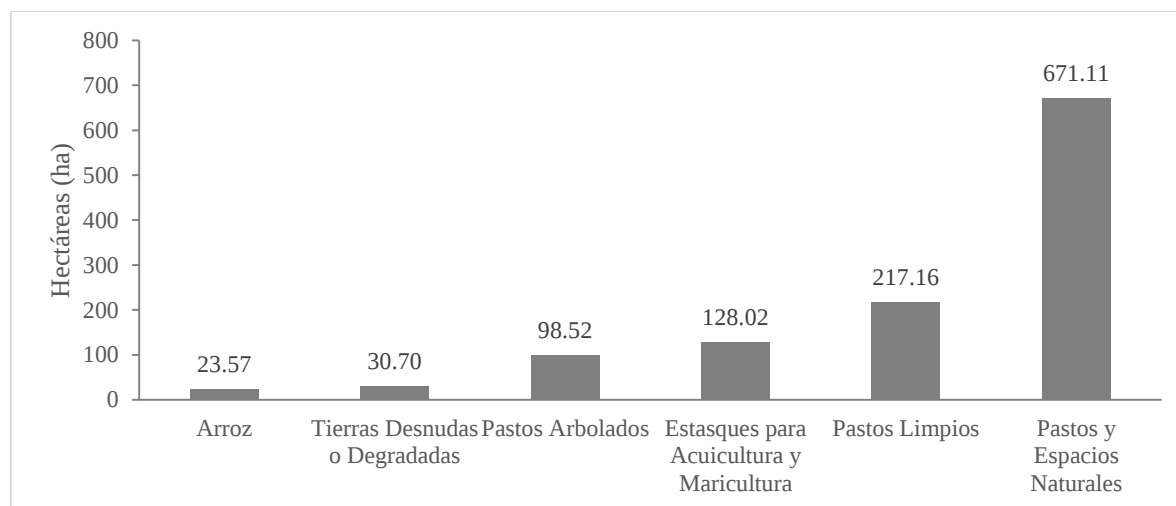
Fuente: Elaboración propia, 2015.

Por otra parte, toman una importante relevancia distintos procesos históricos que se presentaron en el cantón de Osa, como fue la partida de la compañía bananera en 1984; proceso que gran parte de los habitantes se quedaron sin trabajo, esto generó que se dieran nuevas actividades económicas entre ellas surge la explotación de la madera de mangle para sus diferentes usos, así como el incremento de fincas en todo el cantón de Osa, donde en su mayoría fueron terrenos de pequeñas extensiones y que se utilizaron para pastos (Royo, 2009).

A este contexto histórico en el cantón de Osa, se le suman los procesos de parcelamiento que se dio en los terrenos del humedal, porque el Instituto de Desarrollo Agrario (IDA) otorgó espacios para cultivar dentro del humedal únicamente; sin embargo,

no existió ninguna regulación de lo que se realizaba en las parcelas y las personas fueron llegando a habitar la zona, esto ocasionó que se dejara a un lado el objetivo con el que se les entregaron las tierras; no obstante, esto respondiendo a las necesidades de tener un espacio donde habitar y realizar sus actividades sociales y económicas (Cedeño *et al.*, 2010).

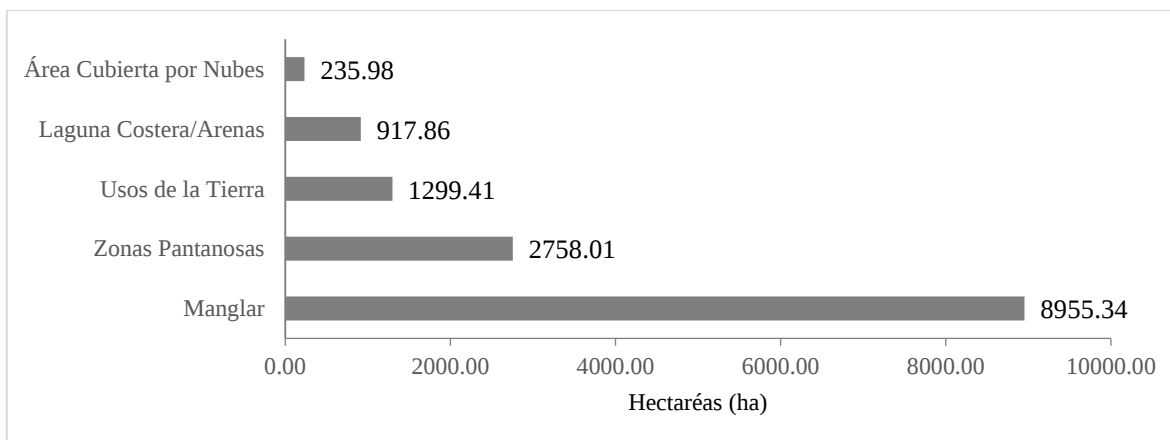
Gráfico 9. Áreas (ha) de los usos de la tierra: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 1992



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Después de la intensa actividad y crecimiento de los distintos usos de la tierra en los años noventa, la situación empieza a cambiar, ya para el último periodo de análisis que es el año 2012, se da aumento de 20 ha de cobertura de mangle, así como 433 ha de zonas pantanosas. Esto se relaciona a diferentes eventos históricos que favorecieron a la protección del ecosistema como fue la declaración de área silvestre protegida en la categoría de sitio humedal en el año 1994, también le otorgan sitio Ramsar en 1995 (Salas *et al.*, 2012), además surge la Ley Orgánica del Ambiente (N° 7554), donde se fortalece la protección de los humedal, así como la Ley Forestal (N° 7575), la cual establece que debe eliminarse el aprovechamiento del recurso forestal de los ecosistemas de manglar que habían existido hasta ese momento (Pizarro *et al.*, 2004), entre otros convenios internacionales (Tabla 14).

Gráfico 10. Áreas (ha) de los usos y coberturas de la tierra: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 2012



Fuente: Elaboración propia, 2015.

De manera paralela los procesos de evolución geomorfológica favorecieron este aumento de cobertura manglárica, ya que la planicie deltaica crece 613,07 ha, lo cual ayuda a que se dé una nueva colonización de manglar. Por otro lado, algunas instituciones como es el caso de la Universidad de Costa Rica (UCR), han realizado capacitaciones a la población del humedal para que se incentiven a realizar campañas de reforestación y donde en el año 2012 al 2013, se dio la siembra de tres especies de mangle en boca Guarumal (Fórester y Arroyo, 2014), siendo esta actividad una de las razones del incremento cobertura manglárica en el HNTS.

Otro factor que ayudó al incremento en la cobertura de mangle, es la disminución del área ocupada por algunos usos de la tierra, como es el caso de la categoría de terrenos desnudos o degradados, que pasan de 30 ha en 1992 a tener 1, 18 ha para 2012 (Gráfico 11). No obstante, los demás usos tienen tendencia a crecer, aunque de forma menos expansiva en comparación a las décadas pasadas.

Figura 21. Cultivo de palma aceitera dentro del límite del Humedal Nacional Térraba Sierpe



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Para esta época se implementa el monocultivo de palma aceitera dentro del humedal (Figura 21) ubicado en él, distrito de Sierpe (Mapa 10). Para el caso de los pastos arbolados, estos aumentan en 5, 66 ha, donde la especie predominante es la palmera de coco (*Cocos nucifera*) (Figura 26); para la categoría de pastos limpios, esta crece 26, 73 ha y se distribuyen en los distritos de Sierpe, Palmar y Puerto Cortés (Mapa 15). Por otro lado, el cultivo de arroz también se expande en 32,63 ha; y en cuanto a la producción acuícola, esta tuvo un crecimiento de 135,24 ha en relación con 1992 (Gráfico 11).

Como se denota en la distribución antes mencionada de los usos de la tierra, estos se localiza principalmente cercanos a poblados como el de Sierpe y Puerto Cortes, los cuales se ubican cerca del humedal. También, se encuentran comunidades como Ajuntaderas, Cantarrana, boca Chiquita y boca Brava localizadas dentro del área protegida del manglar con cultivos como arroz, pastos limpios y arbolados (Mapa 14). Por otro lado, en los sectores de Isla Guarumal y boca Coronado los terrenos están cubiertos por vegetación que no es parte de la cobertura manglárica, pero se asocian a las condiciones de formaciones de terrenos recientes, así como la influencia del ser humano no permite la colonización de mangle.

Figura 22. Humedal Nacional Terraba Sierpe: a) y b) Cultivo de pastos con árboles

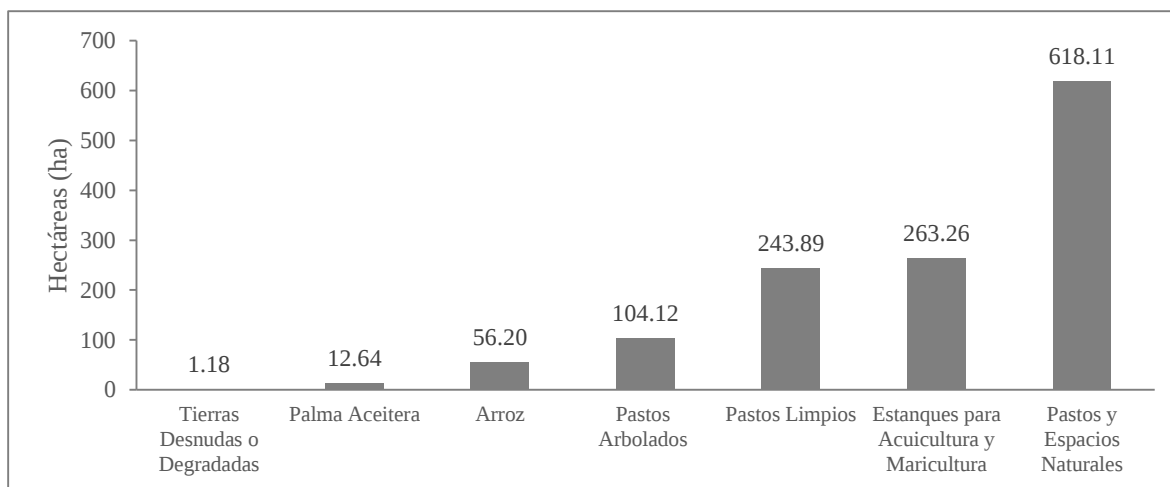


Fuente: Elaboración propia, 2016

Dentro de las comunidades mencionadas, el plan de manejo las denomina como zona seminatural; esta categoría permite que permanezcan los usos de la tierra que ya estaban, así como el desarrollo de la actividad turística y la pesca. Sin embargo, el plan de manejo propone la reducción de áreas con otros usos no naturales, así como también la recuperación del humedal con prácticas de reforestación y amigables con el medio ambiente (Vargas, 2013), aunque al aumento del área de los usos de la tierra indica que no se está respetando lo estipulado, porque existían 100 familias que se encontraban en el humedal para el año 2000, que se caracterizaban por un índice económico bajo y dependencia absoluta de los recursos del ecosistema (Vargas, 2007).

Según Royo (2009), el distrito de Sierpe es el que más territorio tiene ocupado por áreas protegidas, con un 57,15% del terreno dentro de esta categoría, por lo que la población se ve limitada en el desarrollo de actividades económicas y dependen de los espacios donde tienen sus fincas, las cuales siguen explotando activamente. Además, existen otras presiones que, actualmente, influyen sobre el humedal, como es la Carretera Costanera Sur concluida en 2009, lo que provoca mayor accesibilidad y se facilita la expansión agrícola, así como la actividad turística en el HNTS (Honey *et al.*, 2010).

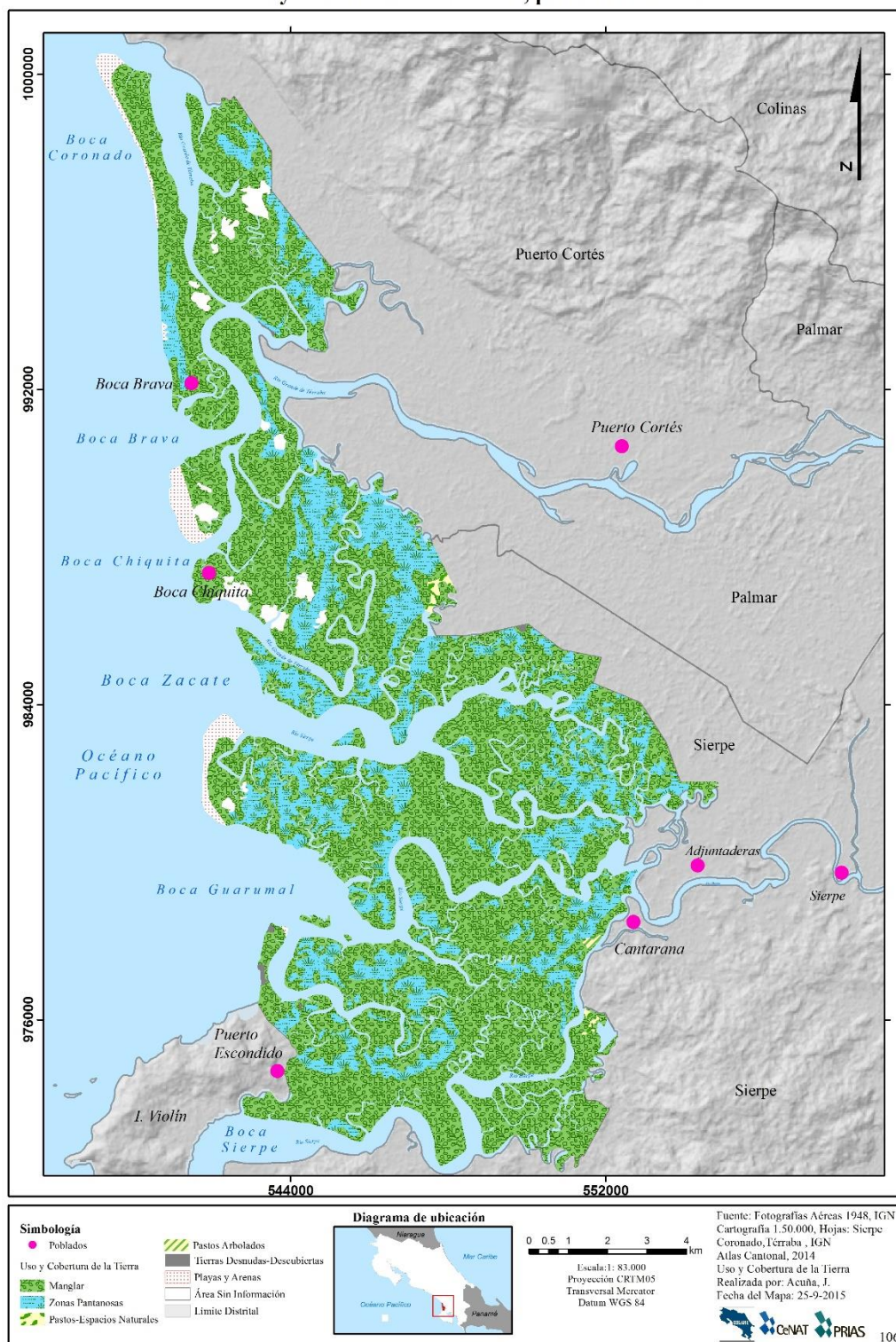
Gráfico 11. Áreas (ha) de los usos de la tierra: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 2012



Fuente: Elaboración propia, 2015.

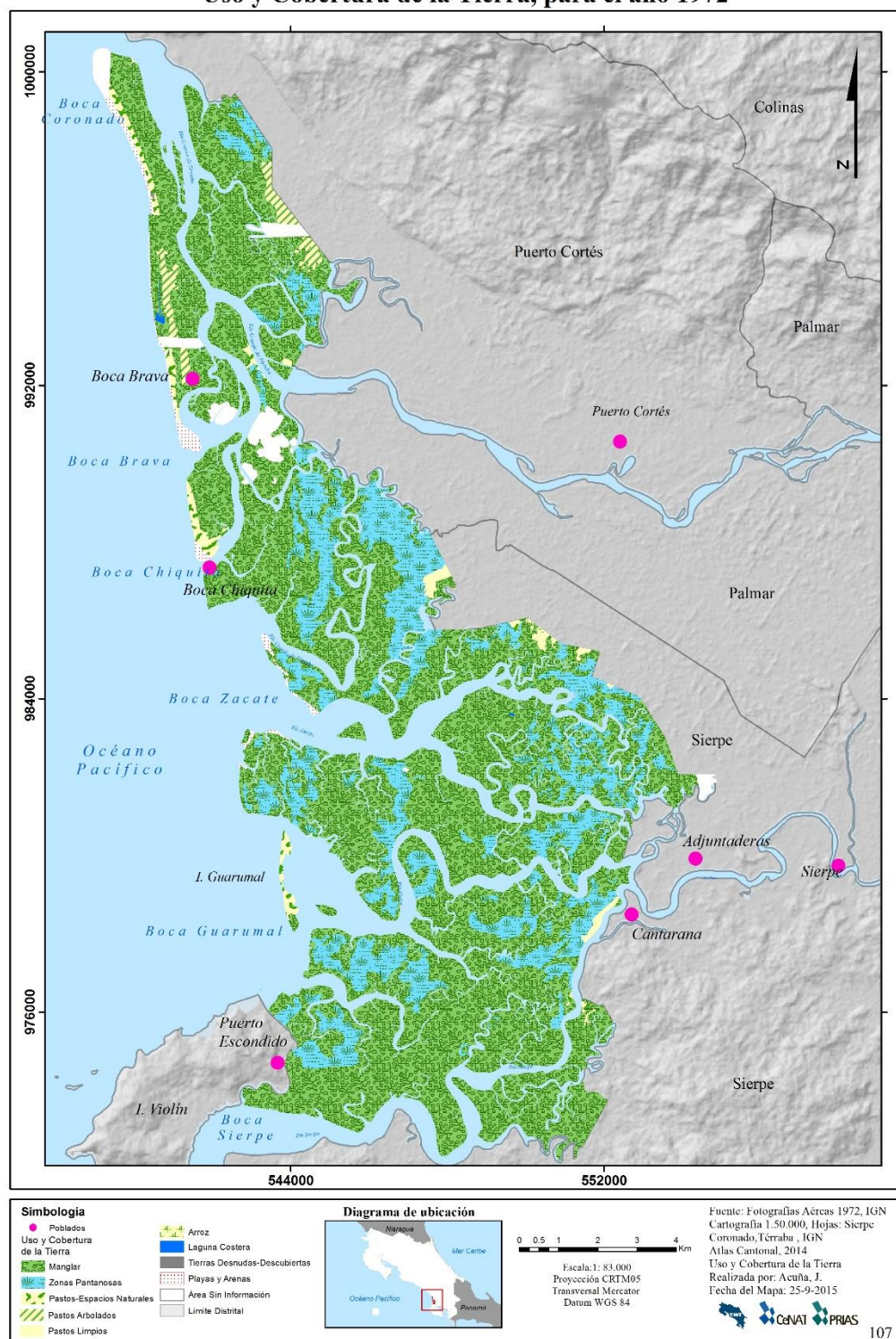
Mapa 11. Uso y Cobertura de la Tierra para el año 1948: Humedal Nacional Térraba Sierpe

Mapa N° 11: Humedal Nacional Térraba Sierpe
Uso y Cobertura de la Tierra, para el año 1948



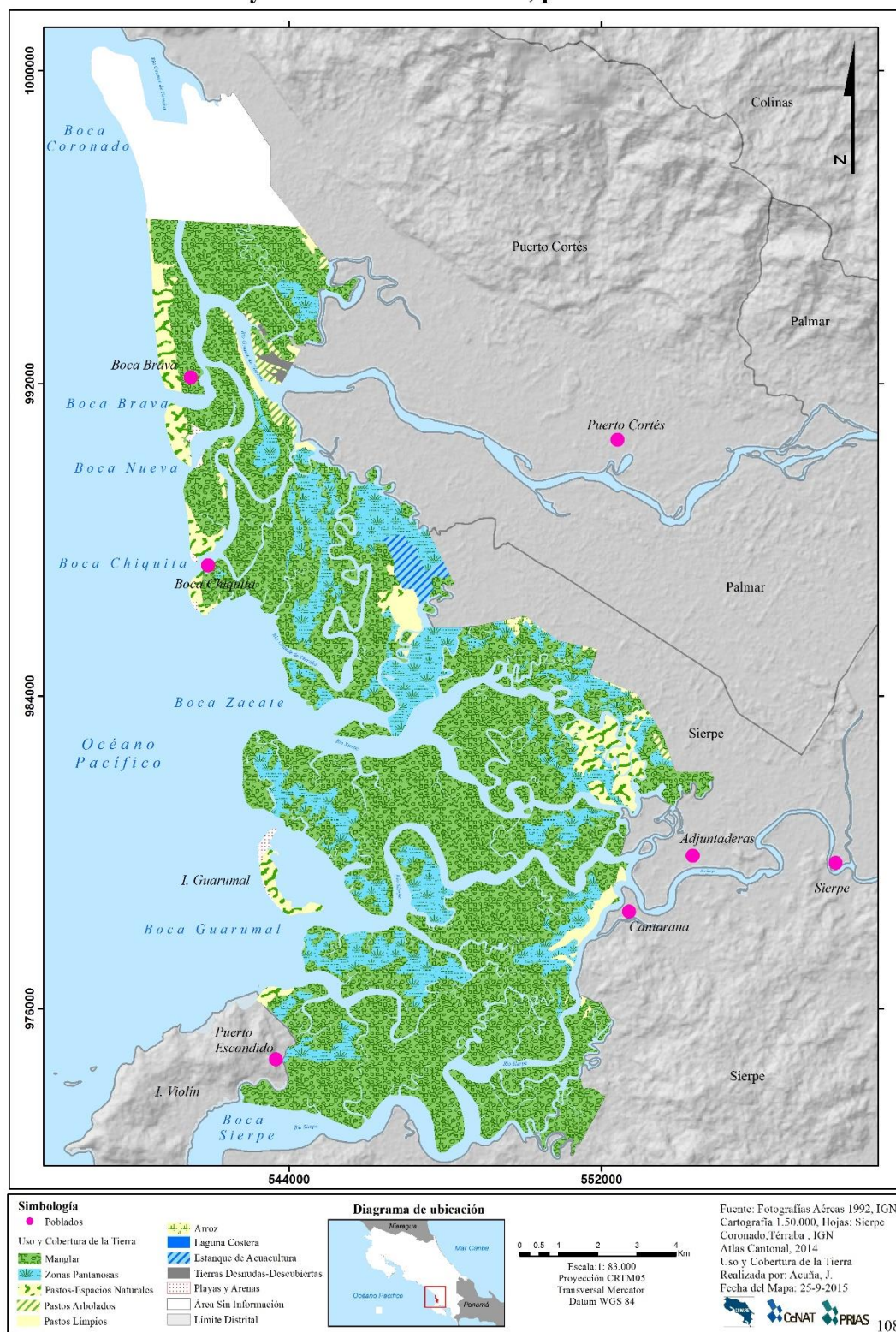
Mapa 12. Uso y Cobertura de la Tierra para el año 1972: Humedal Nacional Térraba Sierpe

Mapa N° 12: Humedal Nacional Térraba Sierpe
Uso y Cobertura de la Tierra, para el año 1972



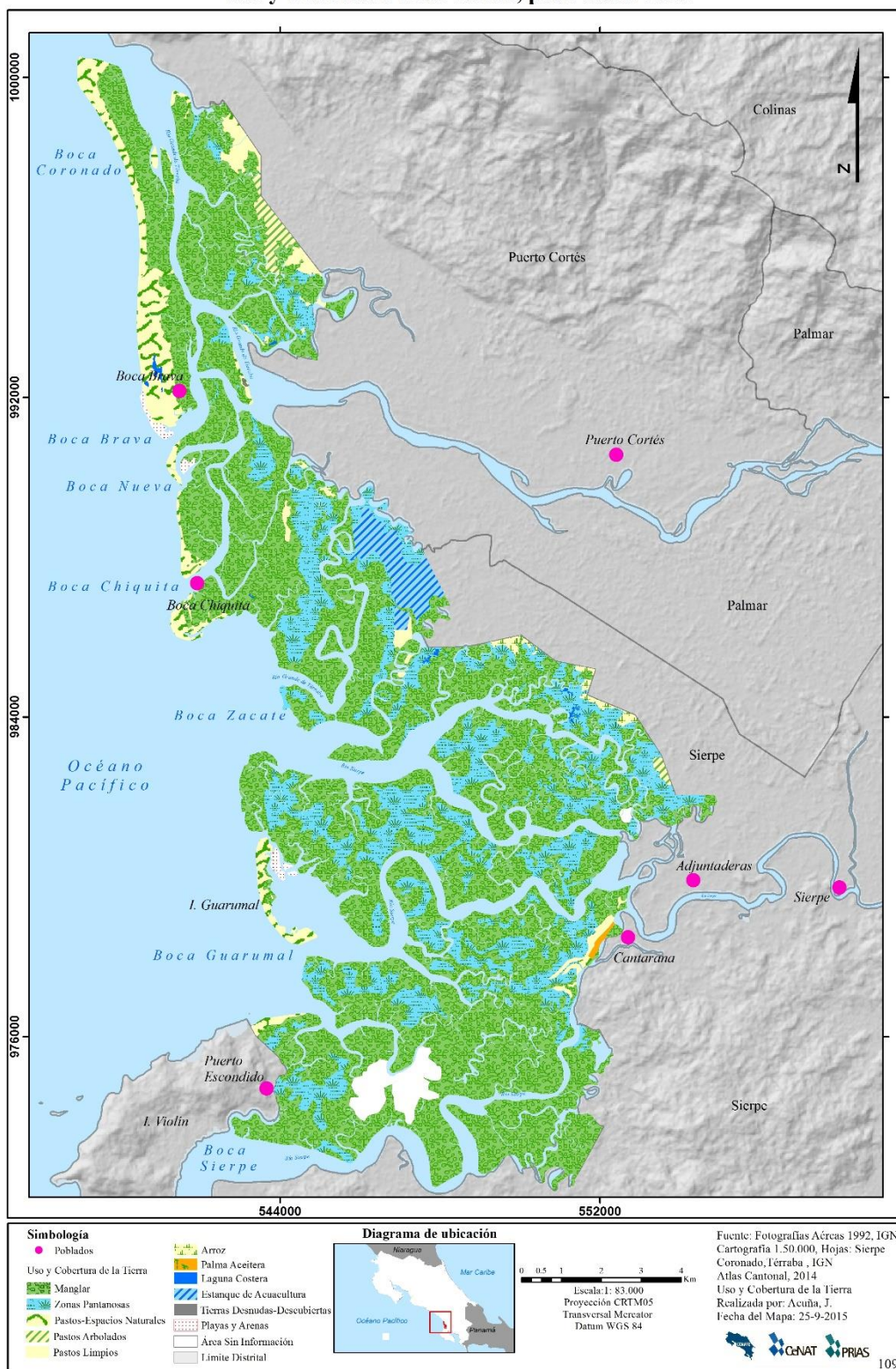
Mapa 13. Uso y Cobertura de la Tierra para el año 1992: Humedal Nacional Térraba Sierpe

Mapa N° 13: Humedal Nacional Térraba Sierpe
Uso y Cobertura de la Tierra, para el año 1992



Mapa 14. Uso y Cobertura de la Tierra para el año 2012: Humedal Nacional Terraba Sierpe

Mapa N° 14: Humedal Nacional Terraba Sierpe
Uso y Cobertura de la Tierra, para el año 2012



4.2. Análisis comparativo por año entre la evolución geomorfológica y el uso de la tierra, para determinar el causante de los cambios de la cobertura de mangle para 1948, 1972, 1992 y 2012.

La cobertura manglárica en el HNTS ha enfrentado cambios tangibles por medio de los años en estudio, donde cada periodo ha sido afectado por diferentes dinámicas; entre ellas se destaca su evolución geomorfológica, que está sujeta a los procesos de erosión y sedimentación, así como los cambios en los usos de la tierra que contemplan el desarrollo de actividades agrarias dentro del límite del humedal. Por lo tanto, este estudio busca conocer qué procesos influyeron más sobre la cobertura de mangle.

Para lograr conocer qué variable influyó más, se utilizan los datos de la información recolectada tanto para la evolución geomorfológica como para los usos de la tierra. En la primera variable, se analizan los resultados de las modificaciones del terreno del delta, el cual estaba ocupado por vegetación de mangle, así como también los cambios en la extensión de las barras litorales; esto para determinar si la erosión causó pérdida de mangle o, de lo contrario, la sedimentación provocó que se ganara cobertura de mangle. Para la segunda variable, se analizan los cambios en la extensión de cada uso en el periodo completo de estudio, para identificar cómo la expansión agraria afecta al terreno del manglar (Tabla 15).

En cuanto al periodo de 1948 a 1972, en este se da una pérdida de más de 800 ha de mangle, de las cuales más de 400 ha fueron perdidas por causa de procesos de erosión, principalmente en las bocas Brava, Chiquita y Zacate asociada a un periodo prolongado de época seca que afectó a la zona sur del país (Quirós y Martínez, 2015). En cuanto a las demás con pérdidas, estas fueron ocupadas por la expansión de los usos de la tierra (Tabla 15). Estos usos fueron, principalmente, espacios naturales y pastos con 153,20 ha, pastos arbolados y pastos limpios con 219,45 ha y plantaciones de arroz 3,92 ha, lo cual está relacionado con el aumento de población en el distrito de Sierpe, donde se pasa de tener 1 508 habitantes para 1948 a 3 486 habitantes para el año 1972 (Hernández, 1985).

Tabla 15. Cambios en la vegetación de mangle relacionada a las variantes en el uso y coberturas de la tierra, así como la evolución geomorfológica en el Humedal Nacional Térraba Sierpe, en el periodo de 1948 al año 2012

Cambios de la cobertura del mangle en el HNTS del periodo 1948 al 2012					
Año	Área mangle (ha)	Cambios en el área del mangle (ha)	Cambios del área del uso de la tierra (ha)	Cambios de área del delta de las barras litorales (ha)	Cambios de área de la planicie deltaica (ha)
1948	13667.74	-----	-----	-----	-----
1972	12817.63	-850.11	-358.57	-91,79	-399.78
1992	11259.46	-1558.17	-752,10	+161,04	-806.07
2012	11713.34	+453.88	-130.33	+28.85	+425,03

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Durante las siguientes dos décadas (1972-1992), la cobertura de mangle disminuye en más de 1 500 ha, lo que representa el doble de lo perdido con respecto al periodo anterior. Cabe señalar, que este periodo fue cuando más manglar se perdió durante los 64 años de estudio, lo que se relaciona con el aumento de más de 750 ha en los usos de la tierra; como pastos y espacios naturales con 485,95 Ha, estanques de acuicultura con 128,02 ha, pastos limpios con 64,70 ha, tierras desnudas con 30 ha arroz con 20 ha (Tabla 15).

Esta deforestación de la cobertura del manglar se desarrolla principalmente en los años noventa, tanto en la parte baja de la cuenca y como a orillas del HNTS (Sánchez *et al.*, 2013); y es producto del retiro de la Compañía Bananera en 1984 que causó un gran desempleo y movilización de personas a distintas zonas dentro del humedal formándose los pueblos de Ajuntaderas, Sierpe Río Abajo, Hacienda Sierpe, boca Chiquita, boca Brava y Cantarrana (González y Herrera, 2010). Esto, a su vez, es propiciado por la falta de políticas de gobierno para controlar el precarismo y la ausencia de leyes de conservación junto con la poca planificación agraria, prosperando también la extracción madera para taninos y carbón (González y Herrera, 2010).

La pérdida de cobertura manglarica se da también por procesos erosivos, desapareciendo más de 1 000 ha por estos procesos los cuales fomentados por factores climáticos y oceanográficos que incidieron en esta época. Cabe destacar, que la mayor pérdida de cobertura manglarica fue por el lavado de terreno consolidado (Tabla 15); aunque, por la falta de información en 1992 con respecto a las fotografías aéreas no se considera para este trabajo como el factor más importante en la pérdida de cobertura.

En cuanto a las barras litorales, estas tienen una influencia positiva en el manglar, ya que tienen un crecimiento de más de 160 ha, favoreciéndose la colonización de la vegetación de mangle. Este aporte de sedimentos se vincula a la dinámica de depositación de material por parte del río Terraba, lo cual ocasionó modificaciones en el cordón litoral e impulsó el crecimiento de mangle (Silva *et al.*, 2015).

En los siguientes 20 años (1992-2012), se pasa a una situación contraria y se da una ganancia de cobertura de mangle de más de 450 ha, lo cual se debe a un aumento del terreno consolidado (Tabla 16). Así mismo, las barras litorales tienen un incremento de más de 28 ha, esto quiere decir, que ambos procesos son los principales factores que actúan de forma positiva en el crecimiento de la cobertura manglarica.

Se destaca boca Guarumal como el principal sector, donde se da un crecimiento de terreno y de barras litorales, que incrementa la cobertura manglarica (Figura 23). La razón por la que se da este crecimiento es la formación de la isla Guarumal, que al ser un terreno consolidado promueve la acumulación de sedimentos y también limita el efecto de las mareas.

El aporte de más sedimentos favoreció a muchos sectores, ya que se da una recuperación de mangle al haber más terreno; sin embargo, es necesario considerar que en otros sectores del humedal los efectos han sido negativos, ya que el ecosistema se ha afectado por el alto grado de sedimentos con el potencial de perjudicar a la vegetación, porque aportes considerables de sedimentos pueden llevar a la pérdida de mangle por falta de respiración de los raíces, así como el aporte de arenas que impiden las funciones del ecosistema (Figura 24), (Silva *et al.*, 2015).

Figura 23. Crecimiento de manglar en boca Guarumal: Humedal Nacional Térraba Sierpe



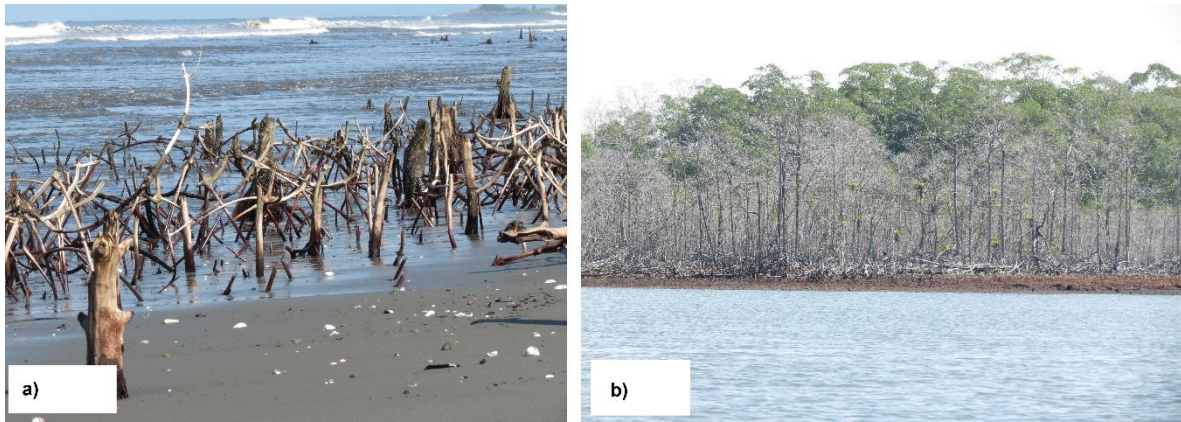
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Por otra parte, los usos de la tierra afectan negativamente al mangle, ya que ocasionan la pérdida de más de 130 ha (Tabla 15). Aunque, se da un proceso más lento en la expansión de los usos de la tierra comparado a las otras décadas y los efectos en la cobertura manglárica se siguen presentando, donde los usos responsables en esta expansión agrícola son los pastos arbolados, así como los limpios, el cultivo de arroz, los estanques de acuicultura y la palma aceitera.

En cuanto a la evolución geomorfológica, esta tiene un papel tanto positivo como negativo en el humedal, provocando mediante la erosión más pérdida de mangle en los periodos de 1948 a 1972 y de 1972 a 1992, mientras que para 1992 y 2012 se da una recuperación de manglar. En cuanto a la variación de la sedimentación, esta perjudicó en el periodo de 1948 a 1972 y se vuelve un indicador positivo para las demás décadas.

La variabilidad de este factor, se debe a que está sujeto a los cambios que se den en diferentes aspectos como en la variable climática que pueden provocar aumento o disminución de lluvia, lo cual tiene un efecto directo en el aporte de sedimentos y erosión en el delta junto con las actividades en la cuenca alta y media de la cuenca del río Térraba y las mareas mediante la modificación de los patrones de lavado.

Figura 24. Pérdida de mangle por sedimentación en boca Guarumal en el Humedal Nacional Térraba Sierpe: a) sector norte, b) sector sur



Fuente: Elaboración propia, 2016.

En el caso de los usos de la tierra, estos son un factor que depende de las decisiones de la población, principalmente las comunidades que están dentro del humedal como boca Brava, boca Chiquita, Ajuntaderas, Cantarrana, así como las comunidades cercanas al área protegida que son Puerto Cortés, Palmar Sur y Sierpe. Esto debido a la dinámica de la expansión agraria se ve incentivada a partir de procesos históricos que se relacionan con las variaciones en la economía del territorio.

CAPÍTULO V: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA VEGETACIÓN DE MANGLE

La clasificación espectral de las especies de mangle parte del análisis de las características que presenta el bosque de mangle del HNTS, se describen los resultados obtenidos en la clasificación de los tipos de cobertura de especies de mangle que tiene el humedal, a su vez, se detallan los tipos de manglar identificados, a partir de su morfología, patrón de distribución en el terreno, así como un análisis de las otras clases determinadas. Además, a partir de esta clasificación espectral se compara con las barras litorales, con el propósito de conocer cuáles son las especies dominantes en las barras que están consolidadas por vegetación, esto permite determinar las especies mangláricas colonizadoras y las de sucesión secundaria a través del tiempo.

5.1. Clasificación de las especies de mangle para el año 2012

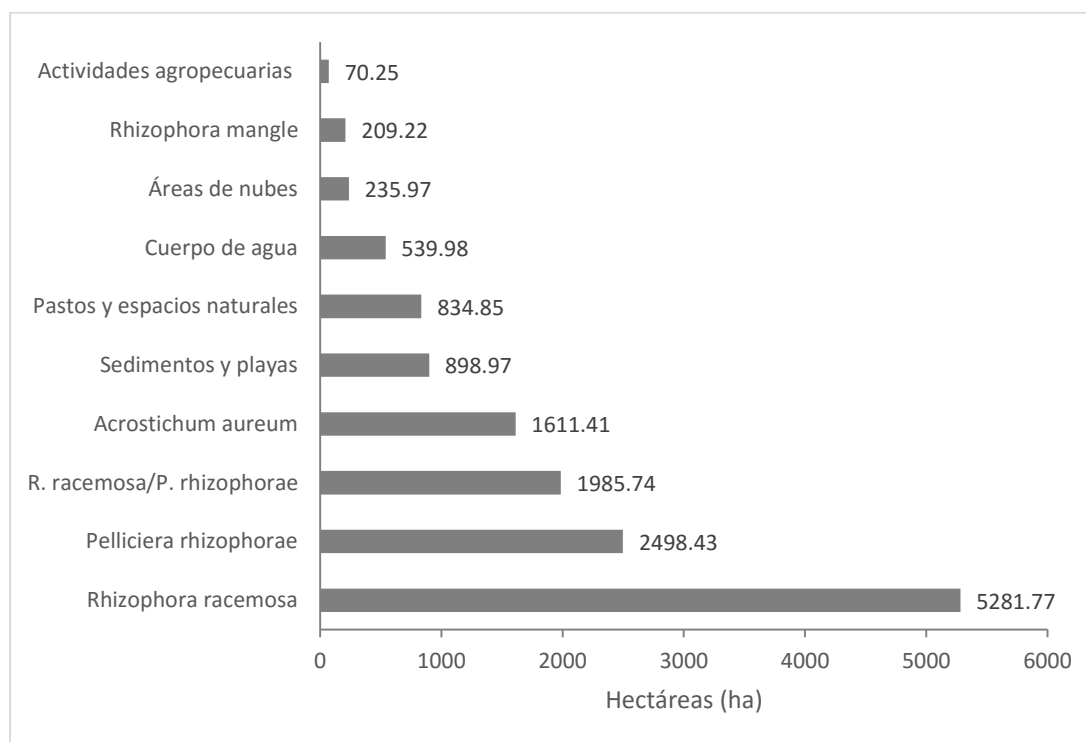
El ecosistema del HNTS presenta condiciones específicas para su desarrollo, como lo son aspectos hidrológicos con influencia costero-deltaicas y costero-estuarinas, también con áreas inundables, así como un entorno de clima tropical muy húmedo (Kappelle *et al.*, 2002). La vegetación se caracteriza por ser un bosque denso, siempreverde, con más de 40 especies de árboles, arbustos, lianas, hierbas y palmeras; esta vegetación logra alcanzar alturas entre los 5-25 m (árboles) y entre 1-5 m (arbustos y helechos), con abundantes individuos de *Pelliciera rhizophorae* (mangle piñuela), *Rhizophora mangle* (mangle rojo-gateador), *Rhizophora racemosa* (mangle caballero-rojo), *Acrostichum aureum* (negraforra), así como otras especies menos abundantes, de las cuales destacan *Laguncularia racemosa* (mangle mariquita), *Conocarpus erectus* (mangle botoncillo), *Mora oleifera* (alcornoque), *Avicennia germinan* (mangle negro) (Mainardi, 1996).

La diversidad de vegetación en el humedal hace que sea una zona con una gran riqueza natural, pero a la vez se vuelve un ecosistema complejo en su cobertura boscosa, por lo que se hace difícil la identificación de la vegetación (Lizano *et al.*, 2001). Mediante la clasificación espectral logra determinarse la distribución y comprobar la abundancia de las especies vegetales, con el objetivo de conocer cómo se encuentran las condiciones del

humedal; sin embargo, para este estudio se clasifican las especies más abundantes en el humedal, porque los espectros son más fáciles de determinar dentro de la imagen satelital.

Se identificaron en total 11 clases, donde cuatro son de especies de mangle y las demás corresponden a otras coberturas que forman parte de terreno del humedal; como lo es *Acrostichum aureum* que es un helecho muy abundante en el sistema deltaico, **cuerpos de agua**, donde se encuentran las lagunas costeras, zonas pantanosas, estanques de maricultura, red hídrica y el océano Pacífico. También, dentro de las clases se identificaron los usos de la tierra que se desarrollan en el ecosistema, como son el **cultivo de arroz**, *palma africana*, así como los **pastos y espacios naturales**, áreas de **sedimentos y playas**, por último, las áreas que presentan **nubosidad**.

Gráfico 12. Resultados de la clasificación espectral de la vegetación de mangle, las coberturas y usos de la tierra: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 2012



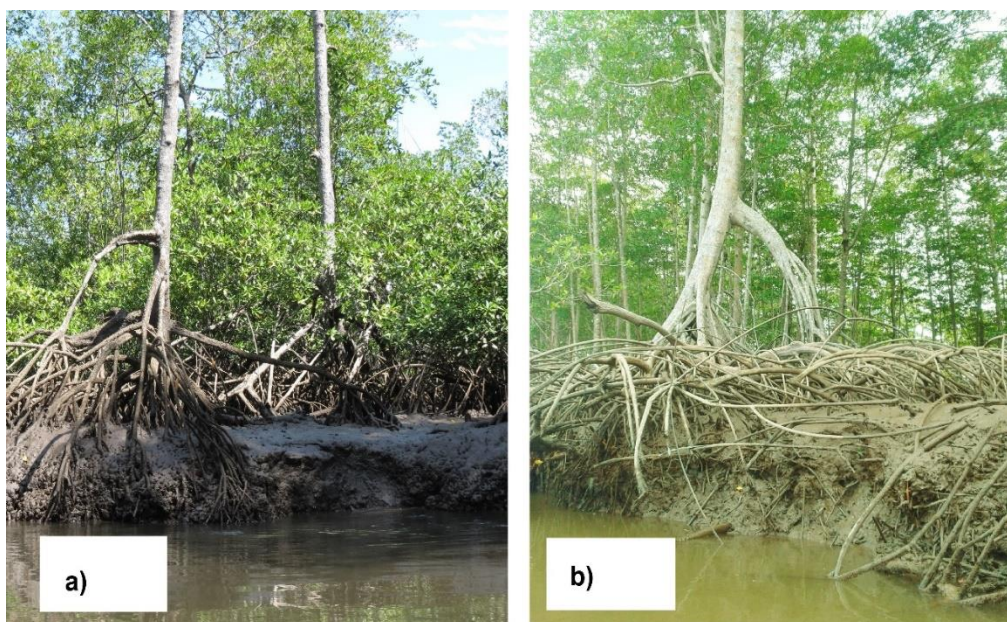
Fuente: Elaboración propia, 2016.

El área del humedal se encuentra cubierta principalmente por tres especies de mangle, donde las más abundantes son *R. racemosa* que representa un 37% del terreno, seguido por *P. rhizophorae* que ocupa un 18% del humedal, después se encuentra la *R. racemosa-P.*

rhizophorae con un 14% de la cobertura total. También, se identifica *A. aureum* con un 11% del humedal, luego se ubican los **sedimentos y playas**, así como los **pastos y espacios naturales** que tienen porcentajes de cobertura similares que alcanzan un 6% en el ecosistema; en cuanto a los **cuerpos de agua**, estos corresponden a un 4% (sin incluir la red hídrica y el océano Pacífico); la clase de **actividades agropecuarias** representan un 2%, de estas actividades destacan el cultivo de arroz, la palma aceitera y los pastos limpios; por último, se encuentra *R. mangle* con un 1% (Gráfico 12).

La especie manglárica dominante es *R. racemosa*, se identifica por ser una especie de mangle con raíces adventicias en forma de zanco, las cuales facilitan su asentamiento en los sedimentos y permiten la consolidación del terreno al acumular sedimentos. También es la especie arbórea de mangle que logra alcanzar mayor altura y desarrollo estructural, lo cual la ha expuesto a la explotación para fines comerciales, por lo que sus poblaciones se han visto amenazadas desde varias décadas atrás (Mainardi, 1996) (Figura 25). Su abundancia en el HNTS puede relacionarse con su distribución horizontal y a su adaptabilidad a suelos lodosos y con altos porcentajes de salinidad (Barrantes y Cerdas, 2015).

Figura 25. Humedal Nacional Térraba Sierpe. a) y b) *Rhizophora racemosa* (mangle caballero)

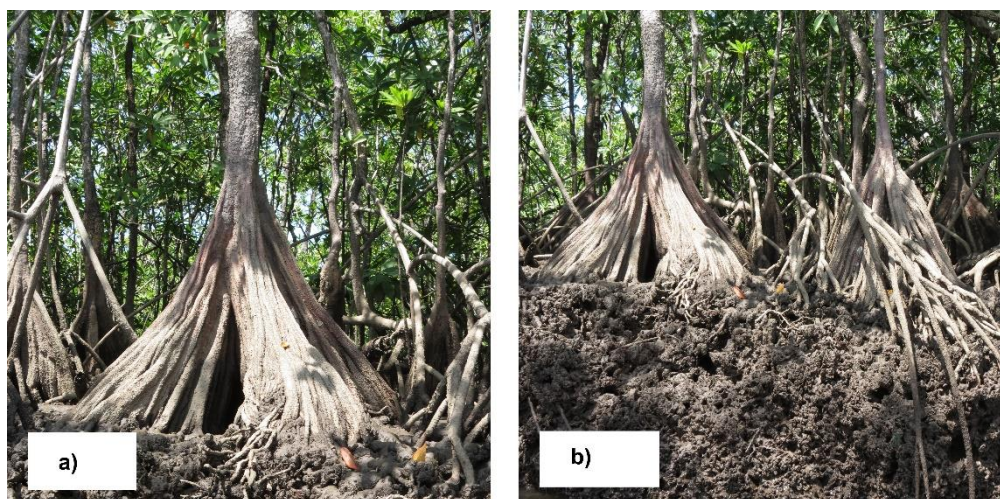


Fuente: Elaboración propia, 2016.

La distribución de *R. racemosa* se da en toda el área del humedal, con un patrón que va desde las orillas del cauce del río hasta el interior del terreno, donde se puede observar que en el sector norte del humedal se da una mayor abundancia de individuos aislados. Por otra parte, en el caso del sector sur *R. racemosa* se encuentra relacionada con la distribución de *P. rhizophorae*, la cual se encuentra en el núcleo del terreno, esto debido a que el mangle caballero representa una barrera que promueve el establecimiento del mangle piñuela (Barrantes y Cerdas, 2015) (Mapa 15). A su vez, su abundancia se compara con la de otros estudios en el HNTS, donde se ha determinado que *R. racemosa* presenta un 44% de abundancia relativa (Barrantes y Cerdas, 2015), estando presente en más del 90% en el delta (Mainardi, 1996).

La segunda especie más abundante es *P. rhizophorae*, que es un árbol característico por sus raíces en forma de gamba y con frutos acorazonados, además es un árbol que presenta baja altura, la cual no sobrepasa los 25 m (Mainardi, 1996) (Figura 26). Según el perfil arbóreo del HNTS, la densidad de individuos por unidad de área es de aproximadamente de 3 árboles en cada 2 metros, los cuales no sobrepasan los 12 metros de altura (Figura 27) (Kappelle *et al.*, 2002).

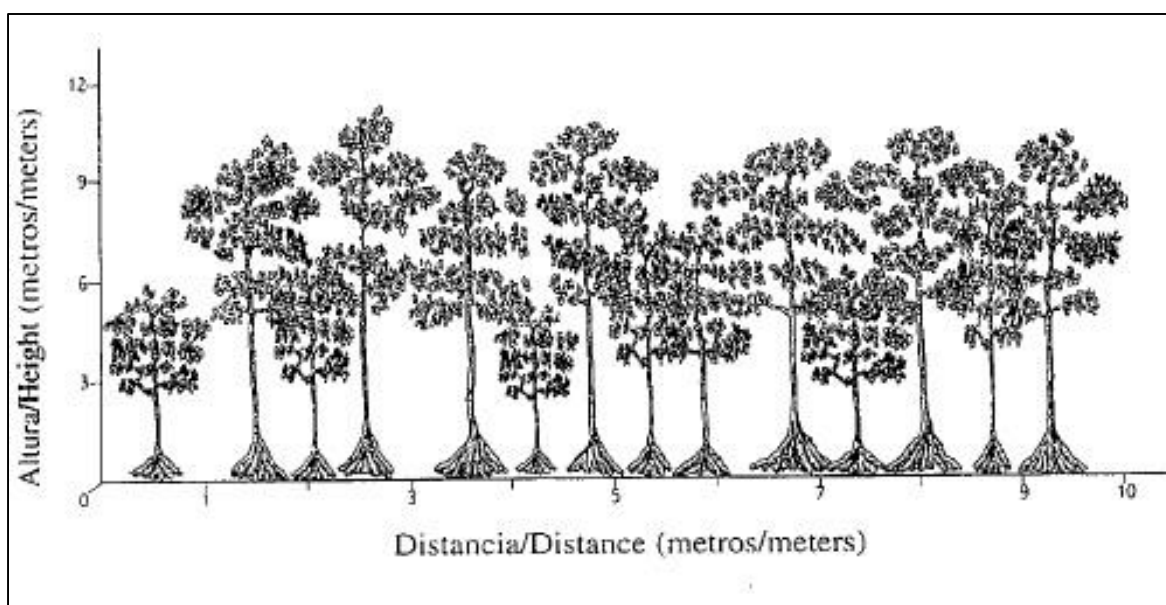
Figura 26. Humedal Nacional Terraba Sierpe: a) y b) *Pelliciera rhizophorae* (mangle piñuela)



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Además, su gran abundancia en el humedal se relaciona de igual forma con los factores que benefician a *R. racemosa*, como es la distribución horizontal y su adaptabilidad a los suelos lodosos (Barrantes y Cerdas, 2015). En cuanto a su localización en el área del humedal, esta se da a lo largo de todo el terreno con un patrón de colonización hacia los núcleos, a su vez, es más abundante en el sector sur del humedal, con parches aislados en el sector norte (Mapa 15). La gran abundancia de esta especie también es reconocida en el HNTS, con una abundancia relativa del 39,92% (Barrantes y Cerdas, 2015), estando presente en el 80% del delta (Mainardi. 1996).

Figura 27. Perfil de las especies de mangle *Pelliciera rhizophorae* en el Humedal Nacional Térraba Sierpe

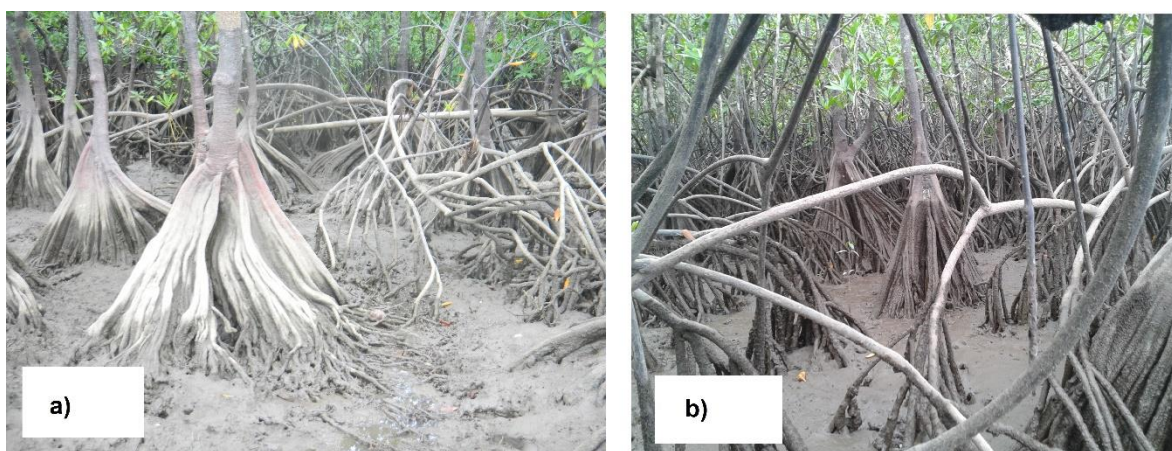


Fuente: Kappelle *et al.* (2002).

Por lo tanto ambas especies son las que predominan en el terreno del HNTS; sin embargo, aparte de su distribución en forma monoespecífica, también se da un comportamiento de asociación mixta entre ambas especies (Figura 28). Esta asociación es difícil de explicar, ya que ambas especies tienen diferentes condiciones para desarrollarse; aunque, se sabe que está relacionada con las condiciones topográficas y geográficas de la zona, en lugar de otros factores relacionados con la dinámica de delta como salinidad, esorrentía y nivel de inundación (Samper y Silva, 2015).

Dadas estas relaciones, al analizar el entorno del humedal en el sector norte se encuentran las mayores áreas de cobertura mixta *R. racemosa*-*P. rhizopharæ*, dicho sector es el lugar del humedal drenado por el río Grande de Térraba, que, a su vez, es donde menor influencia tienen los procesos costeros, ya que existen barreras naturales como las barras de sedimentos distribuidas a lo largo del cordón litoral, las cuales generan condiciones más estables en el terreno promoviendo el proceso de asociación manglárica. Caso contrario, se encuentra que el sector sur que está sometido a fuerte estrés por los procesos costeros que ocasionan cambios constantes en los regímenes hídricos, de salinidad, así como el arrastre del terreno; por lo tanto, para las especies mangláricas es difícil adaptarse al entorno más hostil, lo que puede perjudicar la conformación de grandes parches de manglar mixto (Ortiz, 2012).

Figura 28. Humedal Nacional Térraba Sierpe: a)-b) *Rhizophora racemosa* (mangle caballero)-*Pelliciera rhizophoræ* (mangle piñuela)



Fuente: Elaboración propia, 2016.

En cuanto a la tercera especie de mangle clasificada, *R. mangle*, esta se caracteriza por ser la principal especie colonizadora del HNTS, porque puede crecer en sustratos lodosos arenosos, lo que facilita su aumento poblacional en áreas en las cuales apenas se están formando suelos lodosos. Además, morfológicamente se caracteriza por sus raíces fúlcreas que se arquean en el tronco; esta también fue una de las especies explotadas en forma comercial en el humedal, especialmente por su alto porcentaje de taninos contenidos en la madera (Figura 29).

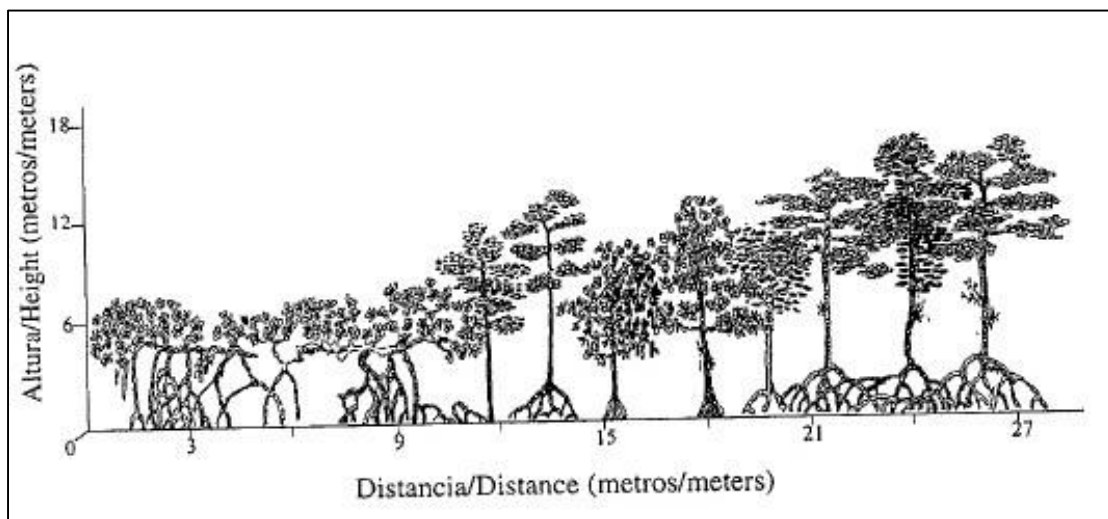
Figura 29. Humedal Nacional Térraba Sierpe: a)-b) *Rhizophora mangle* (mangle rojo)



Fuente: Elaboración propia, 2016.

En el perfil manglárico, la densidad por unidad de área que alcanza *R. mangle* es de 2-3 individuos en cada 6 m², los cuales no sobrepasan los 18 metros de altura (Kappelle *et al.*, 2002). En comparación con otras especies de mangláricas, el mangle rojo tiene pocos individuos en una distancia importante, lo cual sugiere que su sistema radicular amplio de zancos necesita mucho espacio para su desarrollo y limita la densidad de los individuos.

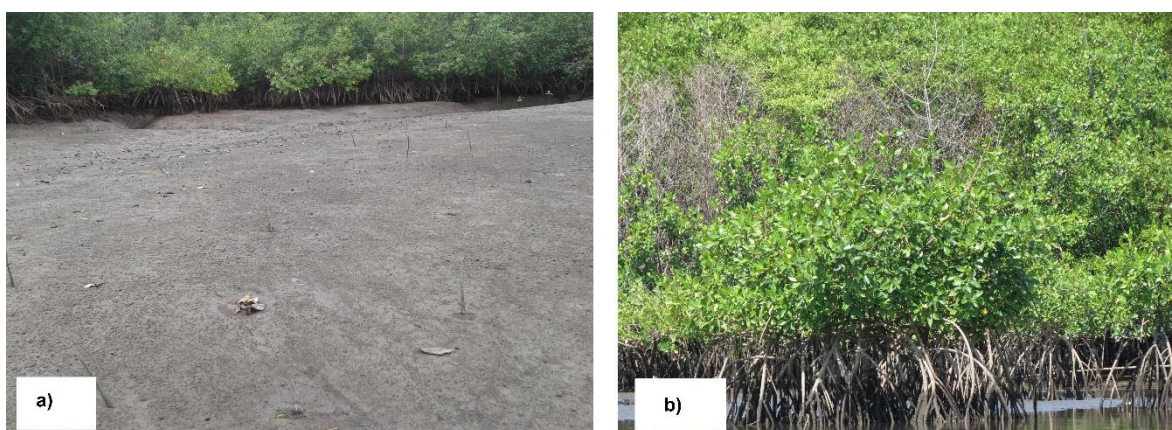
Figura 30. Perfil de las especies de mangle *Rhizophora mangle* (mangle rojo) en el Humedal Nacional Térraba Sierpe



Fuente: Kappelle *et al.* (2002).

En el Mapa 15 puede apreciarse la distribución del *R. mangle* en pequeños parches aislados, siendo más frecuentes en el sector sur, destaca al este de la isla Guarumal donde se encuentran varias áreas cubiertas por este manglar principalmente en los sedimentos que conforman las barras litorales (Figura 31). La distribución de esta especie en general se da en lugares donde la energía de las mareas es baja y, en algunos casos, en el interior de las lagunas costeras, también en los márgenes de los canales de los ríos Grande de Térraba y Sierpe, así como en zonas donde se dan procesos de inundación y en la desembocadura de los ríos (Barrantes y Cerdas, 2015).

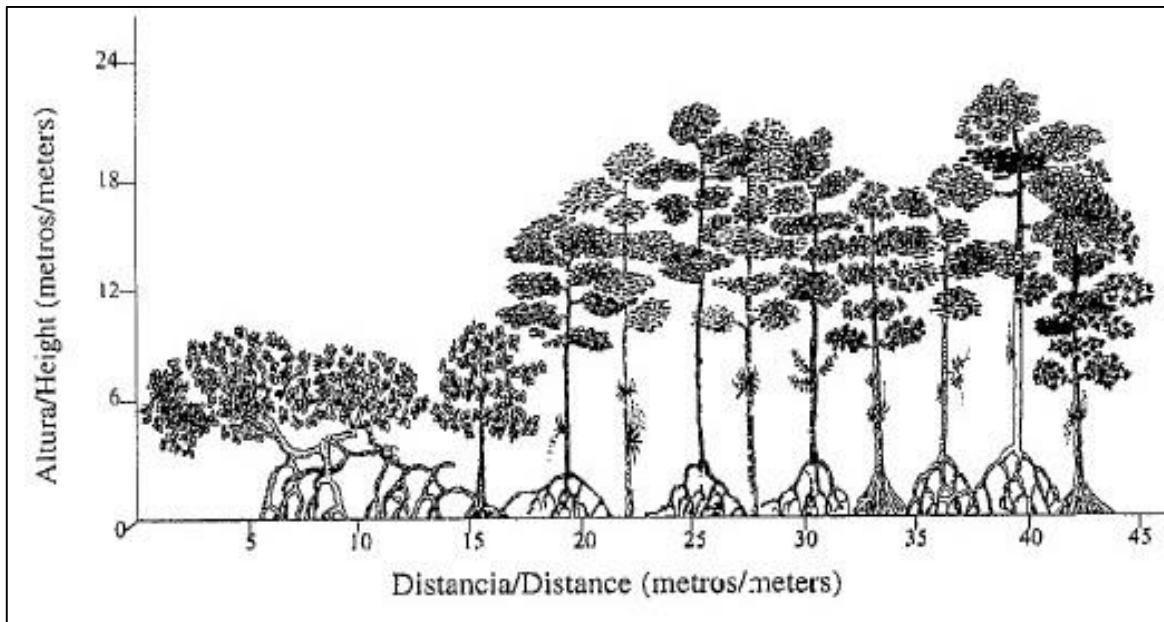
Figura 31. Distribución de *Rhizophora mangle* (mangle rojo) en las barras litorales en la isla Guarumal en el Humedal Nacional Térraba Sierpe: a) año 2013, b) año 2016



Fuente: Elaboración propia, 2013 y 2016.

Estas tres especies de mangle identificadas en el HNTS conforman el 70% de la cobertura boscosa del ecosistema. Según Kappelle *et al.* (2002), el bosque se caracteriza como tropical denso siempre verde latifoliado basal pantanoso dominado por mangle; donde las especies *R. racemosa*, *P. rhizophorae* y *R. mangle* siguen un patrón de distribución donde en los primeros 15 m domina *R. mangle* (altura: 8-9 m), seguido por *R. racemosa* en los siguientes 15 m (altura: hasta 24 m), *P. rhizophorae* en los siguientes 5 m (altura: hasta 18 m), nuevamente *R. racemosa* en los siguientes 15 m, y de último nuevamente *P. rhizophorae* con los últimos 5 m (Figura 32-33).

Figura 32. Perfil de la especie de mangle *R. racemosa*, *P. rhizophorae* y *R. mangle*, en el Humedal Nacional Térraba-Sierpe



Fuente: Kappelle *et al.* (2002).

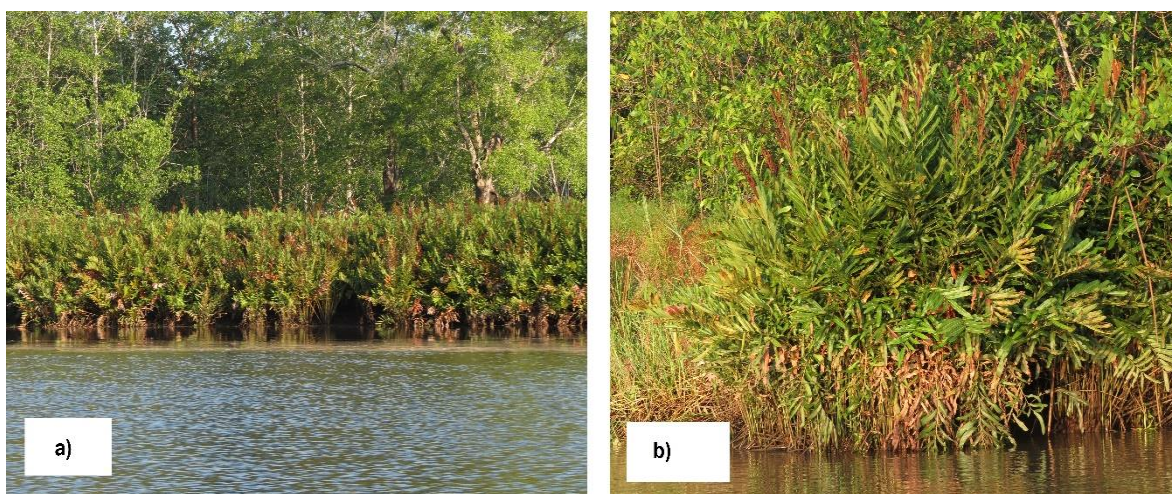
Figura 33. Cobertura boscosa de mangle: Humedal Nacional Térraba Sierpe



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Entre las demás coberturas que se determinaron por medio de la clasificación espectral, destaca la especie *A. aureum* que se encuentra entre las vegetaciones más abundantes en el humedal, aparte de *R. racemosa* y *P. rhizophorae*. La abundancia de esta especie en el lugar se explica por su condición de amplia tolerancia a la salinidad, lo que le permite a este helecho encontrarse tanto en las orillas de los ríos como en el interior del terreno, alcanzando los 3 m de altura y es distinguible por una coloración castaña en la parte inferior de las hojas (Figura 34).

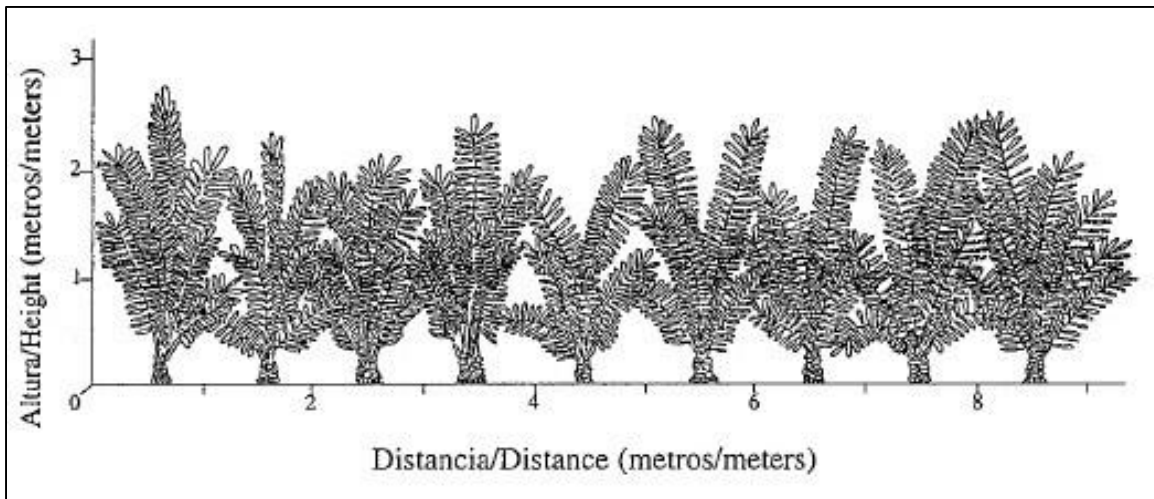
Figura 34. Humedal Nacional Térraba Sierpe: a) y b) *Acrostichum aureum* (negraforra)



Fuente: Elaboración propia, 2016.

En el perfil de distribución, esta especie presenta una densidad por unidad de área de 2 individuos por cada dos metros (Kappelle *et al.*, 2002), promoviendo un alto porcentaje de aglomeración que en muchos casos limita el crecimiento de otras especies de plantas, al establecerse una cobertura monoespecífica (Figura 35). En el humedal, se encuentra tanto en los sectores norte como sur, aunque nunca se encuentran en la desembocadura de los ríos, si no en la parte superior el humedal, con condiciones menos salobres (Mapa 15).

Figura 35. Perfil de la especie *Acrostichum aureum* (negraforra), en el Humedal Nacional
Térraba Sierpe



Fuente: Kappelle *et al.* (2002).

Para las demás coberturas identificadas, se encuentran los **pastos y espacios naturales** que incorporan todas aquellas áreas que no presentan ningún tipo de vegetación manglárica, y que están intervenidas tanto de forma natural como antrópica. Se incluyen todas las áreas con charral, pastos limpios y toda aquella vegetación no identificada taxonómicamente, pero no manglárica, según los espectros.

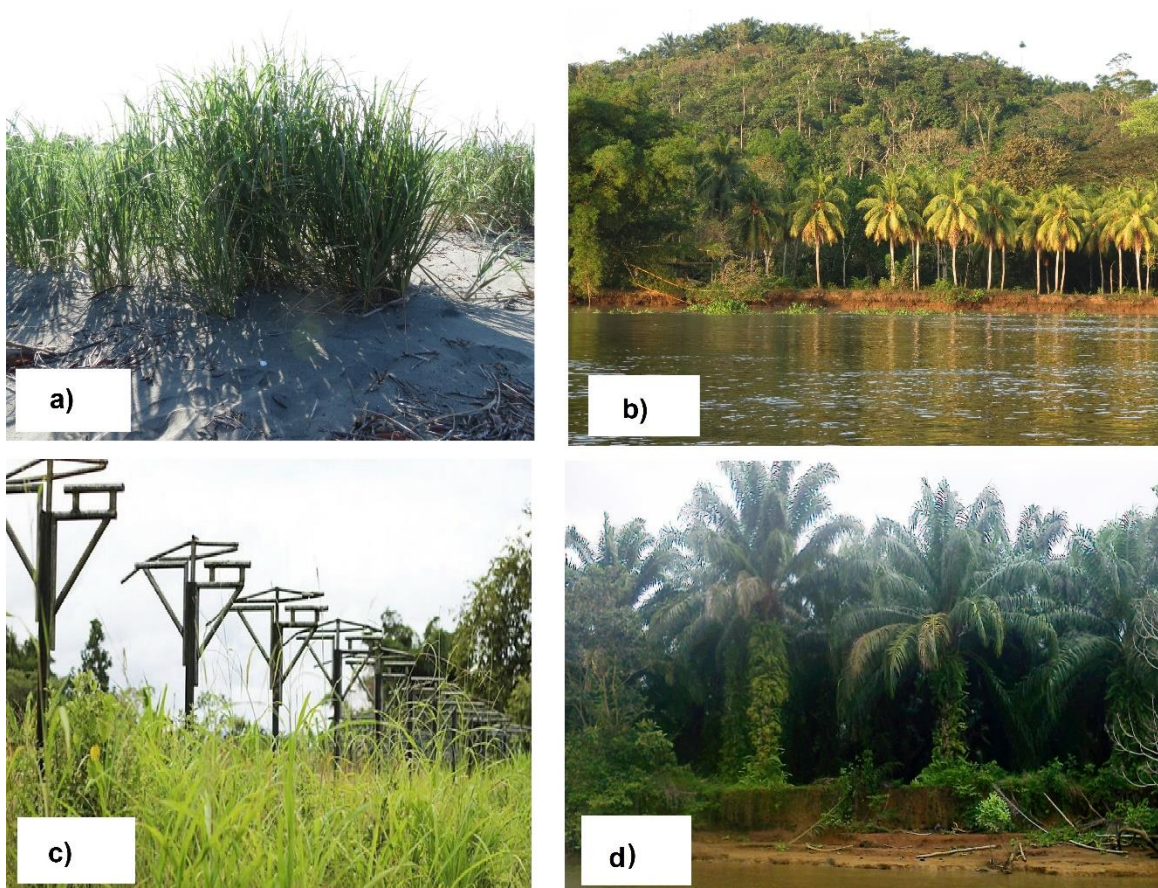
En cuanto a su distribución en el humedal; se observan en las barras formadas en boca Coronado, en algunas barras de sedimentos en boca Brava y Chiquita, así como en las cercanías de los estanques de maricultura. Con respecto a su predominancia, se presentan en casi toda la isla Guarumal y en colindancia con las plantaciones de palma aceitera. En la mayoría de los sitios, esta cobertura se presenta cercana a las especies mangláricas *R. racemosa* y *A. aereum*, lo cual sugiere presiones competitivas sobre este tipo de vegetación.

También se clasificaron las áreas de actividades agropecuarias que corresponde a la **palma aceitera** y los **cultivos de arroz** (Figura 36); en el caso de la palma aceitera, esta se estableció en el humedal para el año 2012; sin embargo, la zona en que este cultivo se ha desarrollado ya se encontraba bajo la influencia de las actividades antrópicas desde 1972, como lo muestran los estudios de fotointerpretación ubicando pastos y zonas deforestadas

para ese año. Estas actividades provocan efectos negativos en el humedal, por el uso de agroquímicos, la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad (Beggs y Moore , 2013).

Además, el cultivo de palma aceitera ha sido expansivo en las últimas décadas tanto en el cantón de Osa como el de Golfito; como se evidencia en la figura 35 donde gran parte del área de amortiguamiento (500 m) del HNTS está rodeada por este tipo plantación. Por lo tanto, según Vargas (2013) deberían aplicarse prácticas amigables con el ambiente al igual que en el cultivo de arroz; sin embargo, se desconocen las prácticas aplicadas.

Figura 36. Humedal Nacional Térraba Sierpe: a) pastos y espacio naturales, b) pastos arbolados, c) cultivo de arroz, d) palma aceitera



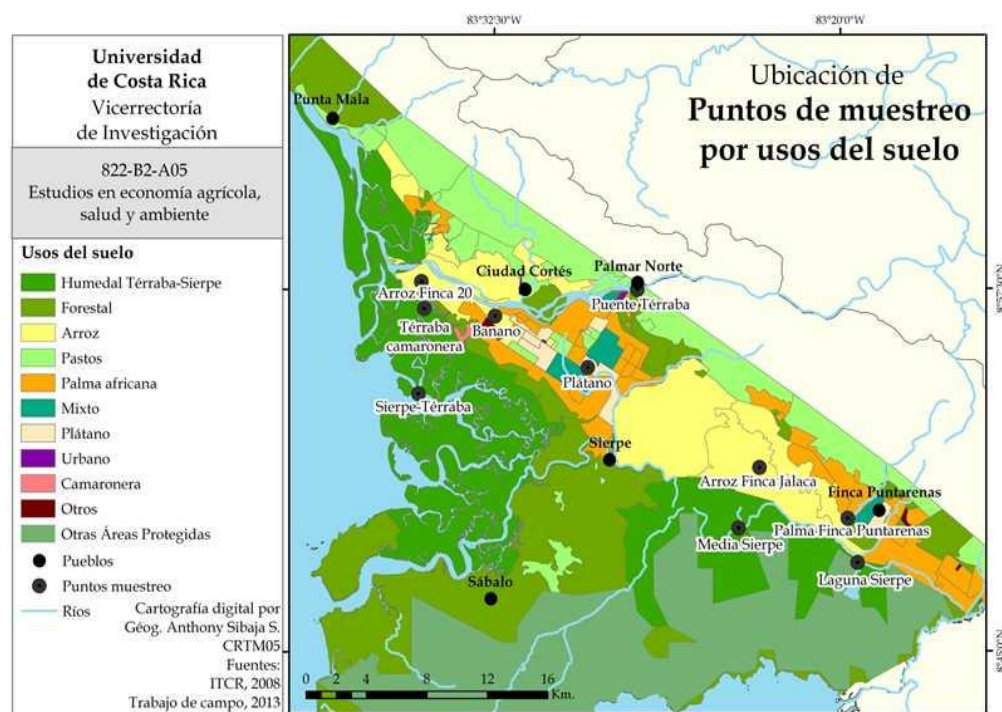
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Por otra parte, para el **cultivo de arroz**, cuya distribución, ya fue mencionada en el capítulo de coberturas y uso de la tierra, se sabe que este se localiza próximo al límite del área protegida del humedal, e incluso invade la cobertura manglárica como se aprecia en el

Mapa 11, donde colinda con *R. racemosa* y *P. rhizophorae*, con parches de esta última especie en medio del cultivo. Según los estudios de fotointerpretación para el año 1972, aún existía cobertura de mangle en ese sector, pero, en 1992, se inicia la expansión de arroz para posteriormente alcanzar el área que tiene actualmente.

Además, se aprecian pequeñas áreas de este cultivo en el límite del humedal (Mapa 15) y su área total se expande muchos más, lo que lo vuelve una de las actividades antrópicas más extensivas en la zona de amortiguamiento del área protegida (Figura 37); según el Plan de Manejo del HNTS, en las zonas de amortiguamiento (500 m) deben practicarse actividades sostenibles para mitigar los impactos negativos que puedan generarse en el ecosistema (Vargas, 2013), los cuales, en relación con la expansión de la frontera agrícola, son el uso intensivo de agroquímicos, plaguicidas y fertilizantes, que provocan un impacto ambiental negativo en la biodiversidad (Beita *et al.*, 2002).

Figura 37. Usos del suelo en la llanura deltaica del Diquís, Costa Rica



Fuente: Inédito, 2015

Otra actividad antrópica importante que se desarrolla en el humedal es el establecimiento de estanques de maricultura, incluido en la clasificación como **cuerpo de**

agua; estas actividades surgen alrededor del año 1992 con un área de 128,02 ha y pasó a 263,26 ha para el año 2012. Estos estanques están rodeados de *A. aureum*, *R. racemosa* y *P. rhizophorae*, por lo que al desarrollarse esta actividad debió talarse una gran área de cobertura manglárica; actualmente, este tipo de producción está prohibida en el área protegida (González y Herrera, 2010).

Por último, se clasificaron las **playas y sedimentos** que corresponden a todas las áreas que están cubiertas por los tres tipos de barras submarinas, insulares y litorales, las cuales se distribuyen a lo largo de todo el humedal. Para el caso de la nubosidad, esta se presenta en algunas áreas del sector sur del humedal, limitando los procesos de clasificación ya que no se conoce que cobertura se encuentran en esos lugares.

Todos los resultados que se alcanzaron con la clasificación se validaron para conocer la calidad de este trabajo, entre los métodos esta la confirmación basada depuración manual realizada en Arc Map, la segunda forma de validación fue en campo a partir de la toma de puntos de GPS realizado junto a cada especie manglárica del HNTS y como tercero es la técnica de la matriz de confusión propuesta por Chuvieco (2010).

El primer método de validación mejora la clasificación mediante la depuración de las 11 clases, además de su comprobación. Para la comprobación en el campo, se hace mediante los 190 puntos de las diferentes especies de mangle (Anexo 5); y para el método de la matriz de confusión para toda la clasificación da como resultado 83,78%, siendo el mangle *R. racemosa* es el que tiene mayor aceptación en su clasificación, ya que supera el 80% y la clase con un menor porcentaje de aprobación es *R. mangle*, porque tiene 73% (Tabla 16). Según Chuvieco (2010), cuando la matriz de confusión supera el 80% es aprobada.

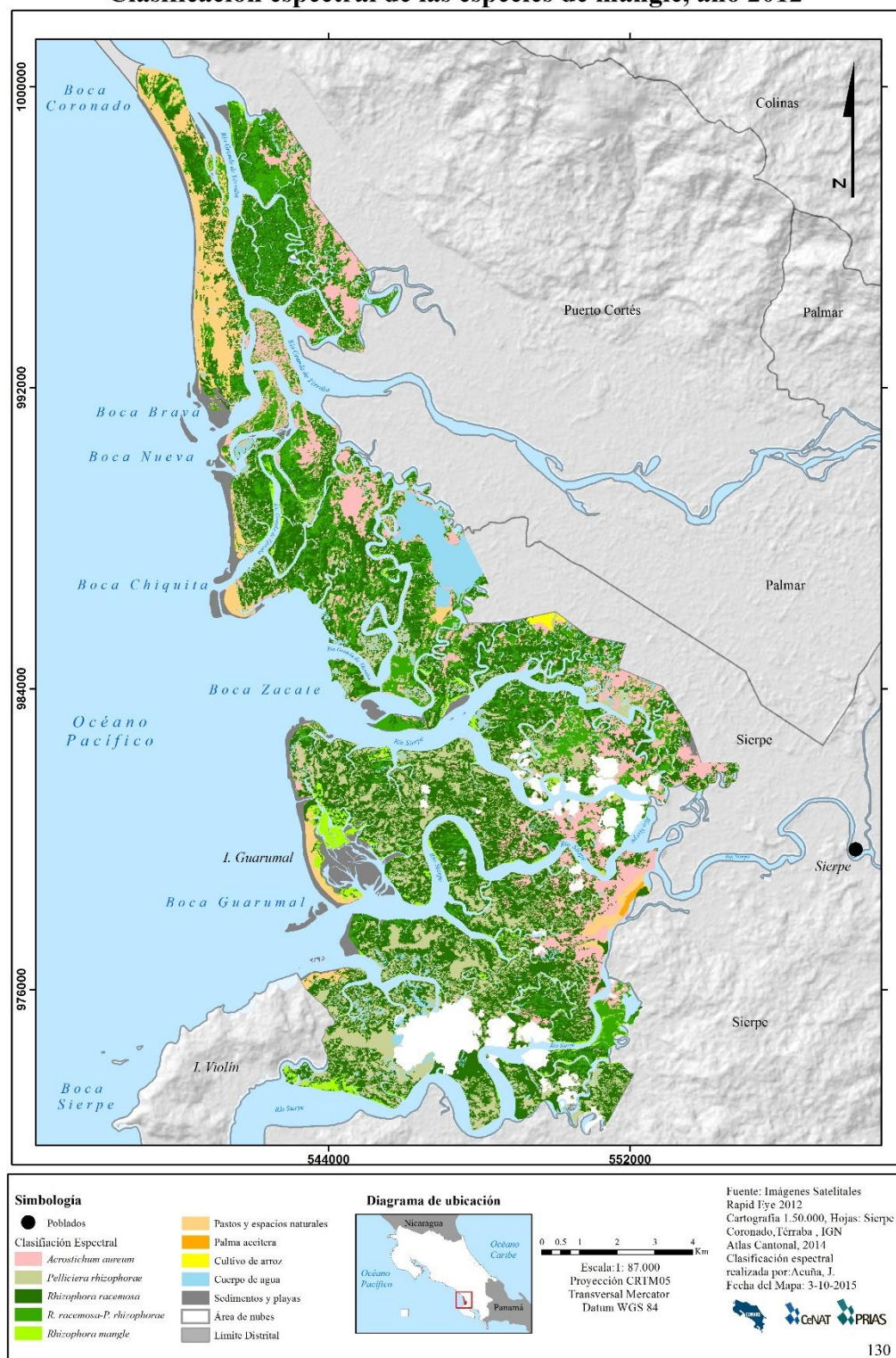
Tabla 16. Matriz de la confusión aplicada a la clasificación espectral: Humedal Nacional
Térraba Sierpe para el año 2012

Matriz de confusión						
Clase	<i>R. racemosa</i> %	<i>R. racemosa</i> %	<i>R. racemosa-P. rhizophorae</i> %	<i>R. mangle</i> %	<i>A. aereum</i> %	Total
<i>R. racemosa</i> %	81.25	8	0	0	0	28.89
<i>R. racemosa</i> %	6.25	84	0	0	0	21.94
<i>R. racemosa-P. rhizophorae</i> %	0	8	79	0	0	14.06
<i>R. mangle</i> %	8	6	0	73.33	0	16.02
<i>A. aereum</i> %	0	0	8	0	82	12
No clasificado %						7.09
Total						100
Overall Accuracy = (62/74) 83.78%						
Kappa Coefficient= 0,7135						

Fuente: Chuvieco, (2010).

Mapa 15. Clasificación espectral de las especies de mangle para el año 2012: Humedal Nacional Térraba Sierpe

Mapa N° 15: Humedal Nacional Térraba Sierpe
Clasificación espectral de las especies de mangle, año 2012



5.2. Comparación de la clasificación de las especies de mangle con la evolución geomorfológica

El HNTS como se ha mencionado ha enfrentado cambios constantes en su terreno, lo que ha causado la pérdida y ganancia de áreas de sedimentos. En el caso de la cobertura manglarica, esta se ve influenciada en forma directa por estos cambios en el terreno; porque muchos de los sectores que sufrieron la erosión de los sedimentos estaban cubiertos por vegetación, la cual fue desapareciendo durante el proceso; por el contrario, en los lugares donde se ganó terreno e inicia el proceso de consolidación del suelo, por lo que se da una colonización de diferentes especies de mangle.

Mediante la clasificación espectral, se conoce cuáles son las especies que han ido colonizando las áreas que se han establecido, específicamente las barras litorales que son las que están cubiertas por vegetación. Como se especifica en la metodología, esto puede conocer únicamente para el año 2012, porque es el año con el que se trabajó para la clasificación; además, esta información sirve para conocer el comportamiento de la vegetación humedal a futuro, ya que puede compararse con otros estudios posteriores.

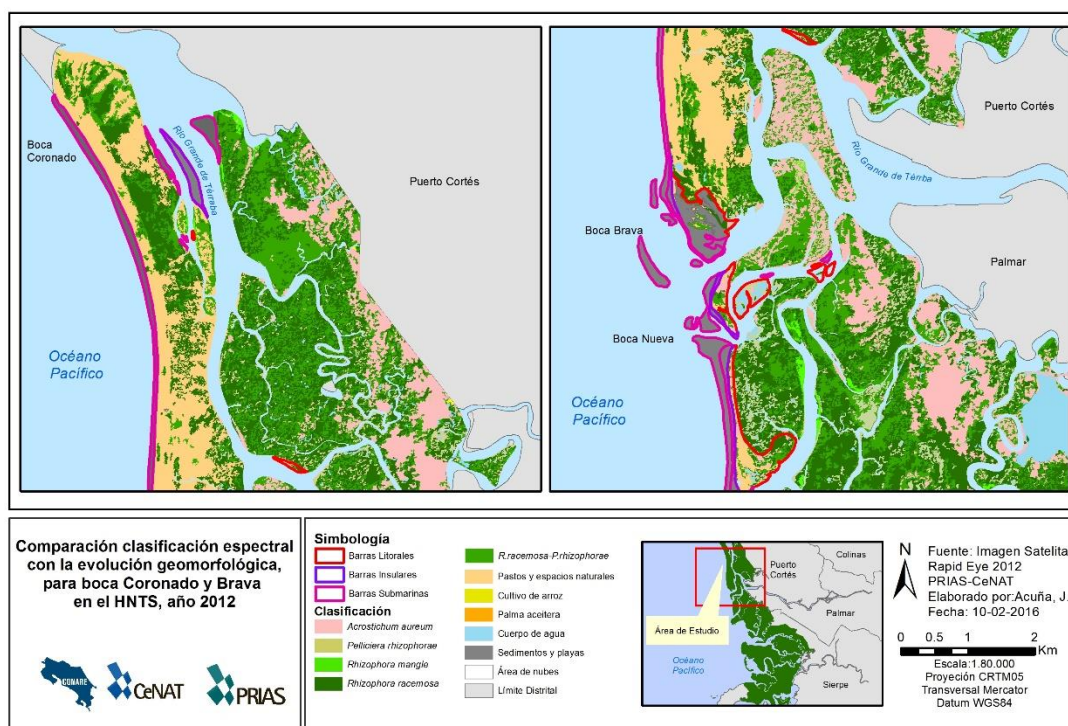
Al analizar los procesos de colonización de la vegetación en las barras litorales, se evidencia que todas las barras consolidadas a lo largo del humedal se encuentran cubiertas por diferentes especies de mangle. Por lo tanto, se identificaron sobre todo las especies de mangle de estas barras, y para su análisis se dividieron por bocas con una orientación norte-sur.

Para el caso de boca Coronado, predominan las barras submarinas e insulares y tan solo se visualiza una pequeña área de barras litorales, las cuales tienen un área de 3 ha, divididas en 1 Ha de *R. rhizophorae*, así como 1,04 ha de *R. racemosa* y 600 m² de la asociación entre *R. racemosa* y *P. rhizophorae* (Figura 38). Por lo tanto, se determina que estas barras presentan vegetación manglarica bien establecida, lo cual se debe a que las especies de mangle mencionadas se caracterizan por ser de sucesión secundaria (Pizarro *et al.*, 2004).

Entre los factores que pudieron favorecer a que esta barra presentara vegetación desarrollada, puede mencionarse su ubicación, ya que esta boca está alejada de la dinámica costera y a su vez, presenta una barra consolidada frente a su costa al lado oeste, que la

protege de la erosión (Figura 38), lo que promueve la consolidación del terreno. También, su cercanía inmediata con el terreno estable al lado este, facilita la colonización de la cobertura vegetación manglárica en esta boca.

Figura 38. Cobertura de mangle en las barras litorales en boca Coronado y Brava:
Humedal Nacional Térraba Sierpe en el año 2012



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Para el caso de boca Brava, también se presentan los tres tipos de barras, donde los sedimentos litorales abarcan una mayor área en comparación con la boca anterior; se observa que en la barra litoral ubicada en el extremo norte de la boca, con una extensión de 54 ha, una gran parte de su terreno no presenta vegetación. Sin embargo, se observan algunos parches aislados de vegetación, donde se encuentran 3 ha de la asociación *R. racemosa* y *P. rhizophorae*, así como un parche monoespecífico de 3 ha de *R. racemosa*, y 1,4 ha de pastos y espacios naturales (Figura 38).

A pesar de que esta barra litoral presenta un gran tamaño, la presencia de poca vegetación puede relacionarse con su exposición a la dinámica costera, lo cual provoca

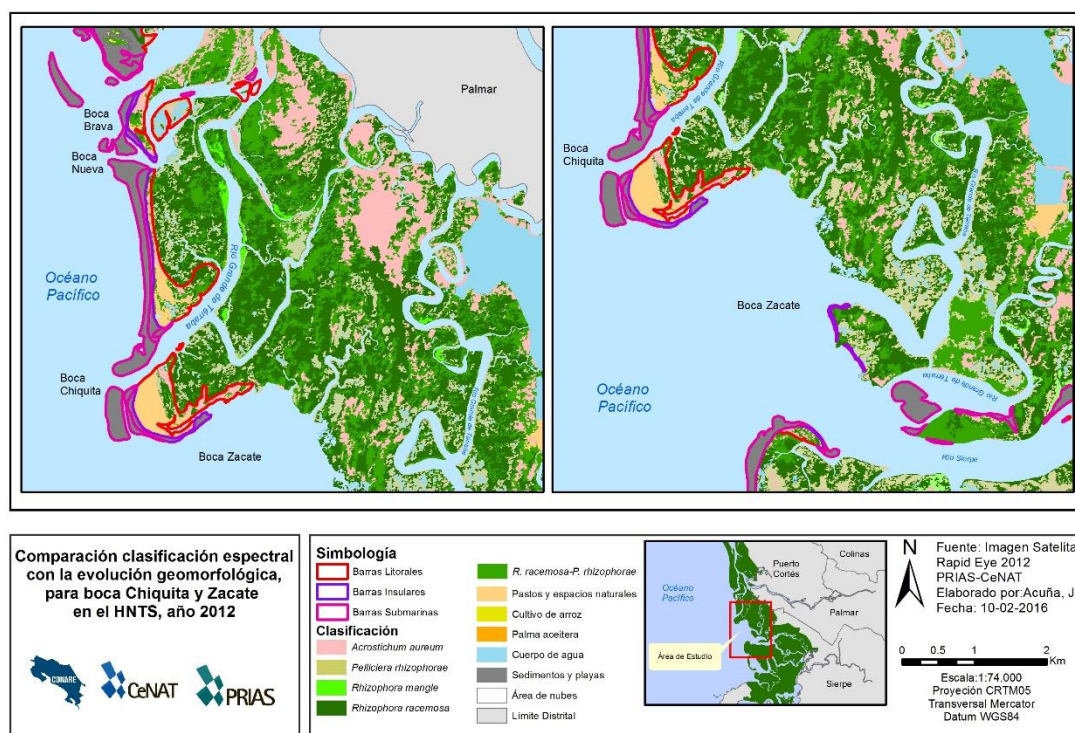
constantes alteraciones en el terreno que dificultan los procesos de consolidación, esto se comprueba con los análisis de evolución geomorfológica, donde se muestran los cambios que ha tenido ese lugar. Además la ubicación de los fragmentos de cobertura vegetal en el centro de esta barra sugiere que están lo suficientemente alejados de los procesos costeros y fluviales que dificultan su establecimiento en el resto del área (Figura 38).

Con respecto a boca Nueva, se encuentra una barra litoral con una extensión de 17 ha, la cual presenta cobertura de vegetación manglárica en toda su área, donde se identifican 12,1 ha de cobertura del helecho *A. aereum*, siendo esta especie la más abundante en estas barras litorales. También, se identifica la asociación manglárica entre *R. racemosa* - *P. rhizophorae* con un área de 4 ha, pastos o espacios naturales con 4 ha y algunos parches de *R. racemosa* que cubren 2,06 ha (Figura 38).

Además, se encuentran otras barras litorales con una extensión de 16 ha. Puede observarse que estas barras se encuentran en su mayoría expuestas al régimen hídrico, con apenas 6 ha ocupadas por vegetación, siendo *P. rhizophorae* la especie más abundante con 4,09 ha, seguido por *R. racemosa* con 3,1 ha y 180 m² de *A. aereum*. A pesar de que esta barra no está expuesta directamente con la dinámica costera, los efectos de las mareas influyen directamente y el terreno consolidado puede encontrarse cubierto por agua en algunas partes; esto se aprecia con dos barras litorales que están ubicadas hacia el este, donde gran parte del terreno está cubierto de agua y solo pequeñas áreas están cubiertas de vegetación.

En boca Chiquita, se encuentra una gran barra litoral que colinda con boca Nueva al norte; estas barras son bastante extensas con un área de 56 ha, puede observarse que la misma está cubierta por vegetación, donde predominan los pastos y espacios naturales con 22 ha, seguidos de *R. racemosa* con 19 ha, así como la asociación *R. racemosa*-*P. Rhizophorae* cubre 11 ha, *A. aereum* con 2 ha y *R. mangle* con 1 ha. La dominancia de los pastos y espacios naturales puede estar relacionado con los cambios constantes que ha tenido la barra, que no permiten la colonización de las especies de mangle, la cual existe desde 1948; estos cambios pueden apreciarse en los cuatro periodos de análisis, donde su área ha crecido y decrecido constantemente (Figura 39).

Figura 39. Cobertura de mangle en las barras litorales en boca Chiquita y Zacate: Humedal Nacional Térraba Sierpe para el año 2012



Fuente: Elaboración propia, 2016

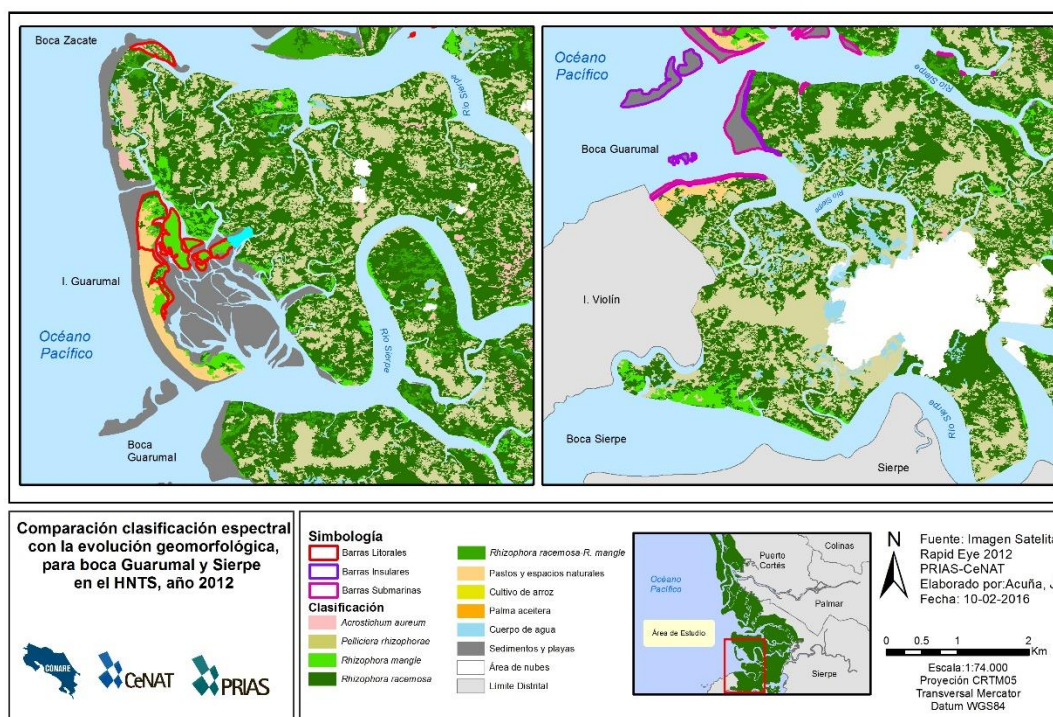
En cuanto a boca Zacate, se ha determinado que esta es una de las bocas con más cambios, dificultando los procesos de consolidación de terreno, esto se comprueba por la mayor cantidad de barras submarinas e insulares en comparación con las barras litorales con tan solo una barra en el sector norte, la cual colinda con boca Chiquita. Esta barra tiene un área de 64 ha, la cual está cubierta por vegetación en su totalidad, donde los pastos y espacios naturales son los más abundantes con un área de 32 ha, *R. racemosa* presenta 18,47 ha, *A. aereum* con 5,03 ha, *R. racemosa -P. rhizophorae* también con 5 ha, y parches monoespecíficos de *P. rhizophorae* con 2,5 ha (Figura 39).

Al igual que la barra litoral que está en boca Chiquita, esta barra es muy extensa y está en contacto con el terreno establecido, el cual tiene un bosque de manglar concreto; sin embargo, estas especies no han logrado colonizar toda la barra y la misma es dominada como ya se mencionó por pastos y espacios naturales. Los constantes cambios en los sedimentos litorales a lo largo del tiempo, con comportamiento de crecimiento y decrecimiento en los

últimos 40 años, ha dificultado el establecimiento de un bosque manglárico, donde también la cercanía a la dinámica costera limita el proceso de colonización.

Las condiciones de las barras litorales en boca Guarumal son pocas, se observa una barra aislada en la parte norte de la boca, colindando con boca Zacate y las demás se encuentran concentradas en el sector este de la isla Guarumal. Para el caso de la barra ubicada al norte de la boca tiene un área de 8 ha, la cual tiene una cobertura de vegetación de 3 ha de *A. aereum*, así como otras 3 ha de asociación *R.racemosa-P.rhizophorae* y 2 ha de *R. racemosa* (Figura 40).

Figura 40. Cobertura de mangle en las barras litorales en boca Guarumal y Sierpe: Humedal Nacional Térraba Sierpe par el año 2012



Fuente: Elaboración propia, 2016.

Las barras litorales ubicadas al este de la isla Guarumal son seis, donde todas están cubiertas por vegetación en su totalidad; la barra que se encuentra en contacto directo con el resto de la isla es la que tiene más extensión con 33 ha, donde la vegetación que predomina es el mangle *R. mangle* con 13 ha, lo sigue los pastos y espacios naturales que cubre 11 ha y *R. racemosa* llega a ocupar 9 ha. La siguiente barra está cercana a la anterior, donde colinda

con la isla en el sector este, la misma tiene una extensión de 17 ha y en su totalidad está cubierta por vegetación de *R. mangle* (Figura 40).

El resto de las barras litorales están en este mismo sector, pero se encuentra entre la isla y el terreno firme, todas tienen diferentes extensiones las cuales son 3 ha, 3,5 ha, 5 ha y 3 ha. Las tres primeras, respetivamente, están cubiertas únicamente por *R. mangle*, las cuales se encuentran recubiertas totalmente por esta especie de mangle y la última barra que a su vez, es la que está más cercana al terreno firme, tiene 2 ha de *R. mangle* y 1 de *R. racemosa*, donde su cercanía al resto del humedal pudo facilitar la colonización de la *R. racemosa* (Figura 40).

En el caso de boca Sierpe, esta como se ha analizado en el capítulo de evolución geomorfológica, se determinó que es una desembocadura con condiciones de mayor estabilidad que las demás, es por esto que probablemente no tiene cobertura de barras de ningún tipo, ya que no está expuesta a dinámicas de erosión y sedimentación significativa, esto se puede observar en la Figura 40.

A partir de estos resultados se puede determinar cuál es la vegetación predominante en todas las barras litorales, a pesar que en cada boca las condiciones son diferentes, por lo tanto, todas las barras litorales tienen una diversidad de vegetación. En general se pueden decir que las especies de mangle que se encuentran dominando en casi todas las barras son *R. racemosa* y *R. mangle*, donde ambas son del mismo género y familia; por lo tanto, esto puede ayudar a que se dé una mayor adaptabilidad en los sedimentos arenosos e inestables (Mainardi, 1996).

Para el caso de *R. racemosa* domina en boca Coronado, Chiquita, así como en boca Brava y en una barra de Guarumal en condiciones de asociación mixta con *P. rhizophorae*; sin embargo, dichas barras las cuales se encuentran dominadas por estas especies de mangle, son sedimentos que han estado desde 1948, cambiando constantemente, ya que se consolida y luego vuelven hacer barras inestables. Por lo tanto, no pueden considerarse como especies colonizadoras de esas barras, ya que no son barras recientes, lo ideal es analizarlas desde su formación sin ningún proceso anterior y posterior de consolidación (Tabla 17).

Tabla 17. Vegetación dominante en las barras litorales en las desembocaduras del Humedal Nacional Térraba Sierpe, para el año 2012

Vegetación dominante en las barras litorales, en las desembocaduras del Humedal Nacional Térraba Sierpe			
Boca	Cantidad de barras litorales	Vegetación dominante	Vegetación secundaria dominancia
Coronado	1	1. <i>R. racemosa</i> (monoespecífica)	<i>P. rhizophora</i> (monoespecífica) y Asociación <i>R. racemosa</i> - <i>P. rhizophorae</i>
Brava	5	1. Asociación <i>R. racemosa</i> - <i>P. rhizophora</i>	<i>R. racemosa</i> (monoespecífica)
		2. <i>A. aereum</i> (monoespecífica)	Asociación <i>R. racemosa</i> - <i>P. rhizophora</i> , y <i>R. racemosa</i> (monoespecífica)
		3. <i>P. rhizophorae</i> (monoespecífica)	<i>R. racemosa</i> y <i>A. aereum</i>
		4-5. <i>P. rhizophorae</i> (monoespecífica)	Asociación <i>R. racemosa</i> - <i>P. rhizophora</i>
Chiquita	1	1. <i>R. racemosa</i> (monoespecífica)	Asociación <i>R. racemosa</i> - <i>P. rhizophora</i> , <i>A. aereum</i> y <i>R. mangle</i>
Zacate	1	1. Pastos y espacios naturales	<i>R. racemosa</i> , <i>A. aereum</i> y <i>P. rhizophorae</i>
Guaruma I	7	1. Asociación <i>R. racemosa</i> - <i>P. rhizophora</i>	<i>A. aereum</i> y <i>R. racemosa</i>
		2. <i>R. Mangle</i> (monoespecífica)	Pastos y espacios naturales y <i>R. racemosa</i>
		3. <i>R. mangle</i> (monoespecífica)	<i>R. mangle</i> (monoespecífica)
		4. <i>R. mangle</i> (monoespecífica)	<i>R. mangle</i> (monoespecífica)
		5. <i>R. mangle</i> (monoespecífica)	<i>R. mangle</i> (monoespecífica)
		6. <i>R. mangle</i> (monoespecífica)	<i>R. mangle</i> (monoespecífica)
		7. <i>R. mangle</i> (monoespecífica)	<i>R. racemosa</i> (monoespecífica)
Sierpe	0	No presenta	No presenta

Fuente: Imágenes Rapid Eye, 2012.

En cuanto a *R. mangle* dominan en seis de las siete barras litorales de boca Guarumal, donde esta especie de mangle se considera colonizadora, ya que estas barras se formaron en los últimos 20 años; por lo tanto, no hubo ningún proceso que ayudara al establecimiento de

este mangle, como es el caso de *R. racemosa* que donde se encuentra dominando se dieron procesos anteriores de consolidación. Por lo que sería importante seguir monitoreando este sector, ya que puede verse los procesos de establecimiento del bosque de mangle a partir de la especie pionera *R. mangle* (Tabla 17).

Para *P. rhizophorae* y *A. aereum* que se encuentran dominando algunas barras de boca Brava, se sugiere que ha sido por los procesos complejos que ha tenido esa boca, donde estas barras han experimentado fragmentación del terreno consolidado y después el procesos de erosión, para luego definirse como barras litorales, por lo tanto, es probable de que en el momento de la separación con el suelo firme, ya estuviera ocupado por mangle piñuela o de negra forra y que posterior a ser barra litoral ya está recubierto por esta vegetación (Tabla 17).

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo compila los principales resultados del estudio, donde se resumen los argumentos más relevantes de los procesos de evolución geomorfológica, la cobertura y usos de la tierra, así como de la clasificación espectral de la cobertura de mangle del HNTS. A su vez, se incluyen las recomendaciones tanto para este trabajo como para instituciones encargadas del área protegida del humedal que quieran utilizar este estudio para fines de conservación y manejo. También se mencionan sugerencias para el monitoreo de los principales agentes modeladores del área de estudio.

6.1. Conclusiones

El entorno del ecosistema del HNTS está expuesto a diferentes agentes modeladores, siendo los procesos costeros, la dinámica fluvial, así como las actividades antrópicas los principales factores modeladores de este espacio geográfico. De estos factores resaltan los agentes costeros, principalmente las mareas, que han ocasionado constantes cambios en el frente deltaico durante los 64 años que abarcó el estudio, dándose mayor pérdida de terreno desde 1948 hasta 1992. Por su parte, a pesar de que se depositaron sedimentos en todo el periodo del estudio, en los últimos 20 años la dinámica de la red hídrica ha causado el mayor depósito de material tanto en la desembocadura del río Terraba como en la del río Sierpe, lo que ha ocasionado que el cordón litoral cambie drásticamente.

Es hasta el año 2012 donde se puede determinar la influencia de los procesos antrópicos en el humedal, ya que se da un mayor aporte de sedimentos en comparación con los años anteriores por la expansión agraria, inmobiliaria y de deforestación en la cuenca del río Grande de Terraba, siendo la parte alta y media de la cuenca donde estas actividades se concentran. Por otro lado, el área del humedal también se ve favorecida por la legislación ambiental, porque se limita el establecimiento de actividades humanas que alteren el ecosistema, lo que permite que en el bosque manglárico se dé una regeneración continua en los lugares donde se acumulan los sedimentos y en algunos sectores, donde se detuvo la deforestación.

En cuanto a los sectores del HNTS que han sufrido mayores cambios geomorfológicos, sobresalen los sectores de boca Brava, Zacate, y Guarumal. En el caso de

boca Brava, esta ha tenido cambios constantes por erosión y depósito de sedimentos, lo que ha provocado la conformación de una nueva boca llamada Nueva; por su parte, boca Zacate destaca por ser uno de los lugares con más terreno perdido, con fuertes cambios en su paisaje. Para el caso de boca Guarumal, esta experimenta la consolidación de una isla que se crea en un periodo de 44 años, con un evidente proceso de colonización por la vegetación; además, para el año 2012, se presenta un incremento en los procesos de sedimentación en el sector este de la isla Guarumal, lo que resulta en la unión de la isla con el terreno de la llanura deltaica en marea baja, mediante la formación de barras litorales, insulares y submarinas.

Por otro lado, la llanura deltaica también ha experimentado modificaciones importantes en su cobertura manglárica, como resultado tanto de procesos naturales como antrópicos. Para el periodo de 1948-1972 los procesos erosivos tanto en la llanura deltaica como en las barras litorales son el principal factor que produce la pérdida de la vegetación manglárica, superando el proceso de sedimentación que favorece el aumento de vegetación. En el periodo 1972-1992, los procesos erosivos son de igual manera el factor principal en la pérdida de manglar; aunque la expansión agrícola, el aprovechamiento forestal y la maricultura también contribuyen de manera importante, lo cual se relaciona con la falta de empleo en la zona y el desarrollo de nuevas formas de subsistencia.

Dados estos impactos en el humedal, en el siguiente periodo 1992-2012 se desarrollan legislaciones ambiental (Ley Forestal N° 7575, y Ley Orgánica del Ambiente N° 7554 para la prohibición de dichas actividades antrópicas, lo cual ha permitido la recuperación del ecosistema principalmente por la consolidación del terreno en las barras litorales y la colonización de especies como *R. mangle* y *R. racemosa*. Sin embargo, la expansión agrícola ha seguido creciendo, aunque de forma menos expansiva, y la vegetación manglárica aún es invadida por los cultivos, lo que amenaza los grandes parches boscosos aún presentes.

Es necesario contemplar que dentro del área protegida del humedal y en la zona de amortiguamiento existen comunidades como son Cantarana, Ajuntaderas, Boca Brava, Chiquita, Isla Guarumal, Sierpe, Puerto Cortes, entre otras; que dependen de forma inmediata de los recursos que les proporciona el humedal, tales como la pesca, extracción de moluscos y madera, y el turismo. Por lo tanto, las decisiones que se tomen en cuanto al adecuado ordenamiento del área protegida deben involucrar también a la población.

6.2. Recomendaciones

A pesar de que el estudio trató de realizarse de forma precisa, principalmente a través del trabajo de campo y con el monitoreo de fotografías aéreas e imágenes satelitales, para el desarrollo de los resultados ambos procesos siempre traen consigo limitaciones. Para el caso del trabajo de campo, por falta de recursos económicos y de accesibilidad al ecosistema, algunas zonas no fueron visitadas y quedaron sin comprobación, aunque se aplicaron otros métodos de validación; por tanto, se recomienda en futuros estudios llevar a cabo un trabajo de campo que abarque mayores áreas para perfeccionar la metodología. En cuanto a las fotografías aéreas, en el periodo 1972-1992 se encontraron zonas sin cobertura de fotografías, por lo que se recomienda utilizar otras fotografías o imágenes satelitales como las Landsat que tienen imágenes a nivel temporal; además, para el caso de la evolución geomorfológica debería hacerse un monitoreo cada 10 años, para recolectar más datos de la tasa de cambio.

Este estudio realizado en el HNTS consiste en un análisis temporal, donde logran identificarse los cambios que se han dado en el transcurso de los años, tanto a nivel geomorfológico como de cobertura manglarica, lo cual es una herramienta muy útil para seguir monitoreando la dinámica de los sedimentos y de las poblaciones de las diferentes especies de mangle. También, deberían monitorearse con ayuda de estaciones de predicción de mareas procesos costeros, tales como las corrientes marinas, dirección de las olas y niveles del mar; ya que estos son los principales agentes modeladores en el humedal. Este futuro monitoreo ayudaría en gran medida a la conservación de este rico ecosistema, el cual aporta importantes servicios ecosistémicos a la población.

En cuanto a las poblaciones humanas en el humedal, existen muchas comunidades que habitan tanto dentro del humedal como en sus alrededores las cuales dependen de forma directa de los recursos del HNTS; por lo tanto, es importante implementar con ayuda de proyectos y actividades que ayudan a la población a subsistir con impactos mínimos sobre el ecosistema. Entre las sugerencias destaca el ecoturismo basado principalmente en observación del mangle y en la avifauna; la investigación, la cual podría generar recursos de información sobre el área, así como económicos por la demanda de hospedaje y transporte; además, se plantea la producción de miel como una alternativa viable, apoyada en la experiencia de Cuba donde se utiliza la floración de los árboles de *Avicennia* y de

Rhizophora para la apicultura (Pizarro *et al.*, 2004); lo cual no está prohibido en la legislación nacional y puede significar un aporte económico considerable con el establecimiento de granjas apícolas organizadas.

El historial de cambios e impactos en el HNTS sugiere una alta resistencia del ecosistema, lo cual ha permitido que se mantenga una gran diversidad y la mayor área boscosa de mangle en Centroamérica. Sin embargo, deben atenderse tanto los impactos antrópicos mencionados como otras presiones potenciales como son el Proyecto Hidroeléctrico Diquís y el Proyecto de construcción de un aeropuerto internacional cercano a la comunidad de Sierpe, los cuales, respectivamente, podrían provocar un alto impacto en caudal del río Grande de Térraba alterando la dinámica natural de sedimentos y salinidad, y deteriorar la capacidad de carga del área protegida con la llegada masiva de turistas.

Finalmente, debe promoverse el ordenamiento de las áreas protegidas de forma paralela a las decisiones de la población para formar un entorno de convivencia justa, donde se beneficien los habitantes y se proteja el medio ambiente. Además debería valorarse seriamente una propuesta de manejos de cuencas donde se apliquen ideas para fomentar el desarrollo sostenible de la cuenca del río Grande de Térraba y, consiguientemente del humedal mismo, ya que este es impactado directamente por las actividades en la parte media y alta de la cuenca.

6. Bibliografía

- Acuña, G. (2006). Producción de piña en Caribe y Pacífico Sur de Costa Rica. En: Revista Ambientico. Vol. 158. (pp 2-5).
- Adame, M. y Kauffmann, B. (2010). Determinación de la estructura y existencias de carbono en manglares de la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an. Fondo Mexicano para la conservación de la naturaleza. Recuperado: <http://www.camafu.org.mx/index.php/alianza-conanp-fmcn-para-areas-protegidas-y-cambio-climatico/articles/determinacion-de-la-estructura-y-existencias-de-carbono-en-manglares-de-la-reserva-de-la-biosfera-de-sian-kaan.html>
- Alfaro, S. (2011). Cobertura y uso de la tierra en el ecosistema de mangle y zona ecotonal del corredor del mangle, desde la bahía de Jiquilisco, El Salvador, hasta el estero Padre Ramos, Jiquilillo, Nicaragua. Revista Geografía de América Central. Vol. 2, N°47. (pp 1-19).
- Amador, M., y Sánchez, J. (2011). Estudio Regional sobre el Desarrollo Local de los Cantones (Trans) Fronterizos del Pacífico Sur de Costa Rica. Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica. Recuperado: <http://www.uned.ac.cr/extension/images/ifcmdl/CONTENIDO1.pdf>
- Barrantes, M. B., y Cerdas, A. (2015). Distribución espacial de las especies de mangle y su asociación con los tipos de sedimentos del sustrato, en el sector estuarino del Humedal Nacional Térraba-Sierpe, Costa Rica. Rev. Biol. Trop, 63(1), 47-60.
- Barrantes, R. (2014). Investigación: un camino al conocimiento, a un enfoque cuantitativo, cualitativo y mixto. San José, Costa Rica: UNED
- Barton, B. (1995). Valoración económica parcial alternativa de manejo para los humedales de Térraba Sierpe, Costa Rica. Tesis de Posgrado, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Recuperado el 8 de noviembre de 2014, desde: https://www.researchgate.net/profile/David_Barton18/publication/305692183_Valoracion_economica_parcial_de_alternativas_de_manejo_para_los_humedales_de_Te

rrabaSierpe_Costa_Rica/links/579a0f9608ae2e0b31b14487.pdf?inViewer=0&pdfJs
Download=0&origin=publication_detail

- Beggs, E., y Moore E. (2013). El Paisaje Social de la Producción de Aceite de Palma Africana en la Región de Osa y Golfito, Costa Rica. San José, Costa Rica. INOGO, Stanford Woods Institute for the Environment. Recuperado: <http://inogo.stanford.edu/sites/default/files/Palma%20an%C3%A1lisis%20social%20INOGO%20Junio%202013.pdf>
- Beita, I., Ramírez, A., García, V., y Vargas. C. (2002). Prevención y resolución de potenciales conflictos socioambientales en la cuenca del río Térraba: El caso del proyecto hidroeléctrico Boruca. *Revista Geográfica de América Central*. Vol 1, N° 40 (pp 83-100).
- Silva, B., Barboza, P., Rodríguez, F., y Gairaud, C. (2015). Implicaciones sedimentológicas sobre el cambio en la cobertura del bosque de manglar en Boca Zacate, Humedal Nacional Térraba-Sierpe, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. Vol. 3, N°63. (pp. 591-601).
- Bird, E. (2007). *Coastal geomorphology an introduction*. Australia, University of Melbourne JohnWiley & Sons
- Bloom, A. (1974). *La superficie de la tierra*. Barcelona, España. Omega
- Brenes, C. (2006). *Sistemas de Información Geográfica*. Recuperado de: <http://www.oirsa.org/aplicaciones/subidoarchivos/BibliotecaVirtual/sistemasinfgeog.pdf>
- Brenes, L. G., ySolano, F. J. (1993). Condición geográfica de Isla Violín. *Revista Reflexiones*. Vol.1, N°7. (pp. 2).
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal*, Vol. 5, N°54. (pp. 464-465).

- Calderón, C., Aburtol, O y Ezcurra, E. (2009). El valor de los manglares. Boletín bimestral de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Revista Bio Diversitas. Vol 1, N°82. (pp.2-6).
- Cedeño, B., Hernández, A., López, A. y Villalobos, E. (2010). Caracterización Socioeconómica de la cuenca del Río Grande de Térraba. Heredia, Costa Rica. Heredia, Costa Rica.
- Centro Nacional de Alta Tecnología. (2009). Tutorial de ENVI Georeferenciación y clasificación de Imágenes MASTER 2005. San José, Costa Rica
- Chuvieco, E. (2010). Teledetección ambiental. La observación de la Tierras desde el espacio. España: Arial.
- Cifuentes, M. (2012). Evaluación de carbono a nivel de ecosistema en el área silvestre protegida humedal Térraba-Sierpe. Biodiversidad Marino Costera en Costa Rica y Adaptación al Cambio Climático pp. 2-26. Recuperado: http://www.biomarcc.org/download_PDF/SerieTecnica1_CarbonoSierpe.pdf
- Comité Sectorial Regional Agropecuario Región Brunca (2010). Plan regional del sector productivo 2007-2010. San José, Costa Rica. Recuperado: http://www.infoagro.go.cr/MarcoInstitucional/Documents/PRDA_CentralSur.pdf
- Contraloría General de la Republica (2011). Informe de los resultados de la auditoría operativa acerca del cumplimiento por parte del estado de las medidas de protección y conservación de los humedales de importancia internacional (Convención RAMSAR). San José, Costa Rica. Recuperado: https://cgrfiles.cgr.go.cr/publico/jaguar/sad_docs/2011/DFOE-AE-IF-13-2011.pdf
- Denny, P. (2006). Mangroves and sediment dynamics along the coasts of southern Thailand. Universidad de Wageningen. Chuanf Mai, Thailand
- Denyer, P., Montero, W., Alvarado, G.E. (2003). Atlas tectónico de Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 79 p

- Forester, S., Arroyo, D. (2014). Ecoturismo en el Humedal Nacional Térraba Sierpe: herramientas para su desarrollo. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Recuperado:
<http://www.srp.ucr.ac.cr/sites/default/files/Ecoturismo%20en%20el%20Humedal%20Nacional%20Te%CC%81rraba%20Sierpe.%20Herramientas%20para%20su%20desarrollo.pdf>
- Giri, L., Long, J, *et al* (2014). Distribution and dynamics of mangrove forests of South Asia. *Journal of Environmental Management*. Vol. 1. N°146. (pp. 101-111)
- Gisbert, J., Ibáñez, S., Moreno, H. (2010). La textura de un suelo. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Valencia, España.
- Gómez, L. (1986). Vegetación de Costa Rica. San José, Costa Rica: UNED.
- González, A., y Herrera, P. (2010). Diagnóstico para la Elaboración de un Plan de Manejo para los Manglares del Golfo Dulce en el Área de Conservación Osa, Costa Rica. “. Proyecto para Apoyar el Manejo Sostenible y Conservación de la Biodiversidad de los Manglares en el Canal Gbaga en Benín y el Golfo Dulce en ACOSA, Costa Rica”. Fundación Neotrópica, San José, Costa Rica.113p
- Goudie, A. (2004). *Encyclopedia of Geomorphology*. Routledge, Taylor & Francis Group. England. 1156 pp.
- IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). (2000). Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. Recuperado el 13 de marzo de 2015, desde: <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/srl-sp.pdf>
- IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). (2006). Humedales. Recuperado el 16 de mayo de 2015, desde: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_07_Ch7_Wetlands.pdf
- Hammel, B. E., Grayum, M. H., Herrera, C., & Zamora, N. (2003). *Manual of Plants of Costa Rica, Volume III: Monocotyledons (Orchidaceae-Zingiberaceae)*. Missouri Botanical Garden Press. Missouri, USA.

- Hammel, B. E., Grayum, M. H., Herrera, C., & Zamora, N. (2010). Manual of Plants of Costa Rica, Volume V: Dicotyledons (Clusiaceae-Gunneraceae). Missouri Botanical Garden Press. Missouri, USA
- Hernández, H. (1985). Costa Rica: Evolución territorial y principales censos de población 1502 – 1984. San José, Costa Rica: EUNED
- Herrera, W. (1986). Clima de Costa Rica. Vol.2 En. L.D.Gómez. ed., Vegetación y Clima de Costa Rica. Con 10 mapas (escala 1:200.000). EUNED. San José.
- Herrera, W. y Gómez, L. (1993). Mapa de Unidades Bióticas de Costa Rica. Escala 1:685.000. US Fish and Wildlife Service-TCN-INCAFO_CBCCR_INBio-Fundación Gómez-Dueñas. San José.
- Honey, M., Vargas, E., y Durham, W. (2010). Impacto del turismo relacionado con el desarrollo en la costa Pacífica de Costa Rica (Informe ejecutivo). Center for Responsible Travel. San José, Costa Rica. Recuperado: www.responsibletravel.org/resources/documents/coastal-tourism_documents/informe%20ejecutivo/informe_ejecutivo__impacto_del_turismo_relacionado_con_el_desarrollo_en_la_costa_pacifica.
- Huggett, J. (2007). Fundamentals of Geomorphology. New York: Routledge
- Instituto Amazónico SINCHI (2006). Balance anual sobre el estado sobre el estado de los ecosistemas y el ambiente de la Amazonia Colombiano. Bogotá, Colombia
- Instituto Meteorológico Nacional (2008). Clima, variabilidad y cambio Climático en Costa Rica. San José, Costa Rica. Recuperado: 3 junio de 2015, desde: http://www.cambioclimaticocr.com/multimedia/recursos/mod-1/Documentos/el_clima_variabilidad_y_cambio_climatico_en_cr_version_final.pdf
- Instituto Nacional de Biodiversidad (INBIO). (2012). Día Internacional de la Defensa del Manglar. Recuperado: 20 abril 2015, desde: <http://blog.inbio.ac.cr/inbio/?p=891>

- Instituto Nacional de Estadística y Censo (2000). Censo Nacional, San José, Costa Rica.
Recuperado: 10 septiembre 2015 <http://www.inec.go.cr/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censo (2011). Censo nacional, San José, Costa Rica.
Recuperado: 10 septiembre 2015, desde: <http://www.inec.go.cr/>
- Jiménez, J. (1993). Alternativas de manejo de los manglares en el contexto del Pacífico de Centroamérica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica.
Recuperado: http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_ix/A01-1277-21.pdf
- Kappelle, M., Castro, M., Acevedo, H., Ganzaes, L. y Monge, H. (2002). Ecosistema del área de Conservación (ACOSA). Instituto Nacional de Biodiversidad, INBio. Santo Domingo, Heredia, Costa Rica. Editorial: INBIO
- Kurui, K., Kairo, J., Bosire, J. *et al.* (2013). Mapping of mangrove forest land cover change along the Kenya coastline using Landsat imagery. *Ocean and Coastal Management*. Vol. 1, N° 83. (pp. 19-24).
- Laboratorio de Ingeniería Sísmica (2009). Fallas activas y longitudinales de Costa Rica. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Recuperado: <http://rsn.ucr.ac.cr/index.php/sismologia/fallas-activas-sismologia/2594-falla-longitudinal>
- Lahmann, E. J. (1999). La Reserva Forestal de Terraba-Sierpe, Costa Rica: un ejemplo de uso adecuado del manglar. *Ecosistemas de Manglar en América Tropical*. Instituto de Ecología, México, 291-298.
- Lizano, O. G. (2006). Algunos impactos costeros en Costa Rica debido al calentamiento global. *Revista de AMBIENTICO*, 246 (4), 23-28.
- Lizano, O. G. (2008). Algunos impactos costeros en Costa Rica debido al calentamiento global. *Revista de AMBIENTICO*. Vol. 4, N° 246. (pp. 23-28).

- Lizano, O. G. (2015). La dinámica oceanográfica frente al Humedal Nacional Térraba-Sierpe y su relación con la muerte del manglar. *Revista de Biología Tropical/International Journal of Tropical Biology and Conservation*. Vol.63, N° 1. (pp. 29-46).
- Lizano, O., Amador J., Soto, R. (2001). Caracterización de manglares de Centroamérica con sensores remotos. *Revista Biológica Tropical*. Vol. 1, N°49. (pp. 331-340).
- Lücke, O. (1986). Consideraciones básicas sobre la aplicación de metodologías de análisis en la planificación del uso de la tierra y la toma de decisiones (No. CATIE L941c; C 25683). CATIE, Turrialba (Costa Rica). Dept. de Recursos Naturales Renovables.
- Lugo, J. (2011). *Diccionario Geomorfológico*. Instituto de Geografía, UNAM. Ciudad de México, Mexico. pp.479.
- Madrigal, J. (1998). Cantón de Osa: Caracterización de la cuenca inferior del río grande de Térraba. Comisión Nacional de Emergencias. San José, Costa Rica. Recuperado: 16 de julio de 2015, desde: <http://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/pdf/spa/doc894/doc894-f.pdf>
- Mainardi, V. (1996). El manglar de Térraba Sierpe en Costa Rica (Vol. 284). CATIE.
- Mauri, C. y Gonzales, J. (2010). *Compendio de legislación ambiental Costa Rica*. Recuperado el 9 de enero de 2016, desde: <http://canapep.com/wp-content/uploads/2015/12/Compendio-Legal-Ambiental-2010.pdf>
- Méndez, L. y Guzmán, J. (2006). Ecosistema de manglar en el Archipiélago Cubano Estudios y experiencias enfocados a su gestión. La Habana: Editorial Académica.
- Miranda, M. (1982). Cambio del uso del suelo en General Viejo de Pérez Zeledón. *Revista Geográfica de América Central*. Vol. 2, N° ,17-18. (pp. 99, 121).
- Mora, D. A. (2007). Aproximación al estudio de la historia del cantón de Osa (1914-1990). *Diálogos: Revista electrónica de historia*, 8(2), 5.

- Mora, F. (2013). Morfodinámica litoral de boca zacate, su impacto en la cobertura del bosque de mangle y su relación con las actividades económicas de los habitantes de sierpe, cantón osa, costa rica: recomendaciones para una gestión integrada. (Disertación maestría no publicada). Universidad de Costa Rica, San José.
- Mora, J., Fernando, L. (1987). Costa Rica: Cambios en la distribución de usos del suelo 1963 a 1984. San José, Costa Rica.
- Morera, C., Romero, M y Sandoval, L. (2013). Transformaciones y tendencias futuras en el paisaje periurbano de la región Gran Área Metropolitana (GAM) entre 1986 y 2005. Geografía, Paisaje y Conservación. Heredia, Costa Rica. (Pp.57-96).
- Museo Nacional de Costa Rica (2014). Diversidad Biológica del Diquís II: Humedal Nacional Térraba-Sierpe. San José Costa Rica. Recuperado:16 junio de 2016, desde: <http://ecobiosis.museocostarica.go.cr/ecosistemas/sierpe%20terraba/publicaciones/Diversidad%20biologica%20del%20Diquis%20II%20Humedal%20Terraba-Sierpe.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2006). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005 estudio temático sobre manglares. Colombia.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2005). Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra. Recuperado el 11 de mayo de 2015, desde: http://www.glc.n.org/downloads/pub/docs/manuals/lccs/LCCS2-manual_270208_es.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura (UNESCO). (1994). Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas. Recuperado 3 de febrero de 2015, desde: <http://www.dse.go.cr/en/02ServiciosInfo/Legislacion/PDF/Ambiente/Aguas/ConvencionRAMSAR.pdf>

- Ortiz-Malavasi, E. (2012). Cambios geomorfológicos en el litoral Caribe y Pacífico de Costa Rica. Caso del Complejo Deltico de Sierpe. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*. Vol. 5, N° 15. (pp. 45-54)
- Oviedo, R. (1986). Metodología descriptiva para determinar los posibles usos de las áreas de manglares y su aplicación en Coronado-Sierpe, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza y Universidad de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica.
- Pérez, L. (2005). Teoría de la sedimentación. Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Recuperado: http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_teoria_sedimentacion.pdf
- Pizarro, F., Piedra, L. Bravo, J. Asch J. y Asch, C. (2004). Manual de procedimientos para el manejo de Manglares en Costa Rica. Heredia, Costa Rica: EFUNA
- Quirós, E. y Martínez, K. (2015). Alteraciones climáticas tendrán serias consecuencias en el Sector Agropecuario durante el 2015 y 2016. San José, Costa Rica. Recuperado: http://www.infoagro.go.cr/GestionRiesgo/Documents/ALERTA_AGROCLIMATIC/A/docs/2015-08/El%20Ni%C3%B1o%20junio%202015.pdf
- Rakotomavo, A., Fromard, F. (2010). Dynamics of mangrove forests in the Mangoky River delta, Madagascar, under the influence of natural and human factors. *Forest Ecology and Management*. Vol. 1, N° 259, (pp. 1161–1169).
- Rosales. A. (2016). Leyenda CLC-CR para la generación de para de uso/ cobertura de la tierra de Costa Rica (Leyenda corine land cover versión Costa Rica v 1.0)- San José, CR: MAG/INTA, 2016.pp.104
- Royo, A. (2003). La ocupación del pacífico sur costarricense por parte de la compañía bananera (1938-1984). *Diálogos: Revista electrónica de Historia*. Vol. 4, N°2. (pp. 6).
- Royo, A. (2009). El supuesto determinismo de los cantones bananeros: el cantón Osa, Zona Sur, Costa Rica. *Población y Salud en Mesoamérica*, Vol. 6, N° 2. (pp. 5).

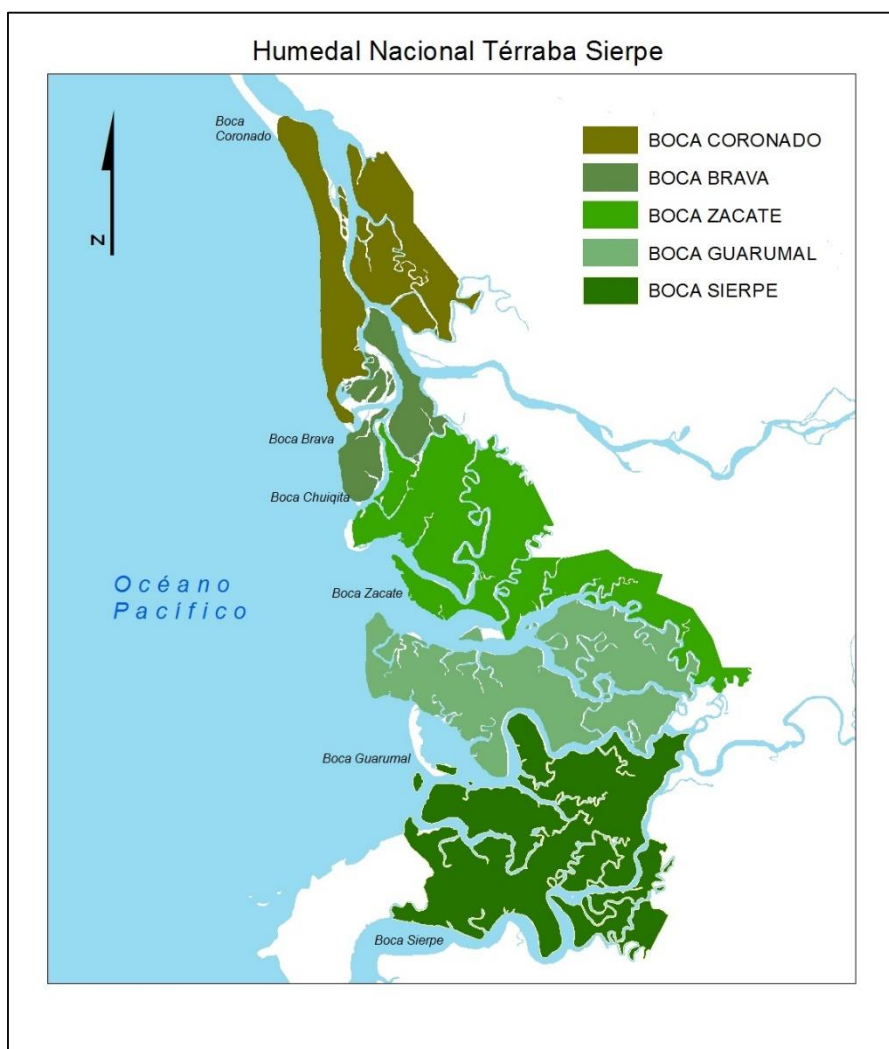
- Rucks, L.; F. García, A. Kaplán, J. Ponce L., y Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Departamento de suelos y Aguas. Facultad de Agronomía. Universidad de la República.
- Salas, E.; Ross, E. y Arias, A. (2012). Diagnóstico de áreas marinas protegidas y áreas marinas para la pesca responsable en el Pacífico costarricense. Fundación Mar Viva. San José, Costa Rica. Recuperado 9 de agosto de 201, desde: http://researchonline.jcu.edu.au/23865/1/AMP-03-2012_2.pdf
- Samper-Villarreal, J., & Silva-Benavides, A. M. (2015). Complejidad estructural de los manglares de Playa Blanca, Escondido y Rincón de Osa, Golfo Dulce, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. Vol. 63, N° 1. (pp. 199-208).
- Sánchez, A. (1997). Conceptos básicos en el uso y cobertura de la tierra, ordenamiento territorial y Sistemas de Información Geográfica. Managua, Nicaragua: CATIE.
- Sánchez, R., Reyes, V., Mora, R. (2013). INFORME FINAL: Valoración económica de usos alternativos de la Tierra del área de amortiguamiento y del Humedal Nacional Terraba - Sierpe (HNTS). San José, Costa Rica. Recuperado: 8 agosto de 2015, desde: http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/informe_final_estudio_de_valoracion_hnts_17-6-13.pdf
- Schwartz, M. (2005) *Encyclopedia of Coastal Science*. Western Washington University, WA, USA.
- Secretaría Técnica Nacional Ambiental (2006). Guía de Humedales. Recuperado: 8 mayo de 2015, desde: <http://www.setena.go.cr/documentos/baulas/ASPECTOS%20TECNICO%20DE%20MANEJO/GUIA%20DE%20HUMEDALES/GUIA%20DE%20HUMEDALES.Pdf>
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2004). Inventario de los humedales de Costa Rica. Recuperado: http://www.sinac.go.cr/documentos/inventario_nac_humales.pdf.
- Summerfield, M. (1991). *Global Geomorphology*. University of Edinburgh: Longman. 479 pp

- Tarté, A. (2013). Manglares de Panamá-Importancia, Mejores Prácticas y Regulaciones Vigentes. Autoridad Nacional del Ambiente y Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá. Recuperado: 8 febrero de 2014, desde: <http://www.oceandocs.org/handle/1834/8043>
- Umaña, A. (2013). El Proyecto Hidroeléctrico El Diquís y el Humedal Nacional Terraba-Sierpe: Análisis de impactos potenciales y opciones hacia el futuro. San José, Costa Rica. Recuperado: <http://inogo.stanford.edu/sites/default/files/Diqu%C3%ADs%20in%20form%20INOGO%20Julio%202013.pdf>
- Umaña, G., y Springer, M. (2006). Variación ambiental en el río Grande de Terraba y algunos de sus afluentes, Pacífico sur de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. Vol. 54, N°1. (pp. 265-272).
- United States Department of Agriculture (2014). Keys to Soil Taxonomy. United States of America.
- Universidad EARTH. (2006). Humedales en Costa Rica. Recuperado: http://usi.earth.ac.cr/humedales/humedales_cr.php
- Vallejos, S., Esquivel, L. y Hidalgo, M. (2012). Histórico de desastres en Costa Rica en Costa Rica. Comisión Nacional de Prevención de Riesgo y Atención de Emergencias. San José, Costa Rica. Recuperado 11 de noviembre de 2015, desde: <http://www.bvs.sa.cr/ambiente/4923.pdf>.
- Van, T., Wilson, N., *et al* (2014). Changes in mangrove vegetation area and character in a war and land use change affected region of Vietnam (Mui Ca Mau) over six decades. *Acta Oecologica*. Vol. 63), N° 1. (pp. 71-8).
- Vargas Espinoza, L. (2013). Resumen del Plan de Manejo del Humedal Nacional Terraba-Sierpe. *La Gaceta*, p. 1-124
- Vargas, E. (2007). El universo del manglar Sierpe-Terraba en Costa Rica. Traducción y cambios Socio-Ambientales el ecosistema estuario. Universidad Nacional, Heredia Costa Rica

Zaldívar, A., Herrera, J., Coronado, C. y Parra, A. (2004). Estructura y productividad de los manglares en la reserva de biosfera Ría Celestún, Yucatán, México. *Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*. Vol. 10, N°1. (pp. 25-35).

7. Anexos

Anexo 1. Ubicación de las bocas: Humedal Nacional Térraba Sierpe



Fuente: Elaboración Propia, 2015

Anexo 2. Formato de matriz de campo para muestras físicas de los suelos en el Humedal Nacional Terraba Sierpe

Matriz de campo para muestras físicas del suelo en el HNT-S										
Numero de muestra	Lugar	Color del suelo	Hora	Condiciones del tiempo (climáticas)	Marea alta o baja	Tipo de vegetación (si existe)	Características del lugar	N° Foto	Fecha	N° Punto GPS

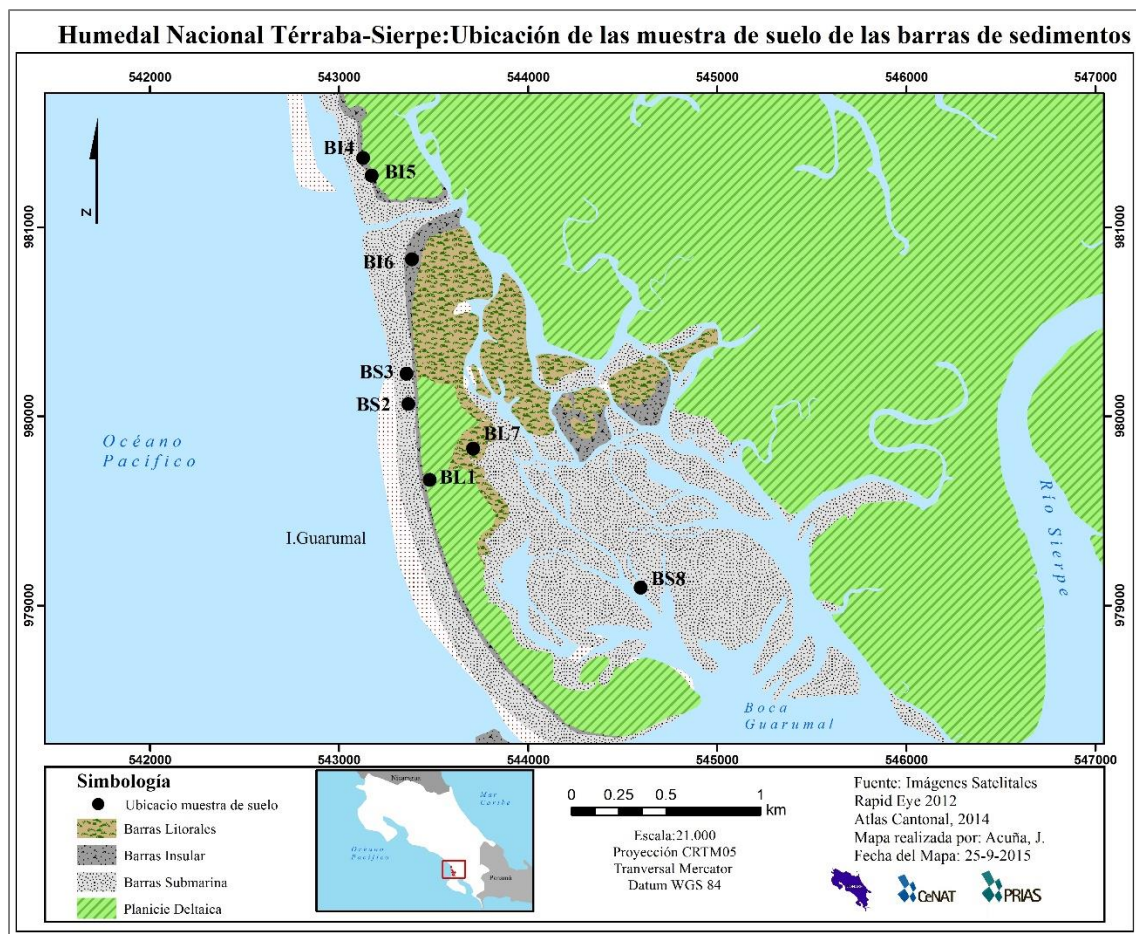
Fuente: Elaboración Propias, 2015

Anexo 3. Matriz de trabajo de campo para la clasificación espectral de mangle

Matriz de campo para muestras de la clasificación por especies de mangle										
N° Punto de GPS	Lugar	Especie de mangle	Altura mangle	DAP	Estado del árbol	Lugar	Coordenadas X	N° Punto	N° Foto	Observaciones

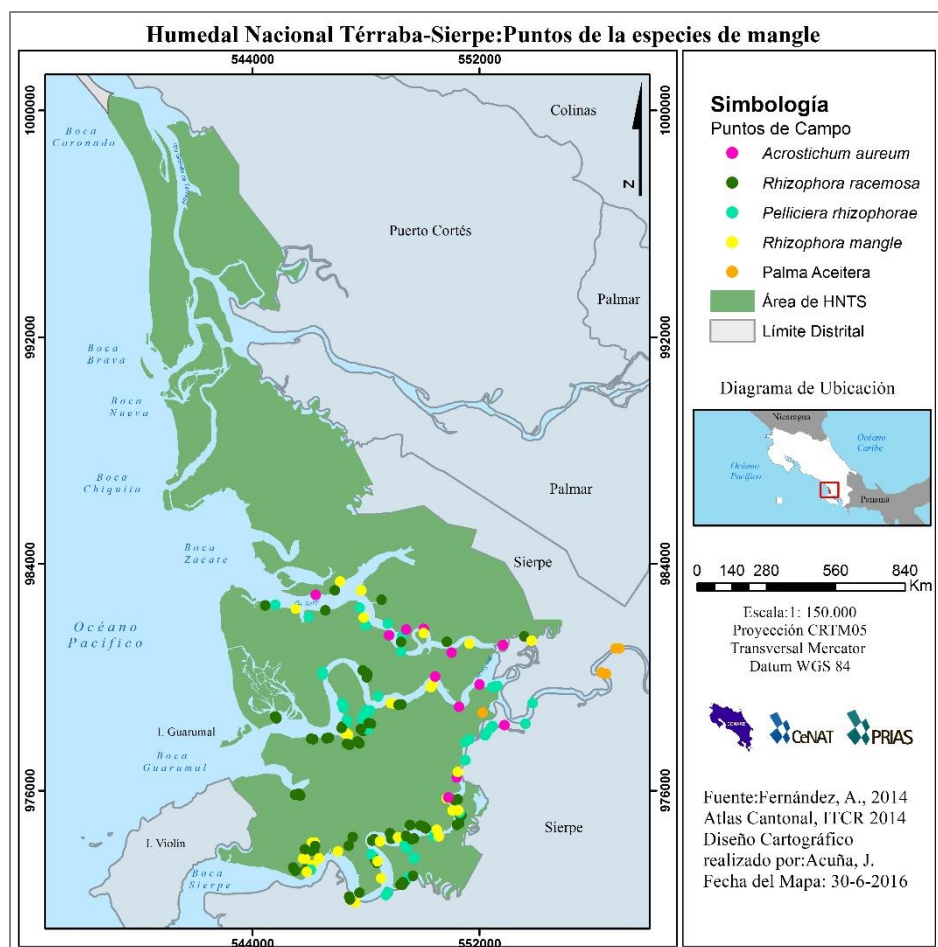
Fuente: Elaboración propia, 2015

Anexo 4. Ubicación de las muestras de suelos de las barras de sedimentos: Humedal Nacional Térraba-Sierpe



Fuente: Propia, 2015

Anexo 5. Ubicación de puntos de muestreo de especies de mangle: Humedal Nacional



Fuente: Elaboración propia, 2016