

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/322367206>

# Propuesta metodológica para una delimitación geográfica integral del área de manglar Nosara, Guanacaste, Costa Rica

Thesis · January 2018

CITATIONS

0

READS

170

1 author:



Iván Sanabria Coto

Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica

23 PUBLICATIONS 10 CITATIONS

SEE PROFILE





TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ÁREA ACADÉMICA AGROFORESTAL  
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES Y  
TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA UNA DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA  
INTEGRAL DEL ÁREA DE MANGLAR NOSARA, GUANACASTE, COSTA RICA**

Proyecto final de graduación sometido al tribunal del Área Académica Agroforestal  
del Tecnológico de Costa Rica para optar por el grado de Máster en Gestión de  
Recursos Naturales y Tecnologías de Producción

IVÁN JOSUÉ SANABRIA COTO

**Campus Cartago, Costa Rica  
2017**

**Este Trabajo Final de Graduación fue aceptado por el Tribunal del Área Académica Agroforestal del Tecnológico de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Máster en Gestión de Recursos Naturales Tecnologías de Producción**

M<sup>o</sup> del Milagro C.O.

**Máster. María del Milagro Carvajal Oses**  
Profesora Tutora

  
-----  
Msc. Paola Solera Steller  
Lectora

Roel Campos

**PhD. Roel Campos Rodríguez**  
Presidente del Tribunal  
**Coordinador del Área Académica Agroforestal**

Iván Sanabria Coto  
Geól. Iván Josué Sanabria Coto  
Sustentante

**2017**

## Dedicatoria

Dedico este trabajo final de graduación a mi madre por su amor y fe inagotable en mí y a mi padre por darme carácter ante la vida, también a mis hermanos y a mi novia; todos ellos que con sus actos, palabras y ejemplo me han alentado siempre a superarme en mis estudios y en la vida. Cualquier beneficio a la sociedad derivado de este humilde trabajo, desde el más sencillo al más trascendente, es en buena parte resultado directo de su amor, ayuda y compañía.

También lo dedico a todas las personas que no nacieron en cuna de oro y se esfuerzan valientemente por salir adelante, las que con todo en contra superan su pasado, sus limitaciones y su entorno para ser mejores, es dedicado también a las personas que ponen en marcha ideas, todas aquellas que innovan, que pasan de las palabras, quejas o la simple crítica a los hechos; en definitiva, a todas aquellas personas que buscan la superación del país, un planeta mejor y una existencia con sentido.

*"La verdadera tragedia es la del hombre que nunca en su vida se impulsa para un esfuerzo supremo, nunca utiliza todo su potencial, nunca llega a su plena estatura"*

Arnold Bennett

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por haber logrado culminar esta maestría, a mis seres queridos y a todos aquellos que de una u otra forma me han dado su aporte moral, intelectual y logístico para concretar este Trabajo Final de Graduación.

Doy totales gracias a mi profesora tutora Master. María del Milagro Oses, por su confianza, interés y apoyo constante en dirigir, aportar y llevar con el mejor resultado esta investigación, de la misma manera por el apoyo a la Dirección del Instituto Geográfico Nacional (IGN), y al Ing. Álvaro Álvarez Calderón jefe del Departamento de Geodinámica del IGN por su aporte intelectual en la definición del tema de investigación.

Al Servicio Nacional de Aguas Subterráneas (SENARA), por el acceso a la información de pozos de agua perforados en el área de estudio, al Registro Nacional con su Departamento de Servicios Digitalizados por el acceso a las fotos aéreas históricas y al Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), por los análisis de laboratorio en suelos, sedimentos y aguas.

Agradezco enormemente al Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), con su Maestría en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción, en la cual tuve la oportunidad de cursar tan valioso e innovador posgrado, finalmente a los compañeros (as) y al funcionario de la Escuela de Ingeniería Forestal Carlos Hernández por su profesionalismo en el proceso de guiar al estudiante desde el principio de la maestría. Mis mayores agradecimientos y respeto a todos.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Justificación .....	1
1.2 Importancia del estudio .....	5
1.3 Objetivos .....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos .....	5
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Distribución horizontal de especies vegetales de manglar en función del contexto fisiográfico existente .....	7
2.2 Insumos y técnicas de percepción remota para la investigación del contexto fisiográfico existente en áreas de manglar .....	9
2.3 Marco técnico/legal asociado con la identificación de elementos fisiográficos mínimos, para la delimitación de áreas de manglar en Costa Rica	10
CAPITULO 3. METODOLOGÍA.....	12
3.1 Marco temporal y espacial para la realización de la investigación .....	12
3.2 Resolución metodológica de cada objetivo propuesto .....	13
CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
4.1 Distribución horizontal de especies vegetales en el área de estudio .....	35
4.2 Elementos fisiográficos identificados en el campo .....	40
4.3 Análisis de elementos fisiográficos y su posible relación con las áreas de manglar.....	43
4.4 Límites geográficos propuestos para el Manglar Nosara .....	47
4.4.1 Criterios usados para la delimitación geográfica .....	47
4.5 Validación y justificación de la delimitación geográfica propuesta .....	69
4.5.1 Elementos fisiográficos y su relación con la distribución horizontal de especies vegetales del manglar .....	69
4.5.2 Vulnerabilidad y adaptabilidad ecológica del Manglar Nosara.....	75
4.5.3 Protección de recursos ecosistémicos mediante la propuesta de delimitación geográfica del Manglar Nosara.....	77
CAPITULO 5. CONCLUSIONES.....	79
CAPITULO 6. RECOMENDACIONES .....	81
BIBLIOGRAFÍA .....	83

ANEXO 1 .....	92
ANEXO 2 .....	93
ANEXO 3 .....	94
ANEXO 4 .....	95

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Levantamiento de elementos fisiográficos del área de estudio .....	17
Cuadro 2. Insumos de percepción remota usados para el análisis con SIG .....	23
Cuadro 3. Códigos de laboratorio para muestras y numeración espacial (id) usada en el mapa de ubicación geográfica de las muestras en la figura 12.....	33
Cuadro 4. Distribución de las especies y zonación vegetal correspondiente .....	36
Cuadro 5. Lista de flora por tipo de humedal .....	3736
Cuadro 6. Lista de elementos fisiográficos recabados durante el reconocimiento de campo en el área de estudio y el resumen de sus principales características .....	40
Cuadro 7. Integración de la información fisiográfica .....	43
Cuadro 8. Resumen de la información de SENARA (2016), sobre niveles de agua en pozos .....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema conceptual sobre los dos tipos de metodologías aplicadas por el IGN para la delimitación de la Zona Pública (asociadas a manglares) en la ZMT. ....	3
Figura 2. Elementos del contexto fisiográfico: a. deltas de ríos, b estuarios de marea, c. de laguna, d. arrecife de coral), y vegetación de manglar. ....	9
Figura 3. Áreas de manglar (3), y unidades geomorfológicas de tierras elevadas (1), tierras bajas (2), planicies de mareas (4) y arrecifes de coral (5).....	10
Figura 4. Ubicación del área de estudio (polígono en rojo) para la investigación...13	
Figura 5: Unidad máxima de levantamiento de información de 1 Km por un 1 Km (1 Km <sup>2</sup> ), la distribución de las cuatro parcelas por unidad fue de 20m x 250m. ....	15
Figura 6. Mapa de áreas de levantamiento fisiográfico 1 km <sup>2</sup> cada una dentro de la zona de estudio. (en rojo). ....	16
Figura 7. Imagen correspondiente con una parcela (25m X 250 m) de cuatro en total por unidad de levantamiento de información (1km <sup>2</sup> ) en el área de estudio.....	20
Figura 8. Imagen asociada con una parcela (25m X 250 m), de cuatro en total por área de la unidad máxima de investigación (1km <sup>2</sup> ).....	20
Figura 9. Distribución de la vegetación presente en algunas de las parcelas (25m X 250 m), en el área de estudio. ....	21
Figura 10. Insumos y técnicas de percepción remota utilizados. A. Modelo de Elevación, B. Estereoscopio pares de fotos aéreas, C. Anáglifos de fotos aéreas.	25
Figura 11: Esquema conceptual sobre el tratamiento de la información.....	28



Figura 12. Mapa de ubicación de ejes de transectos, sus parcelas y muestreos de suelos/sedimentos y aguas. ....	30
Figura 13. A, B. Sitios de recolección de muestras de sedimentos, ligados con vegetación de manglar del tipo Mangle Rojo ( <i>Rhizophora Mangle</i> ).....	32
Figura 14. A. Agua recolectada en un cauce activo. B. Muestreos de agua bajo la superficie en terrenos saturados o C. cauces de ríos temporalmente secos. ....	33
Figura 15. Diagrama resumen sobre el abordaje metodológico realizado para la delimitación geográfica. ....	34
Figura 16. Esquema representativo de la zonación del ecosistema de manglares en Tamarindo, Costa Rica según el promedio de la altura de la marea.....	35
Figura 17. Mapa con la ubicación de especies vegetales de manglar.....	38
Figura 18. A. mangle Rojo ( <i>Rhizophora mangle</i> ). B. Majagua ( <i>Hibiscus pernambucensis</i> ) asociada a la vegetación de manglares. ....	39
Figura 19. Mojón asociado con la delimitación física de la Zona Publica en la ZMT . ....	39
Figura 20. Conceptualización espacial inferida sobre contexto fisiográfico y la distribución de especies vegetales de manglar. ....	46
Figura 21. Fotos aéreas que evidencian geomorfológicas producto del análisis de fotos e imágenes aéreas históricas (1944 a 2016).....	48
Figura 22. Fotos e imágenes aéreas históricas que muestran las variaciones geomorfológicas (evidencias) identificadas en el tiempo sobre el área de estudio. ....	50
Figura 23. Mapa de reconstrucción geomorfológica como base para la elaboración del polígono de la delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara.....	51
Figura 24. Mapa sobre las condiciones geológicas asociadas (compiladas) al área de delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara (polígono amarillo). ....	53
Figura 25. Mapa sobre las condiciones hidrogeológicas asociadas con el área (polígono) de delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara.....	56
Figura 26. Mapa sobre los órdenes y subórdenes de suelos/sedimentos asociados con la delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara.....	58
Figura 27. Mapa sobre aspectos texturales de los suelos/sedimentos asociados con la delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara.....	59
Figura 28. Mapa sobre condiciones erosivas/sedimentológicas asociadas con el área (polígono) de delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara. ....	61
Figura 29. Mapa sobre condiciones hidrológicas asociadas con el área (polígono) de delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara. ....	62
Figura 30. Mapa sobre áreas inundables (compiladas) asociadas del área (polígono) de delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara.....	63
Figura 31. Mapa de sombras (relieve) asociado con el área de delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara.....	64
Figura 32. Mapa de pendientes (en grados) producto del relieve asociado con el área (polígono) de delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara. ....	65
Figura 33. Vista de mapas de la cobertura forestal para los años 1944 y 2007. ....	67
Figura 34. Mapa de coberturas forestales realizadas por el MINAE en el 2013 y delimitación de ZP por parte del IGN (GACETA DIGITALN°220, 2009). ....	68

Figura 35. Mapa de nombres texturales (de laboratorio) para muestras de suelos/sedimentos y aguas recolectados. ....	71
Figura 36. Distribución o sucesión horizontal inferida para el área de delimitación propuesta del Manglar Nosara.....	72
Figura 37. Mapa de conductividades eléctricas (por laboratorio) para muestras de agua recolectadas.....	73
Figura 38. Mapa de porcentajes texturales (de laboratorio) para muestras de suelos/sedimentos y aguas recolectadas. ....	75
Figura 39. Mapa final para la delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara, Nicoya, Guanacaste. ....	78

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Cuadro resumen de los resultados de análisis de laboratorio realizados por el INTA, para muestras de suelos/sedimentos y de aguas (id) recolectadas en el campo y observadas en el mapa de ubicación por cada muestra (figura 12)....	92
ANEXO 2. Primer resultado de laboratorio (originales) por parte del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), para la determinación de granulometrías en suelos/sedimentos. ....	93
ANEXO 3. Segundo resultado de análisis de laboratorio realizados por el INTA, sobre la conductividad eléctrica de muestras de suelos/sedimentos y de aguas (id) recolectadas en el campo y observadas en el mapa de ubicación por cada muestra (Figura12).....	94
ANEXO 4. Descripción Pictórico-Morfológica para identificación del bosque de Mangle (INTA; 2013).....	95

## ÍNDICE DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

<b>ASF</b>	Alaska Satellite Facility (Servicio de Satélites de Alaska).
<b>ALOS</b>	Advanced Land Observing Satellite-1 ( <i>Satélite-1 de Observación Avanzada de la Tierra</i> ).
<b>BID</b>	Banco Interamericano de Desarrollo.
<b>CARTA</b>	Costa Rica Airborne Research and Technology Applications (Aplicaciones Aerotransportadas de Investigación y Tecnología de Costa Rica)
<b>CCAD</b>	Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo.
<b>CENIGA</b>	Centro Nacional de Información Geoambiental (MINAE).
<b>CENAT</b>	Centro Nacional de Alta Tecnología.
<b>CNE</b>	Comisión Nacional de Emergencias.

<b>DAC</b>	Distributed Active Archive Center (Centro de Archivo de Distribución Activo de Imágenes SAR).
<b>IFN</b>	Inventario Forestal Nacional.
<b>IGN</b>	Instituto Geográfico Nacional (Costa Rica).
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México).
<b>INTA</b>	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
<b>ITC</b>	International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (Instituto Internacional de Ciencias de la Geo información y Observación de la Tierra de Holanda).
<b>ITCR</b>	Instituto Tecnológico de Costa Rica.
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization (Organización de Alimento y Agricultura de las Naciones Unidas).
<b>GIZ</b>	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional).
<b>OCG</b>	Open Geospatial Consortium (Consortio Geoespacial Abierto)
<b>PALSAR</b>	Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (Radar de Apertura Sintética con configuración de fase tipo L).
<b>PNE</b>	Patrimonio Natural del Estado.
<b>PRCR</b>	Programa de Regularización del Catastro y el Registro.
<b>PRIAS</b>	Programa de Investigaciones Aerotransportadas y Sensores Remotos.
<b>MAG</b>	Ministerio de Agricultura y Ganadería.
<b>MEDs</b>	Modelos de Elevación Digital.
<b>MES</b>	Modelo de Erosión/Sedimentación.
<b>MINAE</b>	Ministerio de Ambiente y Energía.
<b>MINAET</b>	Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones.
<b>MINEREM</b>	Ministerio de Recursos Naturales Energías y Minas
<b>MOPT</b>	Ministerio de Obras Públicas y Transporte.
<b>MP</b>	Ministerio de la Presidencia.
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administración (Agencia Estadounidense de Aeronáutica y Administración Espacial).

<b>RECOPE</b>	Refinadora Costarricense de Petróleo.
<b>REDD</b>	Reducción de las Emisiones producto de la Deforestación y la Degradación ambiental.
<b>SAR</b>	Synthetic Aperture Radar (Radar de Apertura Sintética).
<b>SENARA</b>	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento.
<b>SIG</b>	Sistemas de Información Geográfica.
<b>SINAC</b>	Sistema Nacional de Áreas de Conservación.
<b>SNIT</b>	Sistema Nacional de Información Territorial (IGN).
<b>TERRA</b>	Convenio MINAE-RECOPE para el Desarrollo del Programa Sistema de Acción Territorial para la toma de decisiones en el Sector Energía”, entre los años 1996 y 2000.
<b>TFG</b>	Trabajo Final de Graduación
<b>ZAM</b>	Zona de Amortiguamiento del Manglar
<b>ZMT</b>	Zona Marítimo Terrestre.
<b>ZP</b>	Zona Pública.
<b>ZR</b>	Zona Restringida.

## RESUMEN

Este Trabajo Final de Graduación presenta una propuesta metodológica para la delimitación geográfica integral del área del Manglar Nosara, la cual está asociada con la Zona Pública (ZP) de la Zona Marítima Terrestre (ZMT) del cantón de Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

Actualmente la identificación de las áreas de manglar responde a criterios técnicos normados y aplicados por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación del Ministerio de Ambiente y Energía, estos están fundamentados en el Decreto MINAET N° 36786: Manual para la Clasificación de Tierras dedicadas a la conservación de los recursos naturales dentro de la Zona Marítimo Terrestre en Costa Rica (2011), y el Decreto MINAET N° 35803: Criterios Técnicos para la Identificación, Clasificación y Conservación de Humedales (2010).

No obstante; es por medio de la aplicación de las pautas metodológicas descritas en el Decreto MP-MOPT-MINAET N° 36642: Reglamento de Especificaciones para la delimitación de la zona publica en la Zona Marítima Terrestre (2011), se asigna al Instituto Geográfico Nacional (IGN) la ejecución de las respectivas delimitaciones geográficas tanto físicas (mojones) como digitales de la Zona Pública de la ZMT; el cual debe incluir las correspondientes áreas de manglar, previamente identificadas según la Ley N° 6043 sobre la Zona Marítimo Terrestre (1977) y su reglamento (Decreto Ejecutivo N° 7841-P,1977).

De forma complementaria a lo anterior, esta investigación profundiza en las características del contexto fisiográfico como un condicionante de la distribución horizontal de especies vegetales del manglar, coadyuvando con la delimitación geográfica del Manglar Nosara.

La investigación concluye que la integración de los elementos del contexto fisiográfico justifica en su totalidad, la actual delimitación geográfica (amojonamiento) de las áreas de manglar vinculadas con la ZP en el sector de Nosara. Adicionalmente sugiere un área adicional de amortiguamiento respecto a la delimitación existente, para así facilitar la migración adaptativa (resiliencia) en la distribución de especies vegetales del manglar, como también el desarrollo de recursos ecosistémicos ante futuros cambios costeros ligados al aumento del nivel del mar (vulnerabilidad ecológica).

Los objetivos específicos de este trabajo de investigación muestran de forma secuencial las pautas metodológicas referidas a la identificación de elementos del contexto fisiográfico; así como el respectivo análisis y validación de los criterios asociados, los cuales de forma convergente y sinérgica propician la distribución de especies vegetales del Manglar Nosara para un área específica (delimitación geográfica propuesta). Además, complementan las normativas técnico/legales vinculadas con la delimitación y consecuente protección de las áreas de manglar en las zonas públicas en la ZMT de Costa Rica, logrando conformar una robusta herramienta para la adecuada gestión de los recursos naturales de nuestro país.

**Palabras Clave:** *Manglar Nosara, delimitación geográfica, Zona Publica (ZP), Zona Marítima Terrestre (ZMT), Costa Rica.*

## ABSTRACT

This Final Graduation Project presents a methodological proposal for the integral geographic delimitation of the Nosara Mangrove area, which is associated with the Public Zone (ZP) of the Maritime Terrestrial Zone (ZMT) of the canton of Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

Currently the identification of the mangrove areas responds to technical criteria regulated and applied by the National System of Conservation Areas of the Ministry of Environment and Energy, these are based on the MINAET Decree N ° 36786: Manual for the Classification of Land dedicated to the conservation of natural resources within the Maritime Terrestrial Zone in Costa Rica (2011), and MINAET Decree No. 35803: Technical Criteria for the Identification, Classification and Conservation of Wetlands (2010).

However; is through the application of the methodological guidelines described in the Decree MP-MOPT-MINAET No. 36642: Specifications Regulation for the delimitation of the public area in the Maritime Terrestrial Zone (2011), is assigned to the National Geographic Institute (IGN) the execution of the respective geographical boundaries both physical (milestones) and digital boundaries of the Public Zone of the ZMT; which must include the corresponding mangrove areas, previously identified according to Law No. 6043 on the Maritime Terrestrial Zone (1977) and its regulations (Executive Decree No. 7841-P, 1977).

In a complementary way to the previous thing, this investigation deepens in the characteristics of the physiographic context as a conditioner of the horizontal distribution of vegetal species of the mangrove, contributing with the geographical delimitation of the Nosara Mangrove. The investigation concludes that the integrations of the elements of the physiographic context fully justify the current geographical delimitation (demarcation) of the mangrove areas linked to the ZP in the Nosara sector. Additionally, it suggests an additional area of buffer to the current existing delimitation that serves to facilitate adaptive migration (resilience) in the distribution of plant species of the mangrove as well as the development of ecosystem resources in the face of future coastal changes linked to the rise in sea level (vulnerability ecological).

The specific objectives of this research work show sequentially the methodological guidelines referred to the identification of elements of the physiographic context; as well as the respective analysis and validation of the associated criteria, which converge and synergistically condition and favor the distribution of plant species of the Nosara Mangrove for a specific area (proposed geographical delimitation). In addition, they complement the technical / legal regulations related to the delimitation and consequent protection of mangrove areas in public areas in the ZMT of Costa Rica, achieving a robust tool for the proper management of natural resources in our country.

**Keywords:** *Nosara Mangrove, geographical delimitation, Public Zone (ZP), Terrestrial Maritime Zone (ZMT), Costa Rica.*

# CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Justificación

El área del Manglar Nosara, se encuentra asociada al sector costero del Pacífico Norte de Costa Rica; el mismo posee las siguientes características que justifican su escogencia:

- Según Samper & Benavides (2015) en Costa Rica, el 99% de los manglares se ubican en la costa Pacífica, con una cobertura total estimada de 41 000 hectáreas de costa.
- De acuerdo con Arguedas (2015) los manglares ofrecen diferentes servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, regulación, culturales y de apoyo, control de inundaciones, sustratos ricos en nutrientes para la agricultura, árboles para madera y leña, oportunidades para la recreación. En el caso de Costa Rica (Golfo de Nicoya), se suma su valor económico asociado a la producción de moluscos, secuestro de carbono y su valor ecoturístico.
- Valverde et al. (2016) indican que las características geomorfológicas predominantes de la costa pacífica costarricense, consistente de playas en el frente de llanuras aluviales y marismas, convierte a esta región en una zona susceptible a la expansión marina como resultado del ascenso del nivel del mar.
- Evaluar la posible adaptabilidad ecológica del Manglar Nosara según Valverde et al. (2016), relacionado con la resiliencia entendida como la capacidad de los manglares de migrar naturalmente hacia el continente como respuesta al creciente nivel del mar, de forma tal que absorba y se reorganice ante el eventual ascenso en el nivel del mar de los efectos del estrés para mantener sus funciones, procesos y estructuras
- Ante el aumento de la presión económica sobre las áreas costeras, se facilita el estrangulamiento de las posibles zonas adaptativas para la distribución de especies vegetales de manglar ante cambios en la línea de

costa por aumento del nivel del mar (cambio climático) o bien por hundimientos continentales (tectonismo).

- Existe una óptima cobertura de información geoespacial histórica y de investigaciones multidisciplinarias dentro del área de estudio propuesta.
- El manglar Nosara se encuentra identificado en el Mapa de Tipos de Bosque de Costa Rica del MINAE 2013 del Centro Nacional de Información Geoambiental (CENIGA) y delimitado físicamente (amojonado), como parte de la Zona Pública de la ZMT por parte del Instituto Geográfico Nacional (IGN), y oficializado en el Sistema Nacional de Integración Territorial (SNIT).

Cabe señalar que la estrecha correlación entre las áreas de manglar y la Zona Pública fue establecida en el artículo N° 11 de la Ley sobre la Zona Marítimo Terrestre N° 6043 (1977), donde: *“Zona Pública es también, sea cual fuere su extensión, como la ocupada por todos los manglares de los litorales continentales e insulares y esteros del territorio nacional”*. Adicionalmente el Decreto MP-MOPT-MINAET N° 36642: Reglamento de Especificaciones para la delimitación de la zona publica en la Zona Marítima Terrestre (2011) agrega que la delimitación oficial de la Zona Pública es acción exclusiva del Instituto Geográfico Nacional (IGN), por medio de dos metodologías (figura 1).



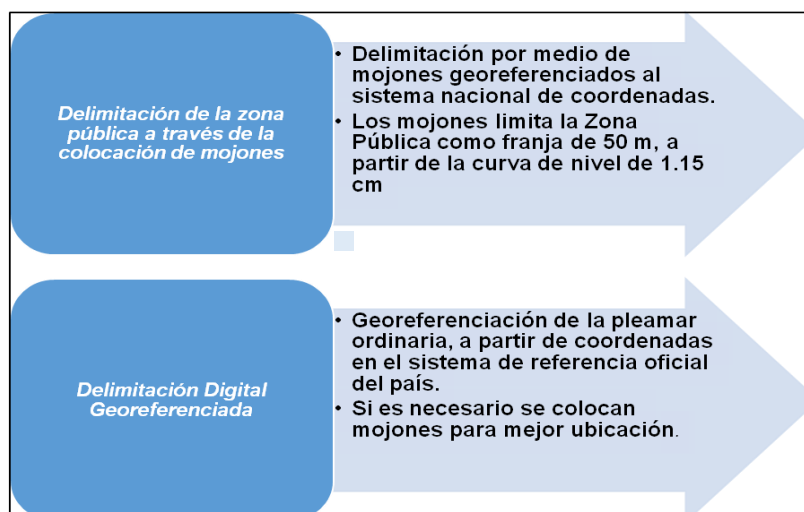


Figura 1. Esquema conceptual sobre los dos tipos de metodologías aplicadas por el IGN para la delimitación de la Zona Pública (asociadas a manglares) en la ZMT.

Fuente: Decreto N° 36642-MP-MOPT-MINAET (2011).

Las metodologías previamente señaladas son ejecutadas por el IGN; no obstante, cuando existen zonas con evidencias de manglar dentro de la Zona Pública deberá existir una previa intervención del Sistema de Áreas de Conservación (SINAC) para identificar la extensión del área ocupada por las mismas.

Para lo anterior se tomará en cuenta como referencia los criterios técnicos asociados con el Decreto MINAET N° 36786: *Manual para la Clasificación de Tierras dedicadas a la conservación de los recursos naturales dentro de la Zona Marítimo Terrestre en Costa Rica (2011)* y Decreto MINAET N° 35803: *Criterios Técnicos para la Identificación, Clasificación y Conservación de Humedales (2010)*.

La presente investigación, en su primera etapa, incluyó trabajo de campo, así como de carácter compilatorio sobre información y de datos geospaciales (mapas) para lograr la identificación de la mayor cantidad de elementos fisiográficos propios del contexto marino/continental (área de estudio), los cuales favorecen la adaptación de la distribución de especies de vegetación de mangle.

Lo mencionado guarda estrecha correspondencia con el Decreto MINAET N° 35803 (2010) sobre los “*Criterios técnicos para la identificación, clasificación y conservación de humedales*”, el cual señala la importancia de integrar los procesos geomorfológicos, topografía, material constituyente del suelo entre otros para los efectos de caracterización de las áreas de manglar.

Por tanto, esta investigación justifica una descripción más específica de las características fisiográficas particulares del área geográfica del manglar, tales como las mencionadas en el Decreto MINAET N° 35803 (2010) en el artículo 5° (b y c), asociadas con el emplazamiento de las áreas de humedales y manglares.

Por otra parte, el Trabajo Final de Graduación (TFG) representa un complemento metodológico que profundiza criterios técnicos/científicos para que el SINAC pueda realizar una delimitación geográfica más integral de las áreas de manglar pertenecientes a la Zona Pública de la ZMT.

Lo anterior también aporta insumos científicos/técnicos necesarios al IGN, basándose en la Ley 59 de Creación y Organización del Instituto Geográfico Nacional (1944), en los artículos 1° y 2° (con reforma de Ley N° 8905 del 7 de diciembre de 2010), para justificar dichas delimitaciones geográficas mediante la colocación de mojones en concreto.

Cabe señalar que esta investigación también fortalece los actuales criterios para la definición de los manglares asociados con el Decreto MINAET N° 36786: Manual para la Clasificación de Tierras dedicadas a la conservación de los recursos naturales dentro de la Zona Marítimo Terrestre en Costa Rica (2011), como parte de la identificación e incorporación entre las zonas con riqueza natural en la ZMT, para su inclusión en las Áreas Silvestres Protegidas dentro del Patrimonio Natural del Estado (PNE).

Finalmente permite generar un insumo profesional para el fomento de la investigación científica que debe acompañar las tareas encomendadas al IGN, tal como se detalla en Ley 59 de creación y organización del Instituto Geográfico Nacional (1944), específicamente en el artículo N° 1°.

## **1.2 Importancia del estudio**

La importancia de esta investigación radica en dos aspectos principales:

- La profundización de los criterios actualmente normados para la actual justificación técnica/científica sobre la delimitación geográfica del Manglar Nosara como parte de la Zona de Pública de la ZMT, así mismo la de coadyuvar metodológicamente, y una forma integral, para la delimitación geográfica de áreas de manglar pertenecientes a la Zona Pública a nivel nacional.
- Un segundo factor de importancia corresponde con la innovación sobre la determinación de las actuales delimitaciones de zonas de manglar a nivel nacional, las cuales puedan ajustarse a los futuros cambios en la dinámica del medio natural por condiciones climáticas y como producto de la afectación humana.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

- Proponer una metodología para la delimitación geográfica, basada en el contexto fisiográfico, del área del Manglar Nosara en el cantón de Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar, mediante trabajo de investigación, los diferentes elementos del contexto fisiográfico en la zona de estudio, los cuales coadyuven con la delimitación geográfica del área del Manglar Nosara.
- Definir los límites geográficos del Manglar Nosara dentro de la Zona Pública de la ZMT, como resultado del análisis y aplicación de los criterios propuestos, haciendo uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

- Validar en el campo la delimitación geográfica propuesta para el manglar Nosara, para la mejora en la delimitación geográfica de las áreas de manglar en la Zona Pública perteneciente a la Zona Marítimo Terrestre de Costa Rica.

## CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

Para Samper & Benavides (2015), taxonómicamente, los manglares consisten en un grupo diverso de comunidades leñosas pertenecientes a varias familias de angiospermas, las cuales no están relacionadas entre sí, con adaptaciones especiales a condiciones salinas.

Por otra parte Samper & Benavides (2015), indican que no obstante, la distribución local de estos bosques está influenciada en gran parte por factores como tipo de suelo, pendiente, inundación mareal y escorrentía, donde esas fuerzas ambientales que actúan sobre los manglares varían en periodicidad e intensidad.

En esta investigación se consideran los factores citados como parte de los elementos fisiográficos necesarios para la distribución de especies vegetales de manglar, siendo el contexto fisiográfico la superficie terrestre subyacente, resultado de diferentes procesos de geodinámica que le proporcionan su composición particular y modelado a través del tiempo.

### **2.1 Distribución horizontal de especies vegetales de manglar en función del contexto fisiográfico existente**

Conceptualmente Pizarro et al. (2004) señalan que: *“Los manglares son ecosistemas de zonas litorales tropicales y subtropicales, localizados en la franja intermareal de áreas protegidas de la acción directa del oleaje, en suelos planos y fangosos, inundados por las mareas con frecuencias relativas a su amplitud y topografía del suelo, en estuarios, bahías ensenadas, lagunas costeras, esteros, desembocaduras de ríos”* (p.9).

Además, Woodroffe et al. (2016), agregan que los manglares se limitan generalmente a un rango de elevación estrecho con la marea, donde el alcance de tales hábitats intermareales (espacio de alojamiento), es una función de la etapa, o la madurez y complejidad geomorfológica del área que posee una configuración particular. Por lo cual Sitnik & Feller (1996), realizan un resumen de los factores determinantes para la distribución de manglares:

- El clima, donde los manglares son especies tropicales y no son tolerantes a las temperaturas de congelación.
- La salinidad, la cual no es generalmente necesariamente un requisito para el crecimiento, ya que la mayoría de manglares pueden crecer en agua dulce. Sin embargo, no se desarrollan en hábitats estrictamente de agua dulce debido a la competencia de las especies.
- La fluctuación de marea, la cual es importante reconocer como un aspecto que indirectamente juega un rol importante.
- Los sedimentos y la energía de las olas inciden en el emplazamiento y desarrollo que se presenta en zonas con baja energía y por tanto mayor porcentaje de sedimentación.

Woodroffe et al. (2016), afirman que la variedad de condiciones hidrodinámicas, flujos de sedimentos, así como influencia en características orgánicas y geoquímicas del sustrato, influyen directamente en el crecimiento de los manglares, donde los sedimentos que se han acumulado en el contexto geográfico del manglar, registran aspectos de la historia y la dinámica geomorfológica a más largo plazo.

Sumado a lo anterior Yuvaraj et al. (2014), señalan que la geomorfología de la costa prevalece sobre los procesos asociados al desarrollo de los manglares; concepto similar al de Zink (2012) el cual señala que el estudio sobre inventario de los recursos naturales revela la necesidad de disponer de un elemento estructurante de entrada y que este marco lo ofrece la geomorfología (figura 2), ya que permite la visualizar las evidencias sobre el terreno de los principales procesos existente en un área.

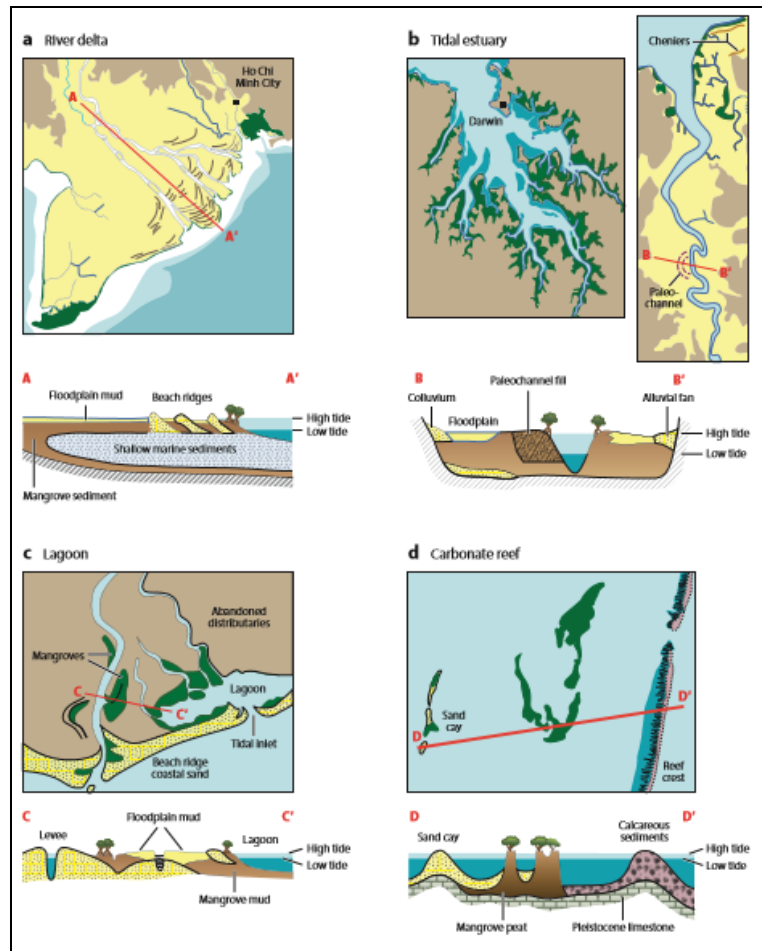


Figura 2. Elementos del contexto fisiográfico: a. deltas de ríos, b. estuarios de marea, c. de laguna, d. arrecife de coral), y vegetación de manglar.

Fuente: Woodroffe et al; 2016.

## 2.2 Insumos y técnicas de percepción remota para la investigación del contexto fisiográfico existente en áreas de manglar

Cabe destacar que “la Convención de Ramsar recomienda el uso de la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica para la cartografía de zonas húmedas donde los usos de sensores remotos han probado ser útiles en estudios ecológicos, de hidrología y geomorfológicos” (Oyola, 2009, p.7).

Por otra parte, Oyola (2009) señala que la percepción remota es una herramienta invaluable para la identificación de humedales, ya que implica al menos tres técnicas principales para cartografiar los humedales: i) evaluaciones *in situ*, lo cual

es a veces una tarea difícil por la inaccesibilidad a las áreas de estudio, ii) fotointerpretación de fotografías aéreas y iii) procesamiento de imágenes teledetectadas aéreas o satelitales.

Finalmente, Fujimotol & Miyagi (1993), muestran el contexto fisiográfico de las áreas de manglar en el sector de *Pagbilao* (Filipinas), tomando en cuenta los materiales (geología) y las formas del terreno (geomorfología), asociadas a las mismas (figura 3).

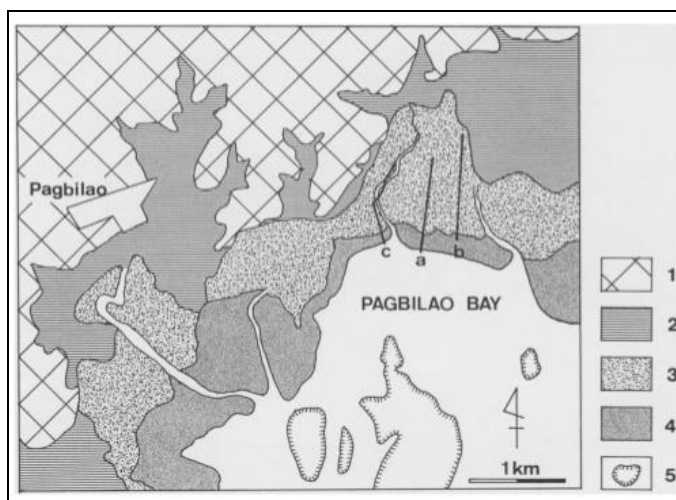


Figura 3. Áreas de manglar (3), y unidades geomorfológicas de tierras elevadas (1), tierras bajas (2), planicies de mareas (4) y arrecifes de coral (5).

Fuente: Fujimotol & Miyagi; 1993.

### **2.3 Marco técnico/legal asociado con la identificación de elementos fisiográficos mínimos, para la delimitación de áreas de manglar en Costa Rica**

La Zona Marítimo Terrestre (ZMT) se define como la franja de 200 m de ancho a todo lo largo de los litorales Atlántico y Pacífico de la República, cualquiera que sea su naturaleza, medidos horizontalmente a partir de la línea de la pleamar ordinaria y los terrenos y rocas que deja el mar en descubierto en la marea baja. Se compone de dos secciones: la Zona Pública (ZP) y la Zona Restringida (ZR).



- **Ley 6043 de la Zona Marítima Terrestre (ZMT) y su Reglamento del Decreto Ejecutivo N° 7841-P (1977)**

Esta ley permite establecer la relación de las zonas de manglar con la Zona Pública de la ZMT, tomando como nivel de referencia para el establecimiento de la zona pública los 50 m tierra adentro a partir del nivel de pleamar ordinaria tomado para ese nivel de referencia la curva de topográfica de 1,15 m. Adicionalmente según el Artículo 11.- *“Zona Pública es también, sea cual fuere su extensión, la ocupada por todos los manglares de los litorales continentales e insulares y esteros del territorio nacional”*.

- **Decreto MINAET N° 35803: Criterios Técnicos para la Identificación, Clasificación y Conservación de Humedales (2010)**

Este decreto establece los *“Criterios técnicos para la identificación, clasificación y conservación de humedales”* (incluyendo manglares), donde el Artículo 6º sobre la importancia de la condición hídrica menciona que: *“se involucran otras variables tales como: procesos geomorfológicos, topografía, material constituyente del suelo y ocasionalmente otros procesos o eventos extremos”*. Precisamente esta investigación busca detallar sobre la caracterización de los mismos.

- **Decreto MINAET N° 36786: Manual para la Clasificación de Tierras dedicadas a la conservación de los recursos naturales dentro de la Zona Marítimo Terrestre en Costa Rica (2011)**

Este decreto oficializa el *“Manual para la clasificación de tierras dedicadas a la conservación de los recursos naturales dentro de la zona marítima terrestre en Costa Rica”*, el apartado VI indica aspectos de interés común del SINAC-MINAE y el IGN sobre la Zona Pública de la ZMT.

Así mismo, los apartados VIII (iii) y IX (artículos b, c y d) hacen referencia a la importancia de las condiciones o características intrínsecas de las áreas protegidas para su identificación; así como de la necesidad de verificación en caso de no correspondencia con la previa cartografía mediante el uso de fotografías aéreas u otras herramientas que ayuden a clarificar sus límites originales.

## **CAPITULO 3. METODOLOGÍA**

Como punto de partida se realizó un reconocimiento y levantamiento de campo sumado a una compilación exhaustiva de datos geoespaciales multidisciplinarios (mapas y tablas) sobre todas las posibles condiciones fisiográficas con la capacidad de alterar, limitar o potenciar la distribución de especies vegetales del manglar.

Seguidamente se efectuó un procesamiento mediante Sistemas de Información Geográfica, de los datos obtenidos, así como de los insumos y de percepción remota necesarios para el respectivo análisis; lo anterior con el fin de obtener los criterios científico/técnico que justifiquen la delimitación geográfica propuesta (polígono), caracterizada por una convergencia de las condiciones óptimas para el emplazamiento vegetal Manglar Nosara.

Finalmente se presenta una etapa de validación de la información que justifica el área de delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara, mediante observación a detalle de los diferentes elementos fisiográficos y de la distribución de especies vegetales adaptadas a ese entorno. Este procedimiento incluyó la toma de muestras de agua y suelos/sedimentos para análisis de laboratorio, implicando una metodología de enfoque cualitativo por etapas con la finalidad de obtener un resultado transdisciplinario.

### **3.1 Marco temporal y espacial para la realización de la investigación**

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo entre los meses de junio de 2016 a agosto del año 2017. La zona de estudio abarcó un área de 16.4 km<sup>2</sup>, en las cercanías del poblado de Nosara, Nicoya, específicamente en las coordenadas oficiales CRTM05: 313589-318416 longitud oeste y 1102000-1105206 latitud norte en la hoja cartográfica Garza 3045-I escala 1:50,000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN) como se aprecia en la figura 4.

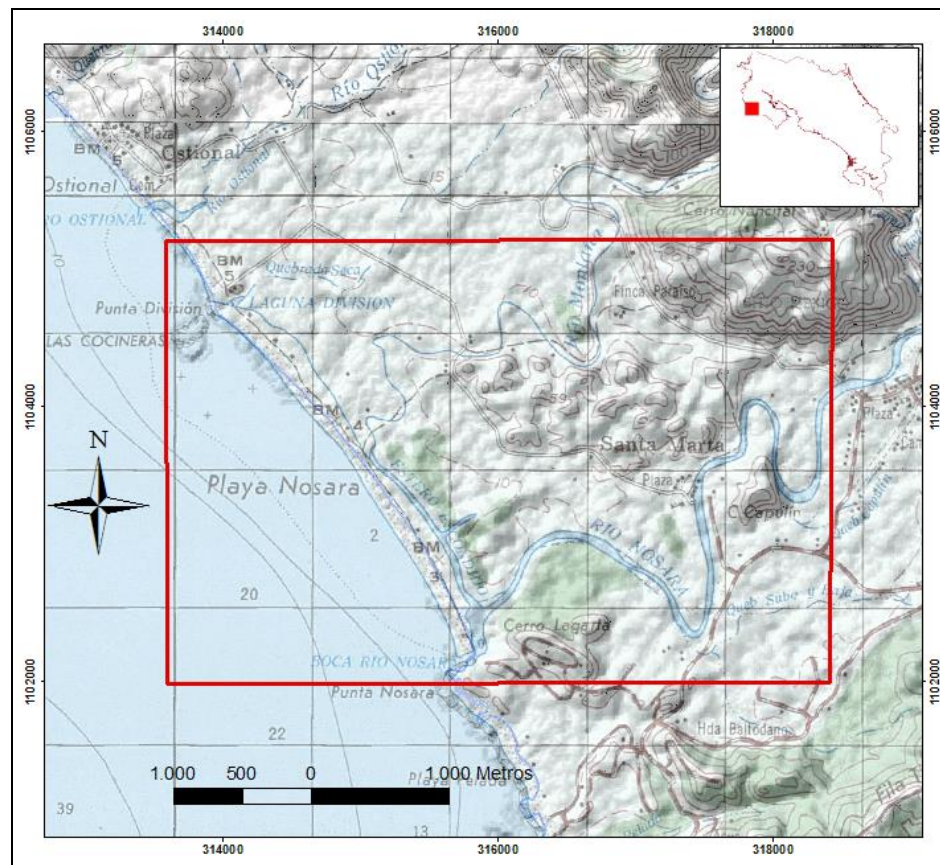


Figura 4. Ubicación del área de estudio (polígono en rojo) para la investigación.

Fuente: Hoja cartográfica Garza 3045-I escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

### 3.2 Resolución metodológica de cada objetivo propuesto

#### 3.2.1 Contexto fisiográfico en la zona de estudio

Este objetivo se basó en un reconocimiento de campo, dentro del área de estudio, para lograr la identificación de la mayoría de elementos asociados con el contexto fisiográfico, complementados con una compilación exhaustiva de información sobre estudios multidisplinaros relacionados.

El INEGI (2009) indica que el conocimiento fisiográfico de una región implica, además de la identificación de los principales rasgos del relieve, la explicación de los procesos que intervinieron a en su modelado y que le han dado su aspecto

actual. Adicionalmente para Serrato (2009) el análisis fisiográfico, desde su origen, ha sido reconocido y empleado en países como Colombia por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) como un patrón de clasificación para la caracterización de unidades de tierras y como primera aproximación al conocimiento de la complejidad de las relaciones que se suceden en el espacio geográfico y, sobre todo, en el biofísico.

### **3.2.1.a Procedimiento metodológico**

La primera parte consistió en proponer un área de estudio (figura 4), geográficamente amplia de 16,4 km<sup>2</sup> (polígono en rojo), la cual abarcó un sector continental y una parte del terreno marino. Dentro de esa área se aplicó una metodología de campo basada en Orjuela et al. (2011), usando como referencia imágenes de fotos aéreas; para esta investigación las asociadas con el Mosaico Proyecto BID-Catastro escala 1:20 000 del año 2007, que se encuentran disponibles vía internet en el portal del SNIT (2017).

Mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el software Arcgis 10.3®, se definieron sistemáticamente los sitios de levantamiento de la información fisiográfica, así como las características vegetales básicas en el área de estudio. Para este efecto se adaptó parte de la propuesta metodológica de FAO (2004) para la recolección de muestras de suelo en el campo, de acuerdo con las siguientes pautas:

- Se definieron 14 áreas de levantamiento de información (parcelas) con un área geográfica cuadrada de 1 km. x 1 km (1km<sup>2</sup>), con cuatro parcelas de campo.
- Las parcelas se subdividieron en subparcelas de 20m de ancho por 250 m de longitud. Las subparcelas se enumeraron del 1 al 4, en el sentido de las agujas del reloj. (figura 5).

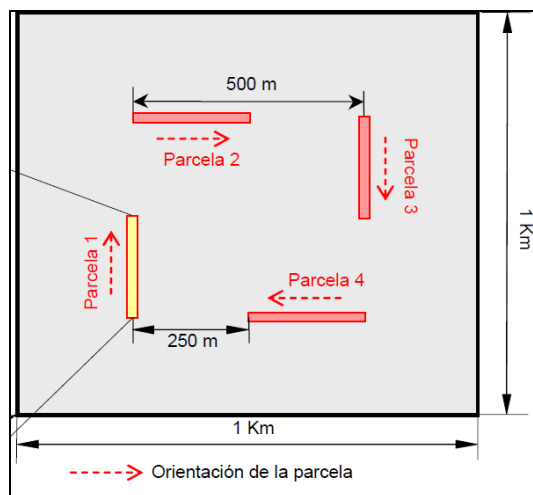


Figura 5: Unidad máxima de levantamiento de información de 1 Km por un 1 Km (1 Km<sup>2</sup>), la distribución de las cuatro parcelas por unidad fue de 20m x 250m.

Fuente: Tomado de FAO (2004).

Para el desarrollo de la investigación se usó como referencia para cada área de levantamiento de información la cuadrícula de 1 km<sup>2</sup>. La cual está asociada con la hoja cartográfica Garza 3045-I escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN). La configuración final de todas las áreas (puntos en sus centros) para el levantamiento de los elementos fisiográficos en el área de estudio, se puede apreciar en el mapa de la figura 6.

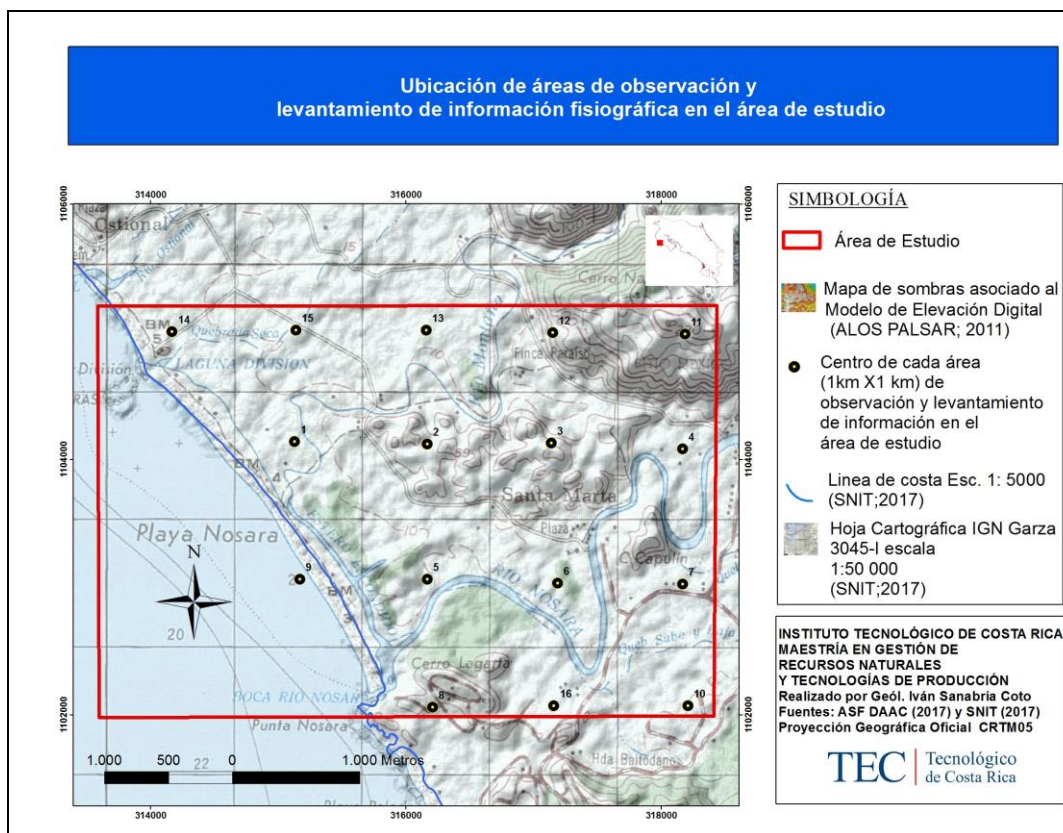


Figura 6. Mapa de áreas de levantamiento fisiográfico 1 km<sup>2</sup> cada una dentro de la zona de estudio. (en rojo).

Fuente: Basada en metodología de FAO (2004).

La primera visita de campo se realizó en el mes de diciembre de 2016, directamente los lugares propuestos (Figura6), con especial énfasis en las parcelas de observación identificadas como prioritarias con base en su facilidad de acceso y mayor cobertura geográfica.

El trabajo de campo se basó, mayoritariamente, en la observación y recolección de muestras para su análisis básico *in situ*, cabe indicar que en algunas situaciones debido a dificultades de acceso no se pudo completar las cuatro parcelas por área de observación (1 km<sup>2</sup>); no obstante, siempre se procedió en la medida de las posibilidades con la adquisición de la información solicitada en el cuadro 1, para el reconocimiento y caracterización general de los elementos del contexto fisiográfico presentes en el área de estudio.

Cuadro 1. Levantamiento de elementos fisiográficos del área de estudio

Elemento fisiográfico investigado	Tipo de observaciones o datos recolectados	Ubicación geográfica CRTM05 (latitud y longitud)		Altitud (m.s.n.m)
Geología	Análisis básico y macroscópico de rocas y sedimentos.			
Geomorfología	Observación de relieves y geoformas.			
Tectónica	Visualización de posibles estructuras de falla asociadas al relieve.			
Erosión/sedimentación	Análisis macroscópico.			
Características edafológicas	Análisis macroscópico.			
Hidrología	Observación, registro y descripción de campo.			
Relieve topográfico	Estimación del gradiente del relieve topográfico.			
Condiciones vegetales	Observación básica de características vegetales.			

Áreas de potencial inundación	Recorrido de áreas con bajo gradiente de relieve topográfico y análisis macroscópico de sedimentos asociados.			
-------------------------------	---	--	--	--

En el cuadro 1 se consideraron los elementos fisiográficos ampliamente observados en el campo tales como: geomorfología, relieve topográfico y su gradiente, materiales constituyentes del terreno o asociados a procesos de sedimentación, granulometría de suelos/sedimentos, geología, características hidrográficas, entre otros. (figuras 7, 8 y 9). Las metodologías seguidas para desarrollar cada aspecto de la guía de trabajo de campo se explican a continuación:

1. **Análisis macroscópico de rocas:** Para este apartado se utilizó martillo y ácido clorhídrico (HCl), se realizó el análisis características visuales como el color, peso (liviano, normal o pesado), dureza (blando o duro), tamaño (fino, mediano o compacto), la distribución de tamaños, orientación de componentes y fracturamiento.
2. **Análisis macroscópico de sedimentos:** Se analizaron características visuales como el tamaño del sedimento por medio del cribado, forma (esfericidad, planidad o redondez), características superficiales (opacas, traslucidas, pulidas) y la orientación (paralelo, perpendicular).
3. **Observación de relieves y geoformas:** Corresponde a características visuales del relieve en general (formas de la corteza terrestre), el tipo de roca, el tamaño de sedimento, la disposición de capas, la presencia o ausencia de fracturas o pliegues.
4. **Visualización de posibles estructuras de falla asociadas al relieve:** Se identificó la presencia de fallas asociadas al relieve y se definieron los elementos geométricos de la misma, así como el plano de orientación.



5. **Análisis macroscópico de aspectos de erosión:** En este apartado se utilizó la metodología desarrollada en el trabajo de investigación sobre uso de la tierra y dinámica erosión/sedimentación de Hernández (2010 b).
6. **Análisis macroscópico de características edafológicas:** Para este aspecto se utilizó la clave de bolsillo para determinar la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica de Cubero (2001).
7. **Registro de aspectos hidrológicos:** Se utilizó la hoja cartográfica de Garza 3045-I escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN).
8. **Estimación del relieve topográfico:** En este punto se utilizó un clinómetro de la marca *Suunto* para la estimación del ángulo con respecto a la pendiente del relieve de la zona de estudio.
9. **Observación básica de las condiciones vegetales:** Se utilizó una cámara fotográfica digital de marca *Sony* para recolectar las imágenes de las especies vegetales de la zona y posteriormente identificarlas utilizando la información recabada por el SINAC (2014).
10. **Identificación de áreas de posible inundación:** Finalmente para ello se utilizó como insumo los mapas de la Comisión Nacional de Emergencia (2016).

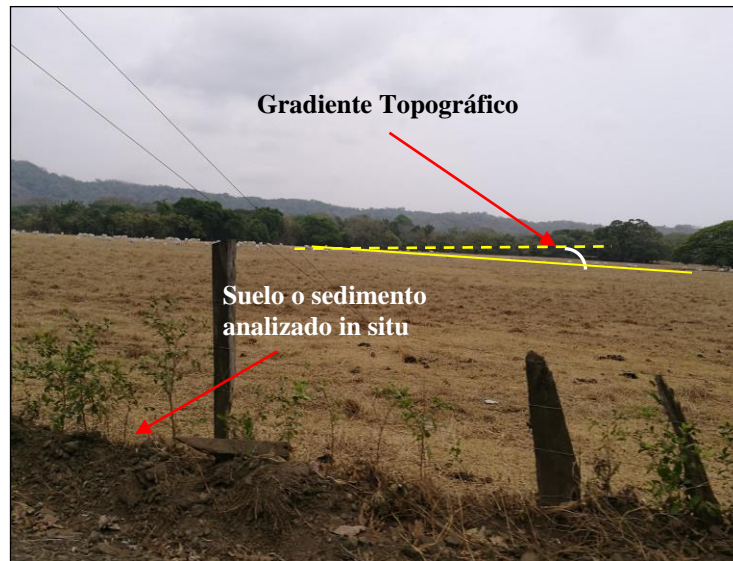


Figura 7. Imagen correspondiente con una parcela (25m X 250 m) de cuatro en total por unidad de levantamiento de información (1km<sup>2</sup>) en el área de estudio.



Figura 8. Imagen asociada con una parcela (25m X 250 m), de cuatro en total por área de la unidad máxima de investigación (1km<sup>2</sup>).



Figura 9. Distribución de la vegetación presente en algunas de las parcelas (25m X 250 m), en el área de estudio.

Cabe destacar que los elementos fisiográficos asociados con condiciones meteorológicas, de salinidad y temperatura de aguas (marinas/continentales), hidrogeología (aguas subterráneas) y de batimetría no fueron levantados debido a la necesidad a limitaciones técnicas y logísticas en el campo. Solo se usaron valores referenciales como resultado de la compilación de información asociada.

Las características de campo más importantes fueron georreferenciadas por medio del uso del “*Global Positioning System*” o GPS (Sistema de Posicionamiento Global) en coordenadas geográficas oficiales CRTM05, para conformar el inventario de elementos fisiográficos del área de estudio.

Finalmente se procedió al almacenamiento de toda la información obtenida sobre elementos fisiográficos que fue levantada y georreferenciada en el campo; de igual forma con los productos obtenidos en formato digital y en papel como producto de las investigaciones multidisciplinarias compiladas sobre descripciones, tablas de datos, columnas y perfiles, así como mapas con escalas de 1:100 000 - 1:50000, siendo una escala de trabajo semidetallada (Pájaro; 2015 y Rossiter; 2000) dentro del área de estudio.

### **3.2.2 Definición de los límites geográficos del Manglar Nosara**

El abordaje metodológico de este objetivo se basó en la integración mediante SIG de la información obtenida durante el desarrollo del primer objetivo, más el uso de insumos de percepción remota tales como fotos aéreas e imágenes satelitales, además de Modelos de Elevación Digital (MEDs) y mapas de pendientes, con la finalidad de identificar y delimitar un sector o polígono geográfico determinado que integre y contenga las condiciones fisiográficas más óptimas para el emplazamiento, o el-potencial desarrollo vegetal del Manglar Nosara.

Sobre lo anterior Zink (2012) agrega que los MEDs han permitido la medición y extracción de atributos que describen los rasgos topográficos del paisaje. Los parámetros medidos más frecuentemente incluyen: altitud, pendiente, exposición, curvatura y rugosidad del relieve, entre otros. La distribución espacial de estos parámetros permite inferir la variabilidad de procesos hidrológicos, geomorfológicos y biológicos en el paisaje.

#### **3.2.2.a Procedimiento metodológico**

Posterior a la investigación de campo y a la compilación de información sobre los elementos del contexto fisiográfico, se procedió al análisis y procesamiento de los datos mediante SIG, usando el software Arcgis 10.3 ®.

La primera parte del proceso consistió en digitalización y georreferenciación de cada sitio de muestreo utilizando el sistema oficial de coordenadas CRTM05 para al menos ocho mapas, los cuales presentaban información del tipo vectorial. De igual forma se procedió con datos crudos referentes a las ubicaciones de pozos perforados aportados por el Servicio Nacional de aguas Subterráneas Riego y Avenamiento SENARA (2016).

Mediante el software Arcgis 10.3 ® se efectuó la georreferenciación de los insumos de percepción remota, tales como las fotos áreas históricas del IGN suministradas por el Departamento de Servicios Digitalizados del Registro Nacional y el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) y las de las zonas de

inundación suministradas por parte de la Comisión Nacional de Emergencias (CNE).

Posteriormente se accedió a los repositorios en línea de información geográfica institucionales del CENIGA y SNIT para el uso de servicios OCG en línea sobre información de coberturas vegetales, fotos aéreas recientes, amojonamientos de la ZP y capas hidrográficas.

Así como de repositorios internacionales de la NASA, como el *Alaska Satellite Facility* (Servicio de Satélites de Alaska) para la obtención de capas de información geográfica en formato *raster* ligadas con MEDs, para la obtención de mapas de sombras y pendientes del relieve topográfico para el sitio de estudio. Por último, se descargaron los formatos vectoriales de las capas compatibles en SIG y realizadas por Ortiz & Montoya (2014).

Toda esta integración de información geográfica del segundo objetivo permitió conformar un panorama integral sobre el área de estudio para el siguiente paso de análisis, cabe resaltar que la totalidad de los insumos de percepción remota utilizados se especifican en el cuadro 2.

Cuadro 2. Insumos de percepción remota usados para el análisis con SIG

<b>Imágenes Georeferenciadas</b>	<b>Escala</b>	<b>Origen</b>
CAW-11-111 a 113	1:40 000	Año 1944, Foto aérea del IGN
VV-HURD-M7/AID 6 1316-1318	1:30 000	Año 1964, Foto aérea del IGN
Misión 16 Línea 6 448-451	1:20 000	Año 1971, Foto aérea del IGN
Misión 16 Línea 5 402-403	1:20 000	Año 1971, Foto aérea del IGN
22901 R-169 Línea 220, 125 y 126.	1:40 000	Año 1981, Foto aérea del IGN
Misión Terra	1:40 000	Año 1998, Foto aérea del MINAE-RECOPE
Misión Carta Foto #57434148	1:40 000	Año 2003, Foto aérea del PRIAS-CeNAT

Carta 2005 Fotos: # 45555543 y # 45555542	1:25 000	Año 2005, Foto aérea del PRIAS-CeNAT
Mosaico Proyecto BID-Catastro	1:5 000 y 1:1000	Año 2007, Foto aérea del PRCR
Imágenes Satelitales I Legacy Identifier : #102001004B37DA00	-----	2016 imagen de satélite, adquiridas por el IGN a empresa Digital Globe®
Imágenes Satelitales II	-----	Años 2004-2015 Imagen de satélite gratuitas de Google Earth ®
Modelos de Elevación digital (MED)# ALPSRP272210180	Resolución de medio segundo de arco	Año 2011 ALOS PALSAR de Japan Aerospace Exploration Agency and NASA disponible en ASF DAAC (2017)
Mapa Digital de Zona Publica de la ZMT de Costa Rica (incluye manglares)	----	SNIT (2017)
Mapas de Tipo de Bosque del MINAE 2013	----	CENIGA (2017)

La aplicación de los insumos de percepción de remota asociados con imágenes satelitales, fotos aéreas a diferentes escalas, fotos áreas de pares estereoscópicos y generación de anáglifos disponibles para la zona de estudio se basó en los siguientes aspectos técnicos:

- Según Cárdenas et al. (2015), los fundamentos de la visión estereoscópica datan del siglo XIX y se le atribuyen al físico Charles Wheatstone. Esta es una técnica que no se logra de manera natural, sino mediante la aplicación de algunos mecanismos o procedimientos que involucran el uso de instrumentos o equipos, como los sistemas de visión paralela, visión cruzada, anáglifos, polarización, obturación, cascos de realidad virtual y monitor lenticular.

- Las fotos aéreas históricas fueron tomadas secuencialmente desde un avión sobre el área de estudio, donde el registro de imágenes en serie para un mismo vuelo permite un desfase espacial entre las mismas, lo cual puede ser apreciado con el uso del estereoscopio de fotos aéreas de Escuela de Forestal del ITCR.
- Mediante el estereoscopio de la marca *Sokkisha* se pudo analizar los pares de fotos impresas logrando un efecto tridimensional. De la misma manera se usó la generación de anáglifos de fotos aéreas para su uso con gafas polarizada mediante el software libre *Anaglyph Maker 3D*®.
- Con la aplicación de las citadas técnicas de análisis de percepción remota se obtuvo una visualización completa y tridimensional del área de interés (figuras 10 A, B, C) para inferir aspectos fisiográficos esenciales para la presente investigación.

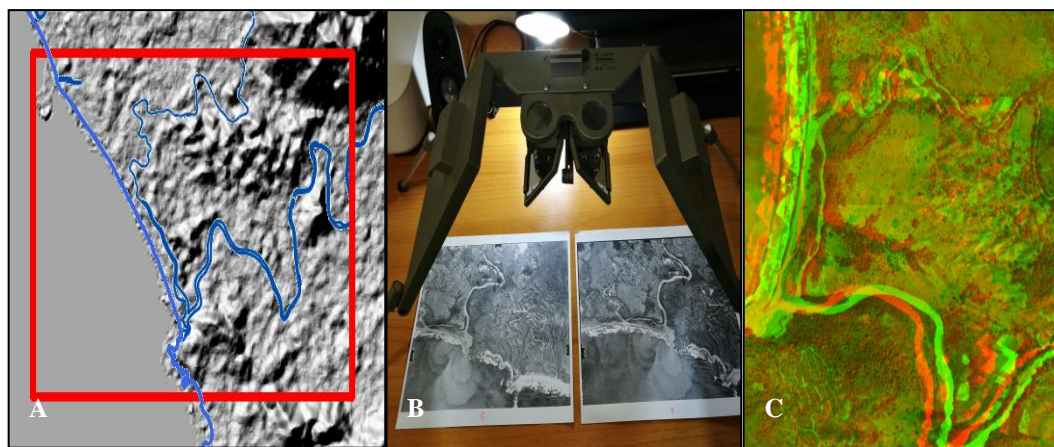


Figura 10. Insumos y técnicas de percepción remota utilizados. A. Modelo de Elevación, B. Estereoscopio pares de fotos aéreas, C. Anáglifos de fotos aéreas.

Los productos resultantes de la integración de la información para este objetivo fueron mapas digitales compuestos por elementos vectoriales como puntos, líneas y polígonos; así como valores cuadrícula (*tipo raster*). Este múltiple material cartográfico sirvió para la formulación de los criterios fisiográficos para la

delimitación geográfica propuesta, la cual integro las condiciones más óptimas para la distribución horizontal de especies vegetales del Manglar Nosara, basadas en:

- Características geomorfológicas (polígonos).
- Condiciones y tipos de suelos (polígonos)
- Áreas inundables (polígonos)
- Coberturas vegetales (polígonos)
- Estructuras tectónicas como fallas (líneas)
- Tipos de materiales geológicos existentes (polígonos).
- Demarcación digital del manglar por parte SINAC (polígonos).
- Acuíferos (polígonos).
- Red hidrográfica (líneas y áreas).
- Ubicación de pozos y sus niveles (puntos)
- Relieves topográficos y de su gradiente estimado (cuadrículas raster).
- El análisis del relieve (geomorfología), costera a detalle (polígonos)
- La diferenciación geográfica de suelos y/o sedimentos recientes y materiales líticos (rocas) asociados y no al área de manglares (polígonos).
- La correlación de características hídricas (superficiales /subterráneas) y los terrenos de emplazamiento actual o potencial de manglares por ej. zonas de ciénaga (polígonos).
- Análisis históricos basados en fotografías aéreas o imágenes de satélite sobre los cambios en la dinámica costera, hídrica o erosiva (polígonos).
- Áreas de sedimentación y erosión identificadas (polígonos)
- Inferencia de elementos tectónicos que propicien el movimiento de sectores costeros asociados en el emplazamiento y desarrollo de áreas de manglar (líneas).

Cabe destacar, que es el criterio geomorfológico el que mantiene un papel preponderante en la jerarquía de elementos fisiográficos analizados, ya que según Thom (1984), para entender la evolución de las comunidades de manglar a través



del tiempo es necesario desarrollar un entendimiento sobre las condiciones tanto del pasado como actuales donde usualmente las técnicas de estudio geomorfológico son usadas para este fin.

Por lo anterior, se tomó como mapa base para la delimitación geográfica propuesta del Manglar Nosara el área resultante (polígono) de la aplicación del criterio geomorfológico, el cual abarcó todas las evidencias de los cambios espaciales históricos (1944-2016) vinculados con: los patrones laterales de flujo hídrico (formación de nuevos meandros) de los ríos de la línea de costa (regresión/ transgresión marina), la afectación tectónica (hundimientos y levantamientos), la aparición de cauces ocasionales, las zonas de inundación y la formación de terrazas. Las evidencias observadas se correlacionaron entre sí con todos los criterios fisiográficos propuestos

Con la aplicación de los anteriores pasos se obtuvo una convergencia favorable de criterios fisiográficos para un sector geográfico específico del área de estudio, con lo que se conforma el mapa delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara con una escala de trabajo de 1: 15 000, la cual Pájaro (2015) clasifica en una escala detallada. El siguiente diagrama conceptual (figura 11) resume todo el proceso metodológico.

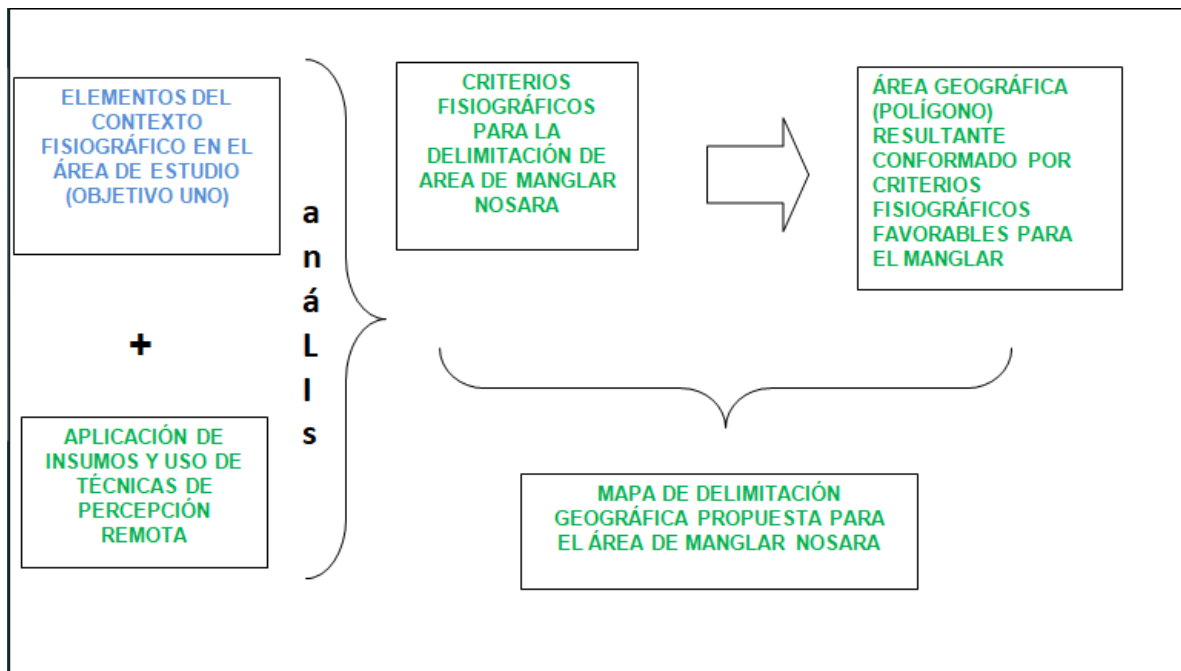


Figura 11: Esquema conceptual sobre el tratamiento de la información.

### 3.2.3 Validación de la delimitación geográfica propuesta

En este objetivo se concretó la etapa final del trabajo de campo que implica la observación y toma de muestras de agua y suelo/sedimentos para su posterior análisis de laboratorio, con el objetivo de profundizar la información sobre los criterios fisiográficos que propician la distribución de las especies vegetales en la delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara.

El desarrollo metodológico incluyó una segunda gira de campo para el mes de abril del 2017, específicamente al área de delimitación geográfica propuesta del Manglar Nosara, durante la cual se obtuvieron muestras asociadas de suelo/sedimento y de agua que ofrecieran información más detallada para el análisis de laboratorio.

### 3.2.3.a Procedimiento Metodológico

El abordaje metodológico de este objetivo se basó en dos técnicas de observación y muestreo, las cuales se adaptan para los fines buscados en esta investigación:

- **Levantamiento Fisiográfico**

Para fines de observación a detalle dentro del área de delimitación propuesta. Según Rossiter (2000) este método está basado en la foto interpretación de geformas (segundo objetivo), y su respectivo chequeo de campo (tercer objetivo) para las unidades de mapeo observadas y las áreas de muestreo visitadas, lo que hace que esta metodología sea compatible con el enfoque geopedológico del ITC.

- **Transectos de banda o franja**

Para la escogencia de las áreas de muestreo se adoptó la metodología propuesta por Cintrón & Schaeffer (1984), la cual permite la conformación de transectos de banda que cubran la totalidad del área de interés. Cada transecto incluyó la conformación de parcelas (*plots*), con áreas mínimas de 100 m<sup>2</sup> (10 m x 10 m), las cuales se lograron extender en pocos casos hasta 10 veces para un área total de banda del transecto de 0.1 hectáreas; las parcelas fueron trazadas paralelamente dentro de los ejes de los diferentes transectos.

Para este TFG se conformaron 12 ejes de transectos de banda siendo mayoritariamente paralelos entre si y compuestos por dos a diez parcelas (*plots*)- Cabe indicar que debido a cuestiones de logística y económicas, se tomó una única muestra de suelo/sedimento y de agua en una de las parcelas pertenecientes a cada eje de transecto, esto para el análisis de laboratorio. En algunos casos sólo fue posible coleccionar muestras de suelo o muestras de agua (figura 12).

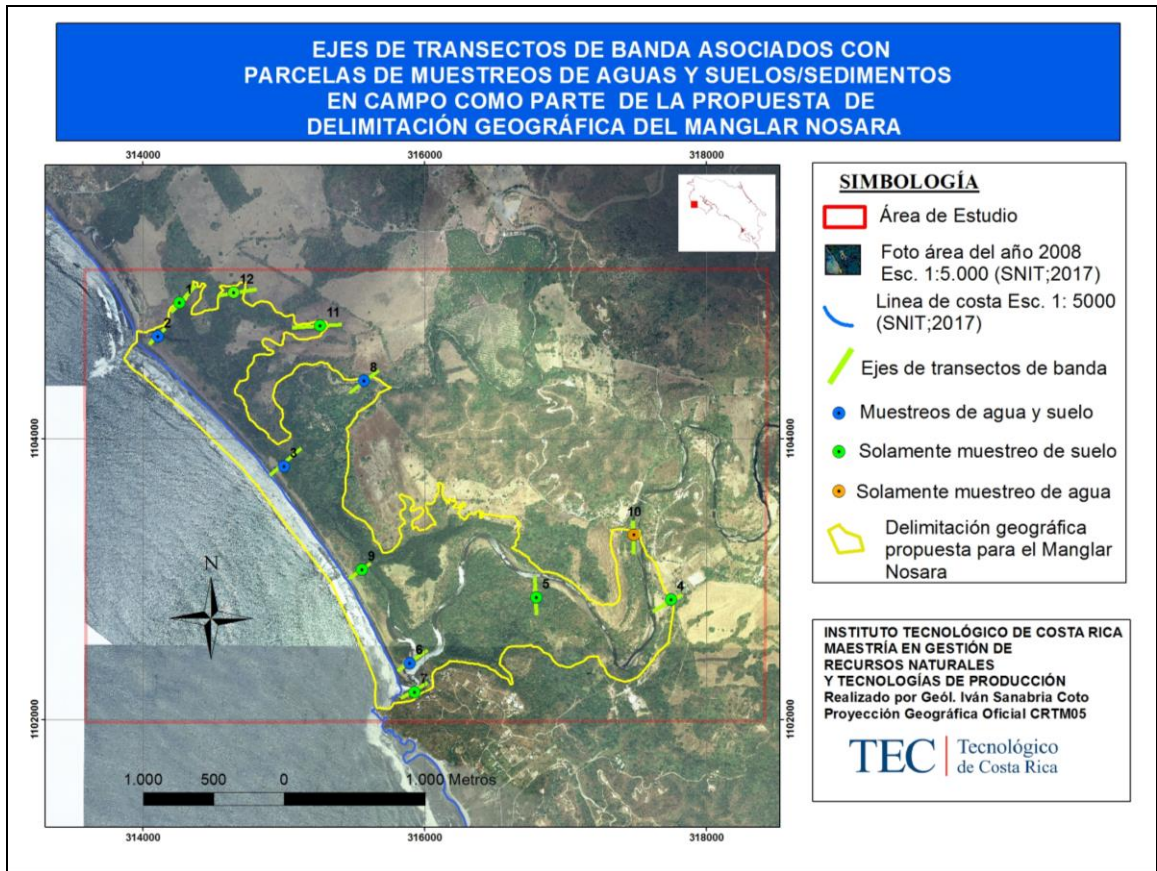


Figura 12. Mapa de ubicación de ejes de transectos, sus parcelas y muestreos de suelos/sedimentos y aguas.

Para todas las parcelas se realizaron las distintas observaciones de campo sobre la vegetación, así como la aplicación de ensayos *in situ* a los materiales del subsuelo (suelos/sedimentos), los cuales son detallados a continuación:

- Para la caracterización macroscópica de suelos/sedimentos se usó la metodología propuesta por Cubillo et al. (2001) denominada: "*Clave de Bolsillo*" para determinar la capacidad de uso de las tierras basada en el Decreto N° 23214-MAG-MIRENEM: Metodología para la Determinación de la capacidad de Uso de las Tierras de Costa Rica (1994).
- Se realizó una recolección y análisis *in situ* de muestras de roca de la parte continental y costera, las cuales conforman el modelo de estructural y

composicional bajo el área de manglar. La recolección tuvo la finalidad de caracterizar las rocas de forma macroscópica por medio de una lupa, piqueta y ácido clorhídrico (10%), esto para identificar sus contenidos y asociarlos con la estructura interna de los terrenos y flujo de los sedimentos hasta la línea de costa.

- Identificación de especies vegetales de manglar fuera y dentro de la actual delimitación realizada por el IGN (GACETA DIGITAL, 2009). Así mismo se procedió con una comprobación básica de elementos fisiográficos ligados con el relieve topográfico, geología, y evidencias de procesos erosivo/sedimentarios que puedan guardar relación con la existencia o con el potencial desarrollo forestal de la vegetación de manglar.
- Comprobación geomorfológica de elementos cartográficos generados mediante el análisis asociado con los SIG por medio software Arcgis 10.3 ® como parte del segundo objetivo.

- 

### **Recolección de muestras de agua y suelos/sedimentos en el campo**

Se procedió a la toma de una sola muestra por cada eje de banda de cada transecto, específicamente en la parcela más representativa (figura 12). Cada una de las muestras de suelos y/o sedimentos tuvo un contenido de 500g c/u, usando una profundidad máxima de muestreo 0-30 cm (Hernández; 2010 a y Samper & Benavides, 2015 y Barrantes et al. 2015).

Las muestras fueron tomadas mediante palines y palas almacenadas en bolsas plásticas (figuras 13 A y B) y seguidamente etiquetadas para su envío al laboratorio. Se recolecto un total de 11 muestras de suelos/sedimentos para su análisis granulométrico y de nombre textural.



Figura 13. A, B. Sitios de recolección de muestras de sedimentos, ligados con vegetación de manglar del tipo Mangle Rojo (*Rhizophora Mangle*).

En cuanto a las muestras de agua, su finalidad fue el análisis de la conductividad eléctrica relacionada con su salinidad. Se recolectó un total de cinco muestras (cuadro 3) provenientes de los sitios vinculados con condiciones hidrológicas representativas, tales como muestras intersticiales en el sedimento por perforación en sedimentos saturados, cauces activos e intermitentes (secos) para la delimitación propuesta para el Manglar Nosara (figuras 14 A, B, C ).

Las mismas fueron contenidas en recipientes plásticos esterilizados con un volumen de 300 ml. Los códigos de laboratorio para muestras de agua/suelos y los correspondientes números usados para representar su distribución espacial en el mapa de la figura 12 se puede apreciar en el cuadro 3.



Figura 14. A. Agua recolectada en un cauce activo. B. Muestreos de agua bajo la superficie en terrenos saturados o C. cauces de ríos temporalmente secos.

Cuadro 3. Códigos de laboratorio para muestras y numeración espacial (id) usada en el mapa de ubicación geográfica de las muestras en la figura 12.

Id (Mapa Figura12)	Muestra de Suelos	Muestra de Agua	Código laboratorio para muestra de agua	Código laboratorio para muestra de suelo/sedimento
1	x			Perfil 3-M2
2	x	x	Perfil 3-MA1	Perfil 3-M1
3	x	x	Perfil 2b-MA1	Perfil 2b-M1
4	x			Perfil 1-M3
5	x			Perfil 1-M2
6	x			Perfil 1-M1b
7	x	x	Perfil 1-M1A	Perfil 1-M1a
8	x	x	Perfil 2B-MA3	Perfil 2b-M3
9	x			Perfil 2a-M1
10		x	Perfil 1-MA3	
11	x			Perfil 2c-M3
12	x			Perfil 3-M3

Posteriormente a la toma de muestras de agua y suelos/sedimentos se procedió con su inmediata rotulación y conservación para evitar pérdidas durante el

transporte para su análisis en los laboratorios de suelos del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). Los resultados de los análisis de laboratorio para ambos tipos muestras se pueden apreciar en el anexos 2 y 3.

El siguiente diagrama conceptual de flujo se resume todo el abordaje metodológico usado en la presente investigación (figura 15).

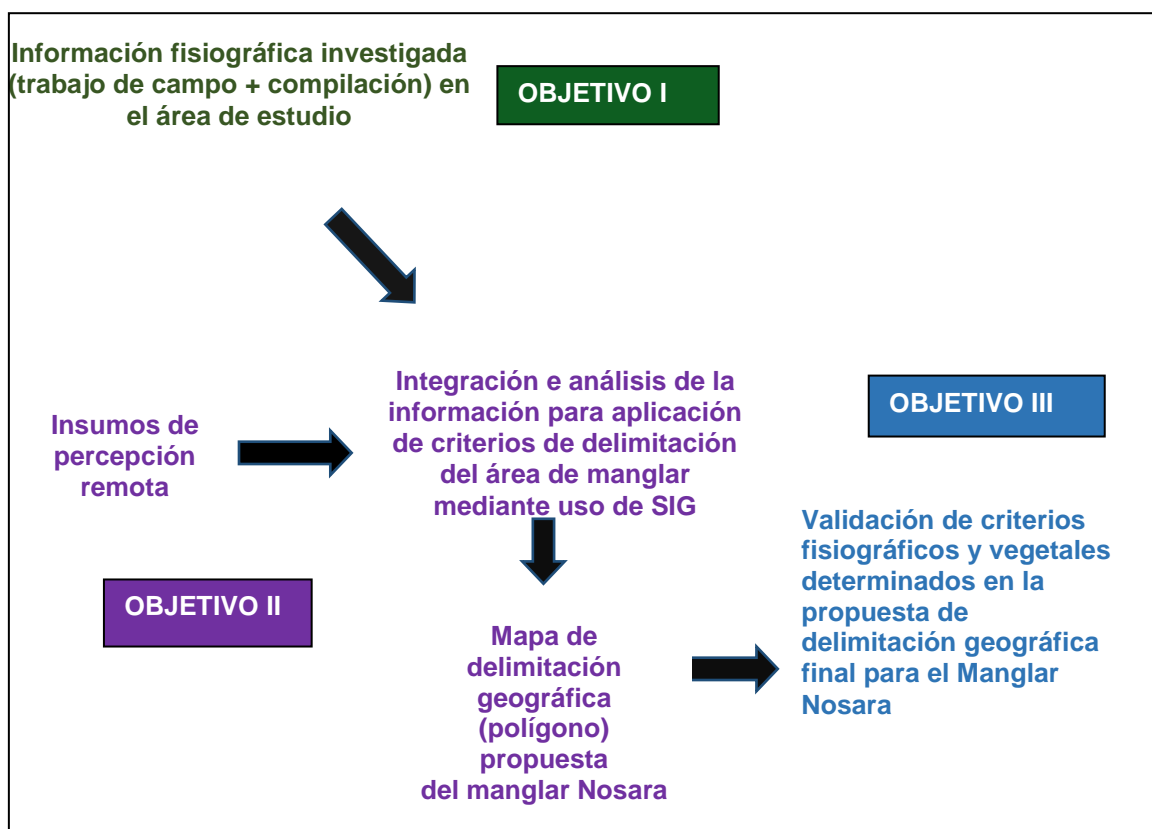


Figura 15. Diagrama resumen sobre el abordaje metodológico realizado para la delimitación geográfica.



## CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Distribución horizontal de especies vegetales en el área de estudio

De acuerdo con Spotila et al. (2016), en la costa del Pacífico Norte (Tamarindo), se reconoce la siguiente zonación o distribución horizontal de especies característica de la vegetación de Mangle (figura 16); elemento que, por la similitud del contexto geográfico y la cercanía a los manglares de Tamarindo, fue empleado para establecer las condiciones de la distribución de las especies vegetales en el Manglar Nosara, según su tolerancia a la inmersión de aguas marinas

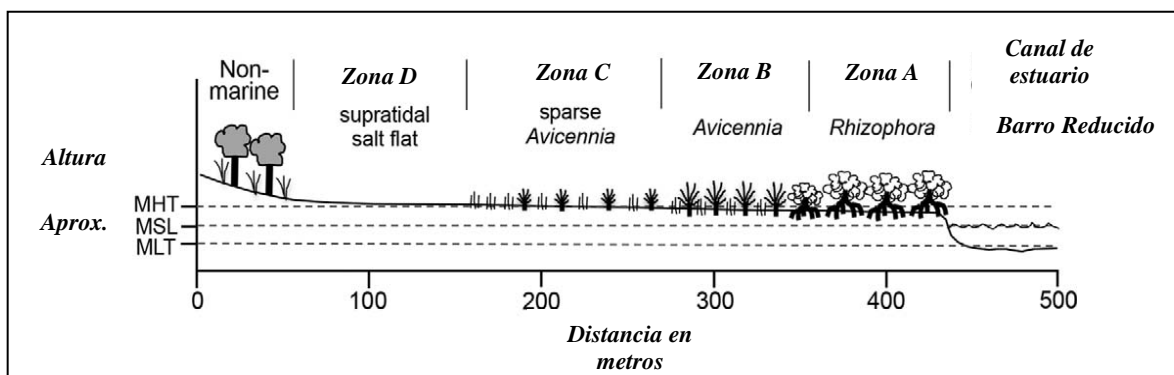


Figura 16. Esquema representativo de la zonación del ecosistema de manglares en Tamarindo, Costa Rica según el promedio de la altura de la marea.

Fuente: Tomado de Spotila et al. (2016).

La distribución o sucesión horizontal de especies vegetales de manglar en la zona de estudio se encuentra directamente relacionada al Refugio Nacional de Vida Silvestre Ostional, ya que el SINAC (2014) señala que el refugio, en su sector del humedal, incluye las zonas de manglar asociadas con el sector costero de Nosara. Donde las siguientes especies vegetales se describen como propias de los sectores de esteros y manglares (cuadro 4):

Cuadro 4. Distribución de las especies y zonación vegetal correspondiente

<b>Especies vegetales de humedal existentes en el área de estudio (SINAC,2014)</b>	<b>Zonas de distribución horizontal conforme el diagrama de la Figura16 ( Spotila et al. ( 2016)</b>
Palo de sal ( <i>Avicenia germinans</i> )	Zona B
Mariquita ( <i>Laguncularia racemosa</i> )	Zona D (Gómez & Rodríguez, 2003)
Botoncillo ( <i>Conocarpus erecta</i> )	Zona C (Gómez & Rodríguez, 2003)
Rojo o gateador rojo ( <i>Rhizophora mangle</i> )	Zona A
Majagua ( <i>Hibiscus pernambucensis</i> ).	Todas las Zonas (SINAC; 2014)

Fuentes: SINAC (2014), Spotila et al. (2016) y Gómez & Rodríguez (2003).

Los aspectos relacionados con la identificación de las áreas de manglar (humedales), dentro del área de estudio, se pueden observar en el Decreto MINAET N° 35803 denominado: “*Criterios Técnicos para la Identificación, Clasificación y Conservación de Humedales*”, en su Artículo N° 8 señala que: “*Para la identificación de un manglar se tomará como parámetro la presencia de árboles de alguna de las especies indicadas en la tabla de abajo (cuadro 5), así mismo se incluyen dentro de estos ecosistemas los esteros y canales existentes. El límite se va a establecer hasta donde se extienda la vegetación asociada con este ecosistema*” (Decreto N° 35803, 2010).

Cuadro 5. Lista de flora por tipo de humedal

<b>Nombre científico</b>	<b>Nombre común</b>
<i>Rhizophora mangle</i>	mangle rojo, colorado, gateador
<i>Rhizophora racemosa</i>	mangle, caballero, gigante
<i>Pelliciera Rhizophora</i>	mangle piñuela, piña, piñuelo
<i>Laguncularia racemosa</i>	mangle Blanco, mariquita
<i>Avicennia germinans</i>	mangle negro, salado, palo de sal
<i>Avicennia bicolor</i>	mangle sal, negro, palo de sal
<i>Conocarpus erecta</i>	mangle botoncillo, botón

Fuente: Decreto N° 35803-MINAET (2010).

El MINAE con su Mapa de Tipos de Bosque del año 2013 y disponible en el portal del CENIGA (2017), muestra la cobertura forestal del Manglar Nosara dentro del área de estudio (figura 17), por medio de polígonos morados asociados con la distribución de especies vegetales de manglar, los cuales guardan correlación espacial con el área de delimitación propuesta en esta investigación mediante criterios fisiográficos.

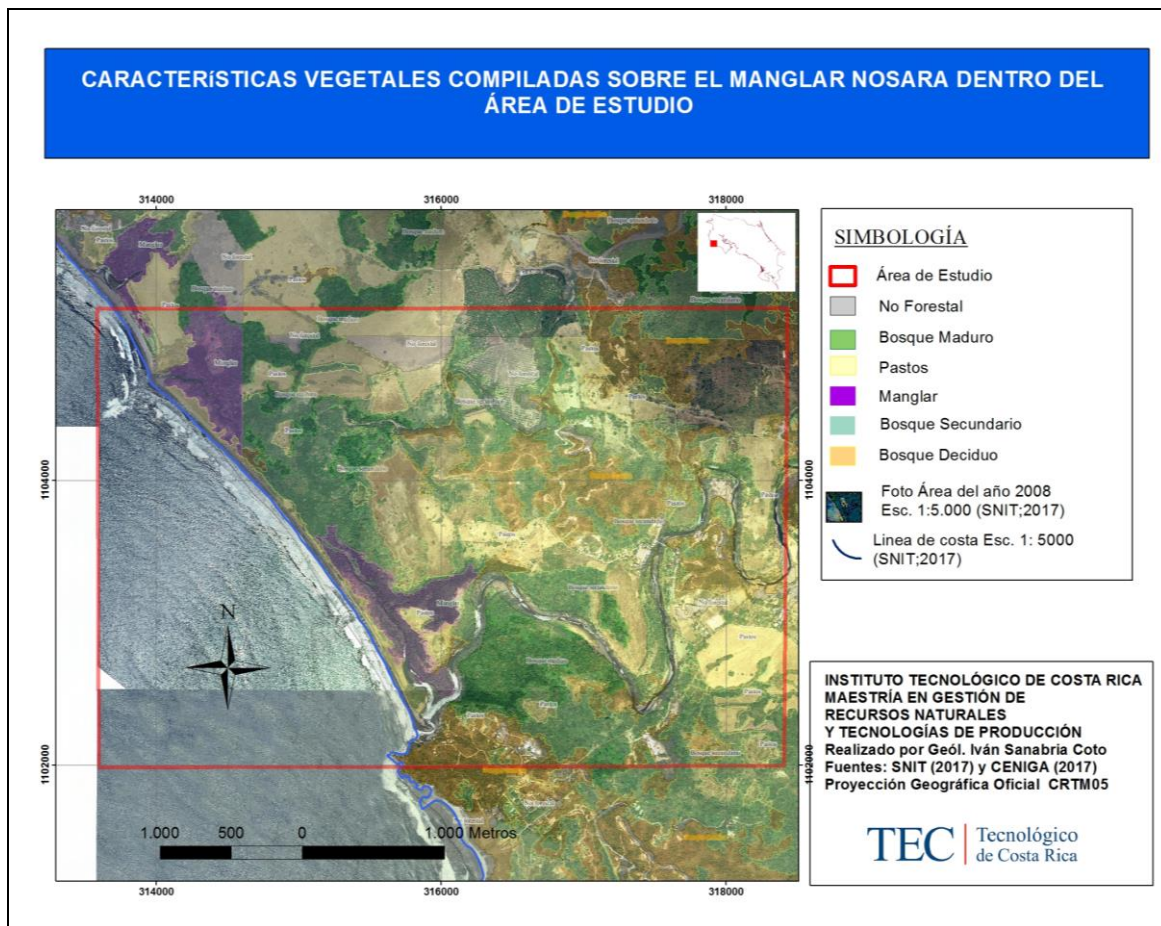


Figura 17. Mapa con la ubicación de especies vegetales de manglar

Fuente: Basada en CENIGA (2017).

Según Benavides et al. (2014), los manglares del Pacífico Norte de Costa Rica, en comparación con otros manglares del país, se caracterizan por tener una menor extensión, así como un menor número de especies de mangle y que la vegetación es por lo general más pequeña.

No obstante, se logró reconocer al menos tres especies propias de la distribución horizontal vegetal de los manglares en Costa Rica (figura 15), definidas por Spotila et al. 2016 para el Pacífico Norte y por Samper & Benavides (2015), para el Pacífico Sur de Costa Rica. Las especies identificadas fueron mangle Rojo

(*Rhizophora mangle*), Palo de sal (*Avicenia germinans*) y arbustos de Majagua (*Hibiscus pernambucensis*) asociados a los manglares (figuras 18 A y B).



Figura 18. A. mangle Rojo (*Rhizophora mangle*). B. Majagua (*Hibiscus pernambucensis*) asociada a la vegetación de manglares.

Adicionalmente durante el trabajo de campo comprobó, en algunas parcelas, la existencia de la respectiva delimitación física en concreto (amojonamientos) para la Zona Pública de la ZMT (figura 19), la cual implica la identificación previa de áreas vegetales de manglar asociados al Decreto MINAET N° 36786: Manual para la Clasificación de Tierras dedicadas a la conservación de los recursos naturales dentro de la Zona Marítimo Terrestre en Costa Rica (2011) y Decreto MINAET N° 35803: Criterios Técnicos para la Identificación, Clasificación y Conservación de Humedales (2010).



Figura 19. Mojón asociado con la delimitación física de la Zona Publica en la ZMT .

## 4.2 Elementos fisiográficos identificados en el campo

Con base al levantamiento de elementos fisiográficos durante la primera gira de campo se logró caracterizar de forma mayormente cualitativa los siguientes elementos (cuadro 6).

Cuadro 6. Lista de elementos fisiográficos recabados durante el reconocimiento de campo en el área de estudio y el resumen de sus principales características

<b>Elementos fisiográficos investigados</b>	<b>Tipo de observaciones o datos recolectados</b>	<b>Resumen de la información obtenida en el reconocimiento de campo</b>
<b>Geología</b>	Análisis básico macroscópico de rocas y sedimentos	<i>Durante el trabajo de campo aproximadamente un 85 % de las muestras analizadas en in situ eran sedimentos y 15 % eran rocas de origen sedimentario.</i>
<b>Geomorfología</b>	Observación de relieves y geoformas	<i>Se identifica de forma preliminar aproximadamente un 70% de elementos geomorfológicos asociados a condiciones fluviales.</i>
<b>Tectónica</b>	Visualización de posibles estructuras de falla asociadas al relieve	<i>Se observaron cinco evidencias que respaldan la influencia tectónica activa especialmente del Graben de Nosara, como parte de la</i>

		<i>modelación del relieve topográfico existente.</i>
<b>Erosión/sedimentación</b>	Observación en el campo	<i>Se notan fuertes indicios de erosión fluvial lateral especialmente en la parte de los meandros del Río Nosara, así como las respectivas acumulaciones de sedimentos en zonas de baja energía.</i>
<b>Características edafológicas</b>	Análisis macroscópico	<i>La condición más importante de este tipo observada en el área de estudio se remite a las características granulométricas de preponderancia con porcentajes aproximados del 60% en texturas finas a moderadamente finas, el restante porcentaje (40%) de medianas a gruesas.</i>
<b>Hidrología</b>	Observación, registro y descripción de campo	<i>Se identifican al menos cinco cauces de agua con flujo activo ligados con los siguientes elementos hidrológicos: 1. Río Nosara, 2. Río Montaña, 3. Quebrada Seca, 4. Estero Escondido y 5. Quebrada Sube y Baja, así</i>

		<i>como de al menos nueve cauces ocasionales en el área de estudio.</i>
<b>Relieve topográfico</b>	Estimación de gradiente del relieve topográfico	<i>Las estimaciones en el campo de la pendiente en función del relieve muestran más del 60% del área de estudio con relieves planos a ligeramente ondulados (0°-20°).</i>
<b>Distribución horizontal de especies vegetales</b>	Observación básica de características	<i>En el área costera y cercana a flujos de agua (ríos y quebradas) se aprecia la vegetación propia de humedal, conforme se aleja de los cauces y a lo interno del continente la vegetación aumenta en altura ligado a la zonación vegetal.</i>
<b>Áreas de potencial inundación</b>	Recorrido de áreas con bajo gradiente de relieve y análisis macroscópico de sedimentos asociados	<i>Se aprecia que las principales áreas de inundación corresponden con sectores de bajo relieve topográfico en zonas aledañas a los ríos y con gradientes que oscilan entre 0°-10°.</i>



### 4.3 Análisis de elementos fisiográficos y su posible relación con las áreas de manglar

En el cuadro 7 se presenta una sinopsis sobre la integración final de elementos fisiográficos investigados mediante el levantamiento de campo (en áreas de observación), y su integración con la información multidisciplinaria de estudios compilados para el área de estudio.

Cuadro 7. Integración de la información fisiográfica

<b>Elemento fisiográfico identificado en el área de estudio</b>	<b>Relación con el área de distribución horizontal vegetal del Manglar Nosara</b>
Geología	Mediante la identificación macroscópica de diferentes materiales geológicos se puede distinguir dos grandes categorías genéricas que componen la zona de estudio: sedimentos y rocas. Las últimas condicionan los espesores y la distribución lateral de los sedimentos, siendo exclusivamente los últimos los que poseen características físicas, químicas y orgánicas necesarias para el establecimiento de las áreas de manglar, parte de esto es reflejado por los trabajos de Denyer et al. (2014).
Geomorfología	La identificación y delimitación geográfica de las características geomorfológicas en el campo permiten establecer los procesos de geodinámica externa e interna más preponderantes, así como aquellos más recientes los cuales han dejado su expresión superficial sobre el terreno y su existencia puede modificar, potenciar o afectar el emplazamiento vegetal del manglar en el área de estudio,

	se observan claras correlaciones en el campo con los trabajos de Hernández (2010 b) y Bergoeing et al. (2013).
Tectónica	Existen fuertes evidencias de campo vinculadas con deformación del terreno mediante levantamientos regionales y progresivos de la costa, así como de índole local observadas en el campo ligadas con las trazas (elementos lineales) de fallas neotectónicas (geológicamente recientes). Son evidentes los cambios o deformaciones en la conformación de los terrenos, así como estos pueden afectar los respectivos límites de las condiciones vegetales. Lo anterior se puede analizar en Denyer et al. (2009), Montero & Denyer (2011), Denyer et al. (2014) y Martini (2014).
Hidrogeología	Este aspecto no se puede confirmar mediante simple observación superficial de campo; no obstante, es un elemento a considerar ya que las condiciones hidrogeológicas asociadas con las aguas subterráneas pueden guardar relación en el aporte de agua dulce o bien con contenidos relativos de salinidad (pluma salina) coadyuvando con el emplazamiento del manglar. Esto se profundiza con los datos de pozos perforados solicitados al SENARA (2016), Arellano & Vargas (2000) y SINAC (2014).
Edafología	Con base en los criterios de clasificación de Cubero (2001), se logró observar en el campo la textura, composición y características hidráulicas de los suelos con diferentes granulometrías, especialmente, de predominancia finas, lo cual pueden potenciar el desarrollo de las especies vegetales de manglar en la zona de

	<p>estudio. Sobre este elemento fisiográfico se obtiene más información en Hernández (2010 b) y Ortiz &amp; Montoya (2014).</p>
Hidrología	<p>Se aprecian al menos cinco diferentes elementos hidrográficos asociados con la red hídrica superficial, los cuales claramente son los responsables de los aportes de agua dulce y la posible interacción con el agua marina para el establecimiento de las áreas de manglar. El SNIT amplifica esta información y Hernández (2010 b) profundiza sobre aspectos específicos.</p>
Meteorología	<p>Mediante el establecimiento de los valores de temperatura y precipitación se pueden inferir las posibles condiciones vegetales, además de los procesos erosivos y sedimentológicos asociados con el manglar en la zona de estudio. Para lo cual Ortiz &amp; Montoya (2014) y Hernández (2010 b) definen condiciones específicas para este elemento.</p>
Salinidad, temperatura de aguas del mar y continentales	<p>La identificación de los parámetros de salinidad y temperatura del agua de origen marino permite establecer las mezclas con aguas dulces continentales (red hidrográfica), lo cual es necesario para determinar las condiciones de mayor estabilidad para el establecimiento y desarrollo de las áreas de manglar. Los valores específicos de estos parámetros son aportados por Brenes et al. (2014), SINAC (2014) y Spotila et al. 2016.</p>
Relieve topográfico	<p>Las características topográficas identificadas en el campo pertenecen, mayoritariamente, a relieves planos de muy bajo gradiente los cuales guardan relación con elementos geomorfológicos y geológicos, así como con estructuras</p>

	<p>tectónicas que pueden influir directamente en el emplazamiento de la vegetación de manglar en el área de estudio. La información asociada se encuentra en las publicaciones cartográficas oficiales del IGN en formato digital a través del portal informático del SNIT.</p>
--	---

Los resultados derivados del Cuadro 7, permiten conformar un esquema conceptual sobre el contexto fisiográfico, según Woodroffe (1983), como condicionante del emplazamiento y desarrollo de la vegetación de manglar (Figura 20).

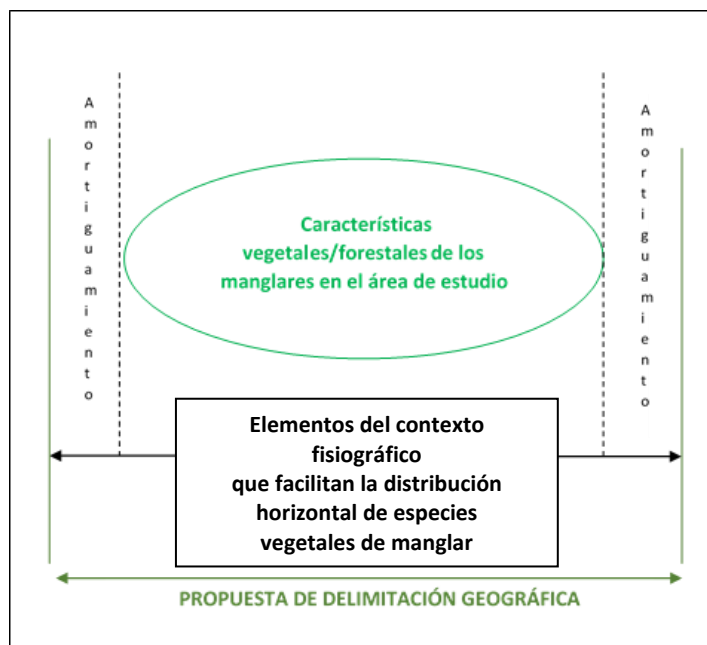


Figura 20. Conceptualización espacial inferida sobre contexto fisiográfico y la distribución de especies vegetales de manglar.

Fuente: Basada en criterios definidos por Woodroffe (1983).

## 4.4 Límites geográficos propuestos para el Manglar Nosara

### 4.4.1 Criterios usados para la delimitación geográfica

- *Criterio geomorfológico como base de la propuesta de delimitación geográfica*

La identificación y análisis aspectos fisiográficos investigados tales como: erosión/sedimentación, suelos, geología, hidrología, áreas de inundación, relieve topográfico entre otros, guardan una estrecha correspondencia con la evidencia física de los principales procesos que ocurren y han ocurrido a través del tiempo en el área de estudio (geomorfología).

Sobre lo anterior Woodroffe (1983) señala que existe una clara relación entre las zonas costeras geomorfológicamente activas y los patrones de especies de manglar. Donde los patrones vegetales resultantes pueden reflejar la distribución de superficies y ambientes sedimentarios, implicando que los cambios geomorfológicos en las características del contexto de los hábitats que inducen cambios en la vegetación.

Por otra parte, Woodroffe et al. (2016) agregan que en un entorno geomorfológico particular se puede hallar una gama de propiedades hidrodinámicas, flujos de sedimentos, características orgánicas y geoquímicas del sustrato, que influyen en el crecimiento de los manglares por medio de sedimentos que sirven de registro de la historia geomorfológica y, por tanto, para la comprensión de su dinámica a más largo plazo.

Ejemplo de lo anterior es la identificación, dentro del área de estudio, de morfologías asociadas con cauces activos, ocasionales y abandonados. Estas estructuras en el terreno pueden mantener en el tiempo las adecuadas condiciones (tipos de suelo, de granulometría de sedimentos, del aporte hídrico superficial/ subterráneo, de relieve entre otras para el emplazamiento de la vegetación de manglar; también la existencia de estos canales puede servir para

aumentar la vulnerabilidad a causa de aumento del nivel del mar propiciando la futura resiliencia de la vegetación del manglar.

Un ejemplo de las condiciones propicias para la aparición de vegetación de manglar en función de las geoformas, se puede apreciar en la figura 21, mediante la aparición y desaparición parcial de la vegetación (flecha blanca) en el tiempo, la cual se encuentra ubicada en una geoforma de cauce ocasional o intermitente, siendo correspondiente, a su vez, con la delimitación por mojones asociados con la Zona Pública de la ZMT según la GACETA DIGITAL (2009) y disponible por el SNIT (2017).

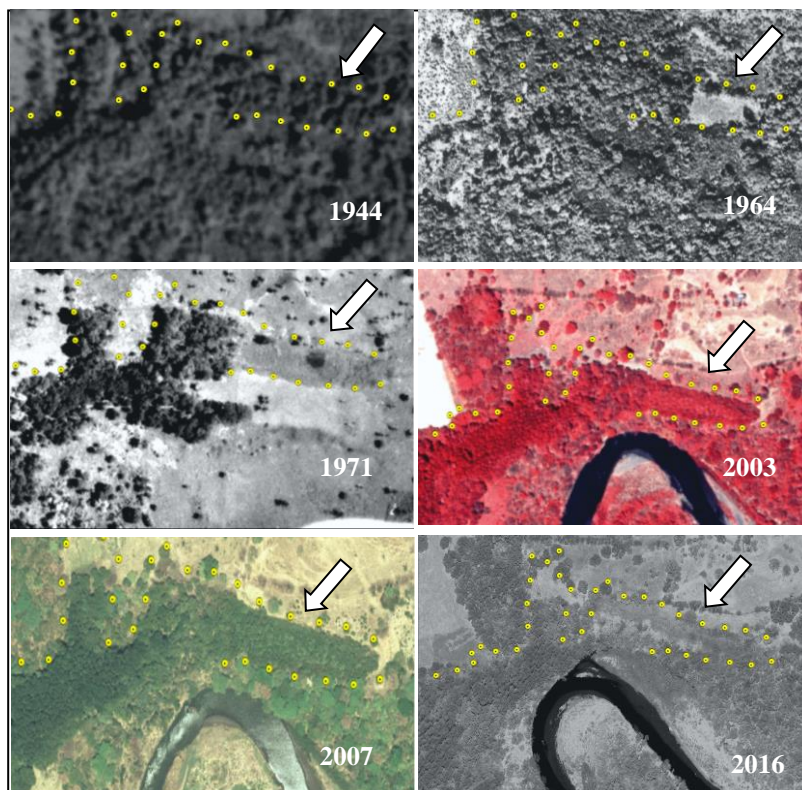


Figura 21. Fotos aéreas que evidencian geomorfológicas producto del análisis de fotos e imágenes aéreas históricas (1944 a 2016).

Como parte del proceso que generó el criterio fundamental para la delimitación propuesta del Manglar Nosara, se reconstruyeron las principales condiciones asociadas con la interacción fluvio/costera, la cual se fundamenta una

comprensión más profunda y a una escala mejorada que la proporcionada por información geomorfológica regional vinculada con la compilación de los trabajos de Hernández (2010 b) y Bergoeing et al. (2013).

El proceso incluyó la interpretación detallada de fotos e imágenes aéreas históricas dentro del área de estudio (Cuadro 6), para los años 1944 al 2016, mostrando la mayor cantidad de evidencias de cambios sucedidos en la dinámica fluvio/costera de la zona de estudio, implicando por lo tanto una modificación espacial de la vegetación del manglar existente.

En la figura 22 se pueden apreciar ejemplos adicionales sobre los cambios geomorfológicos en el contexto del manglar por medio de las variaciones de la línea de costa actual (SNIT, 2017), por efectos de regresión y transgresión marina (flecha azul) Así como en la dinámica del Río Nosara (flecha amarilla), la cual está caracterizada por movimientos laterales (modificación meándrica), lo que necesariamente implica, históricamente, cambios en la distribución geográfica del manglar dentro del área de estudio .

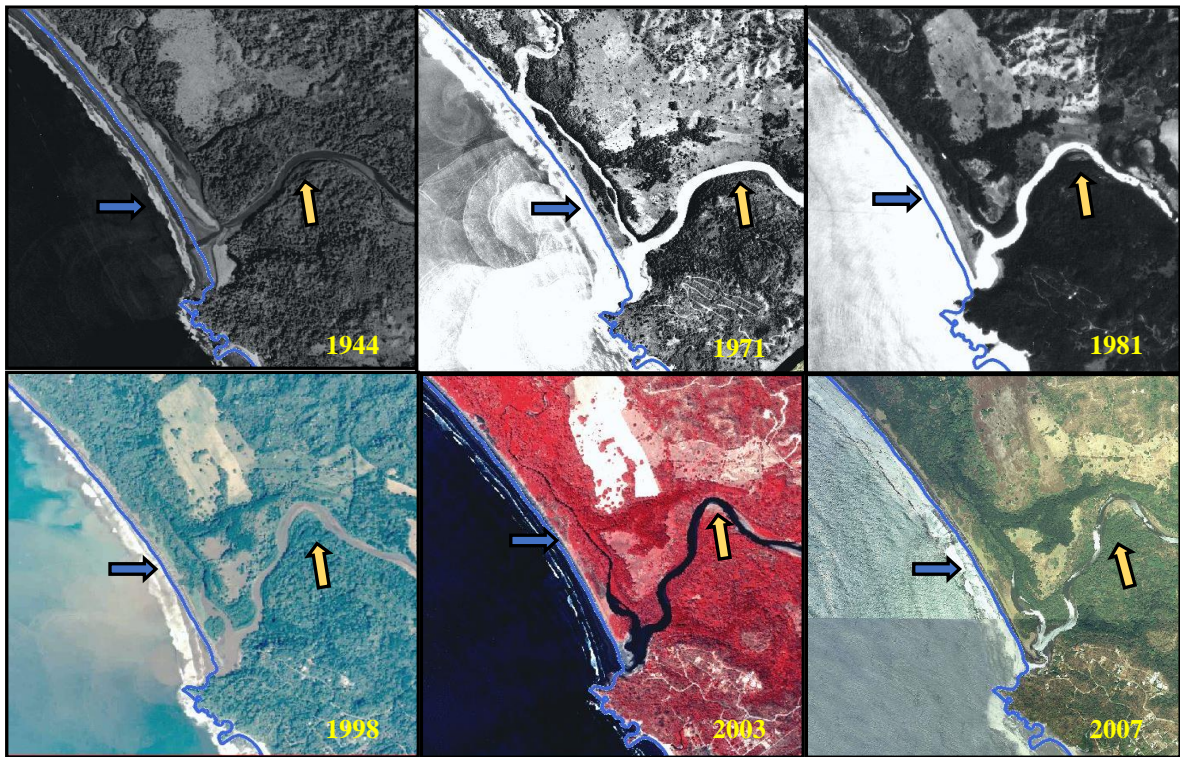


Figura 22. Fotos e imágenes aéreas históricas que muestran las variaciones geomorfológicas (evidencias) identificadas en el tiempo sobre el área de estudio.

El análisis geomorfológico mediante el uso de insumos de percepción remota, permitió obtener evidencias en el terreno sobre las condiciones fisiográficas favorables, vinculadas con el aporte de: sedimentos, relieves topográficos bajos, condiciones hídricas, características erosivas/sedimentológicas; así como, las hidrogeológicas e hidrográficas que, en su totalidad y de forma sinérgica potencian, la permanencia, en el tiempo, de la distribución de especies vegetación de manglar en el área de estudio (figura 23).





Figura 23. Mapa de reconstrucción geomorfológica como base para la elaboración del polígono de la delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara.

- *Criterio geológico*

Woodroffe (1983), señala que los manglares se desarrollan en donde las condiciones fisiográficas y de energía son favorables. Durante la visita de campo al área de estudio se pudo visualizar (cuadro 6), lo descrito por Denyer et al. (2014) respecto a la presencia de sedimentos no consolidados de características cuaternarias (recientes) y de unidades de rocas asociadas con las formaciones geológicas sedimentarias consolidadas de las formaciones Santa Teresa, Punta Pelada y Arió.

Con lo anterior se pudo establecer los factores asociados que pueden interferir en la distribución horizontal de las especies de vegetación de manglar, siendo estos todos los sectores favorables para la acumulación de sedimentos (materiales inconsolidados), los que por sus profundidades al basamento consolidado o por sus contactos laterales rocosos, pueden también condicionar o restringir la adaptación de diferentes especies manglar al sustrato.

En el mapa (figura 24), se aprecian las condiciones geológicas dentro del área delimitación geográfica propuesta que pueden ser favorables, bajo esas características, para la distribución de especies vegetales asociadas con el Manglar Nosara; las cuales se caracterizan por materiales sedimentarios inconsolidados y/o marinos, así como aquellas condiciones negativas ligadas con formaciones rocosas o bien consolidadas. Sobre las condiciones geológicas favorables cabe señalar la adaptabilidad de las especies de vegetación de manglar que, según Woodroffe (1983), se refleja en un amplio rango de crecimiento para diferentes tipos de sustratos

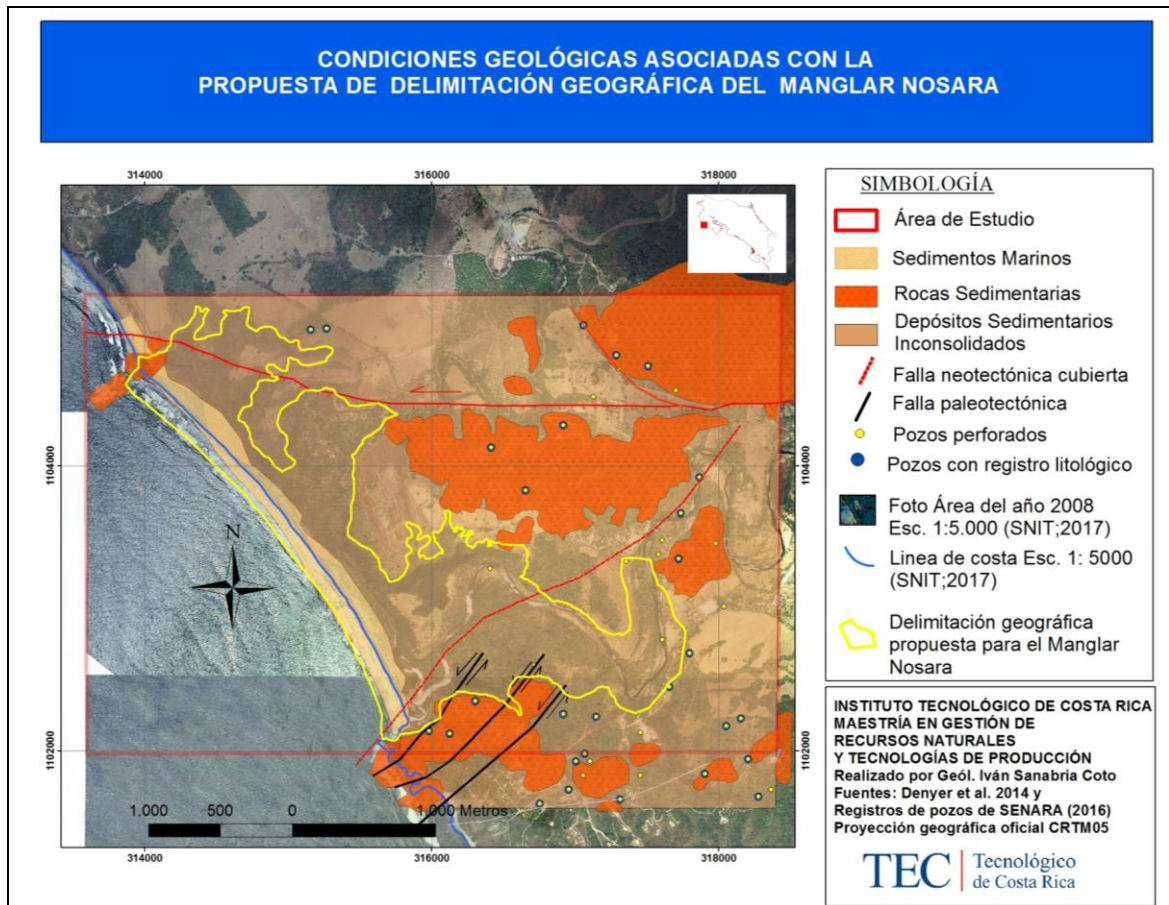


Figura 24. Mapa sobre las condiciones geológicas asociadas (compiladas) al área de delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara (polígono amarillo).

Fuente: Basada en Denyer et al. (2014), y base de pozos de SENARA (2016).

- *Criterio tectónico*

Según Martini (2014), el área de delimitación geográfica propuesta posee una constante deformación tectónica caracterizada por levantamientos costeros con magnitudes de 40-60 cm de índole cosísmica (asociados a sismos) y con importantes eventos sísmicos como el terremoto de Nicoya del 2012.

Cabe señalar que en periodos intermedios a los eventos sísmicos se ha observado también un progresivo hundimiento costero, lo cual puede también manifestarse por estructuras tectónicas locales con esa clase de movimiento vertical resultante como el “*Pull-Apart*” de Nosara.

Las estructuras tectónicas regionales estudiadas por Denyer y Alvarado (2009), Denyer et al. (2014), Montero & Denyer, 2014, e identificadas localmente en el área de estudio (cuadro 6), están asociadas con fallas activas o reconocidas como neotectónicas que por su tipo de deformación reciente provocan cambios evidentes en el terreno; los cuales fueron detectados en el campo (cuadro 5) y por el análisis de percepción remota mediante el uso de fotos aéreas, imágenes satelitales y modelos de elevación digital.

La existencia de estas estructuras (figura 24) permite el entendimiento de actuales o futuras restricciones espaciales asociadas con cambios topográficos bajo el área de manglar, o bien, las posibles alteraciones en la dinámica del factor hidrológico; siendo este último un aspecto fisiográfico fundamental para el establecimiento y permanencia de la distribución de especies vegetales del manglar en el área de delimitación geográfica propuesta

- *Criterio hidrogeológico*

De acuerdo a lo datos obtenidos en la base de datos del SENARA (primer objetivo), descrito por Arellano & Vargas (2000) se infiere que el nivel del agua subterránea dentro área de delimitación geográfica para el manglar Nosara posee profundidades que se somerizan conforme se aproxima a la costa. Por lo tanto, se puede suponer la existencia de áreas de manglar con un posible desarrollo “*freatofito*”, asociado con el aporte de aguas subterráneas en sus raíces.

Adicionalmente Zaldívar et al. (2010), ponen de ejemplo el emplazamiento de manglares asociados con el litoral costero del estado de Yucatán; los cuales guardan una estrecha relación con la interacción aguas subterráneas, especialmente en invierno. Este aspecto guarda estrecha relación con el Decreto MINAET N° 35803 que indica: Criterios Técnicos para la Identificación,

Clasificación y Conservación de Humedales (2010), el cual señala la interacción interna del agua en el suelo como uno de los posibles factores que facilita la condición de saturación hídrica de suelos asociados a humedales.

En esta investigación se presentó la síntesis de la información de niveles agua subterránea extraída de los pozos de la base de datos del SENARA para el área de estudio (cuadro 8), la cual sirve de sustento a la delimitación geográfica propuesta.

Cuadro 8. Resumen de la información de SENARA (2016), sobre niveles de agua en pozos

Código de Pozo	Profundidad estática reportada del nivel de agua en pozos
GA-56	4 m
GA-93	8,50 m
GA-246	3 m
GA-250	0,16 m
GA-19	2m
GA-116	No datos
GA-273	2 m
GA-2	2,81 m
GA-1	1,59 m
GA-3	2,17 m

Fuente: Base de datos de pozos del SENARA (2016).

En el registro de pozos del SENARA (2016) se infiere que, dentro del área de estudio, se presentan niveles freáticos muy someros conforme hay un acercamiento a la línea de costa, siendo entonces una condición sumamente importante para facilitar la existencia de sedimentos húmedos y/o niveles freáticos altos como aspectos favorables para el mantenimiento de áreas de humedal Manglar Nosara.

Adicionalmente Arellano & Vargas (2001), señalan que el Acuífero Nosara posee una tendencia a ser más superficial en dirección a la línea de costa, debido a las menores profundidades del nivel freático existente. Por otra parte y según el SINAC (2014), el acuífero Nosara se presenta como un acuífero de origen aluvial abierto abarcando una extensa área bajo la zona de estudio (figura 25).

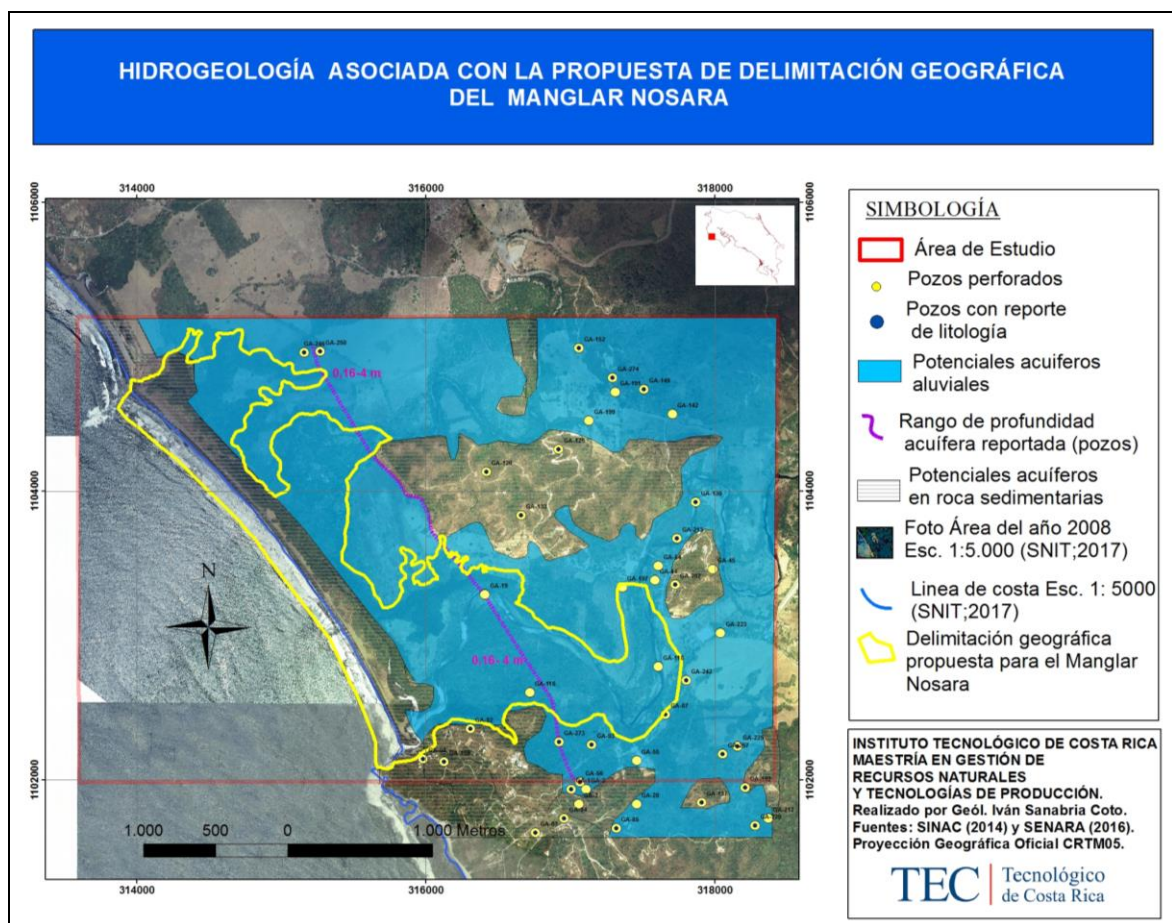


Figura 25. Mapa sobre las condiciones hidrogeológicas asociadas con el área (polígono) de delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara.

Fuente: Basada en SINAC (2014), SNIT (2017) y base de pozos de SENARA (2016).

- *Criterios asociados con características edafológicas*

Las condiciones edafológicas (cuadro 6) representan un elemento fisiográfico adicional que complementa la información sobre el área de delimitación propuesta; la misma permite identificar mediante parámetros de textura, composición y características hidráulicas las áreas de suelos/sedimentos con mayor potencial para el desarrollo vegetal de manglares en el área de estudio.

Para este efecto se complementa la investigación con los estudios realizados por Hernández (2010 b) y la información derivada del Ortiz & Montoya (2014). Estos últimos señalan dentro del área de estudio la predominancia de dos clases de suelos clasificados como Iceptisoles (mayoritariamente) y Alfisoles (figura 26), Según MAG (2017) el primer tipo de suelo está asociado a condiciones ligeramente planas o totalmente planas y a sedimentos fluviales, los cuales facilitan la explotación del mangle, también con gran capacidad para extracción de sal.

Por otra parte para Hernández (2010 b), el área de estudio existen al menos cinco clases de texturas de suelo predominantes (figura 27).

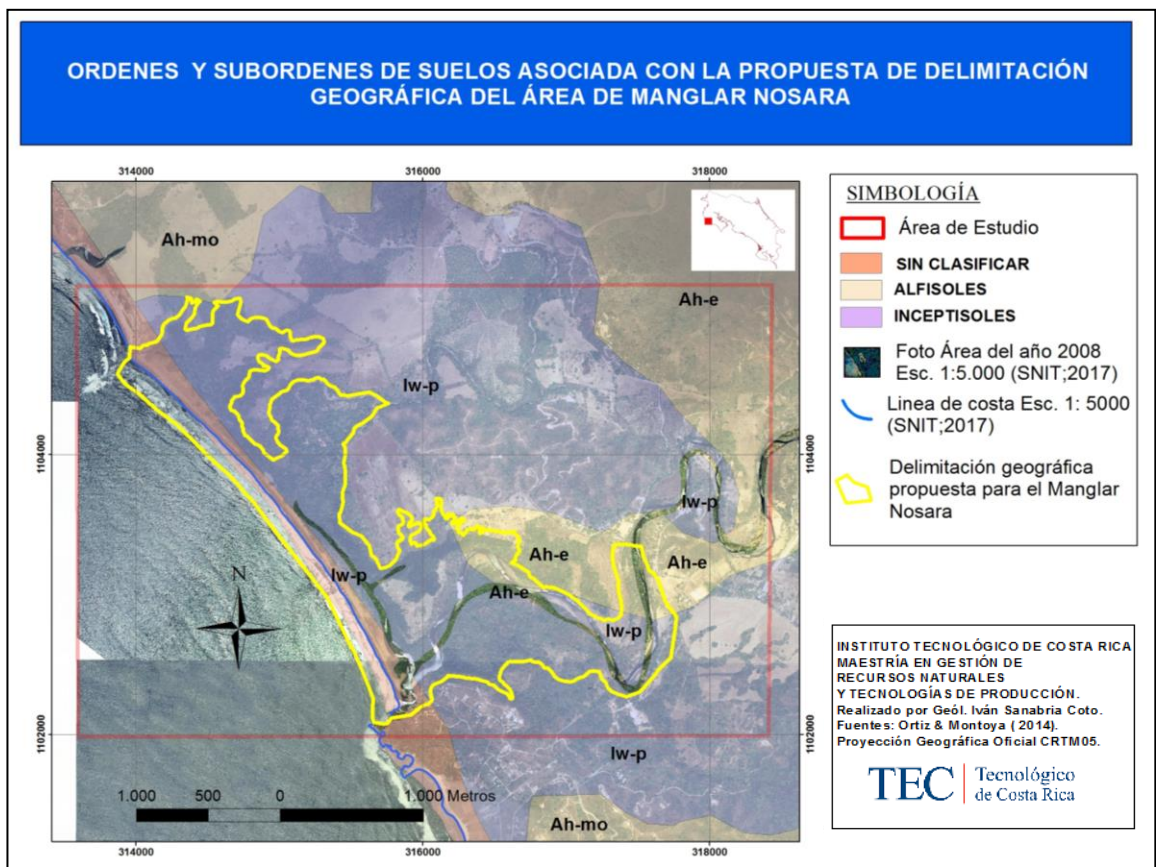


Figura 26. Mapa sobre los órdenes y subórdenes de suelos/sedimentos asociados con la delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara.

Fuente: Basada en Ortiz & Montoya (2014).



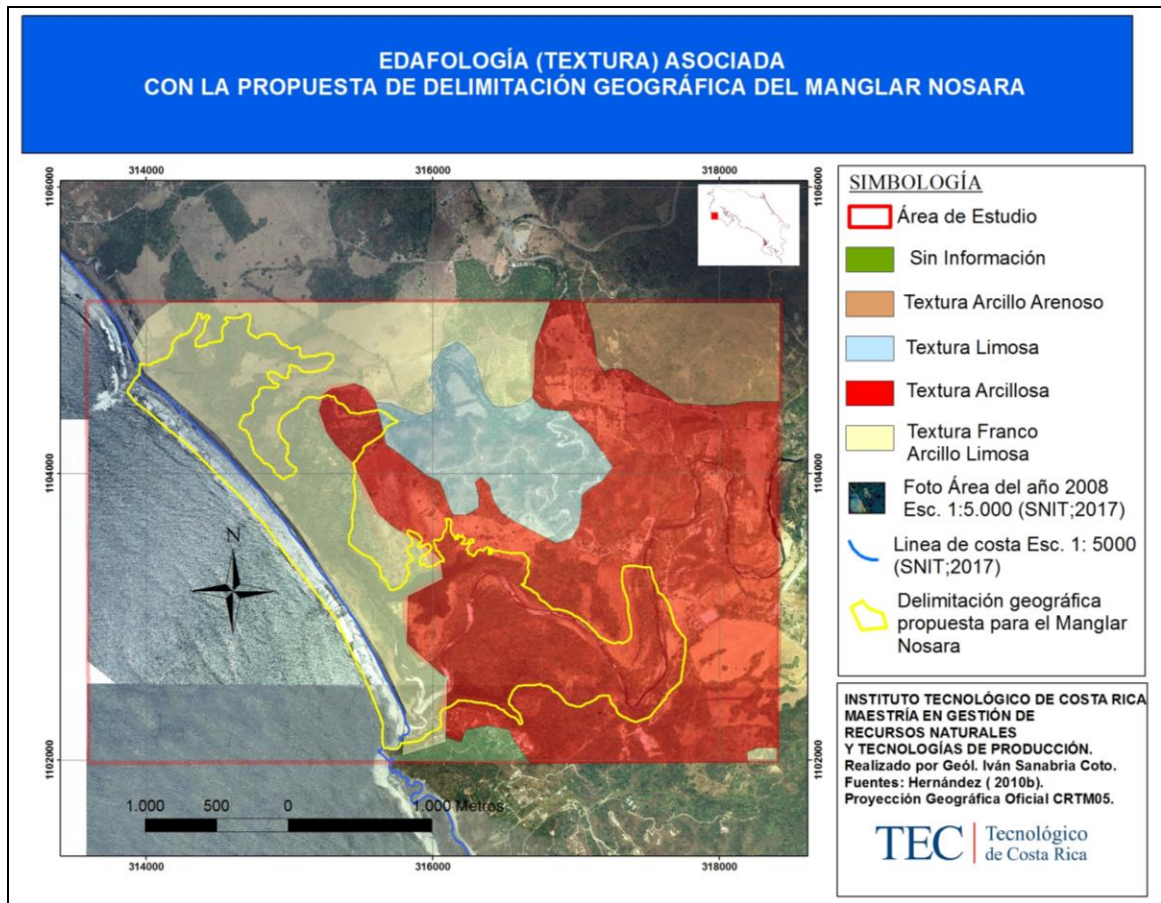


Figura 27. Mapa sobre aspectos texturales de los suelos/sedimentos asociados con la delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara.

Fuente: Basada en Hernández (2010 b).

- *Criterio asociado con la erosión/sedimentación existente*

La identificación de las zonas erosión/sedimentación (cuadro 6) permite inferir mediante SIG, los terrenos con sedimentos que presentan un mayor potencial para el desarrollo de las áreas de manglar; así como sobre las posibles texturas de los mismos dentro del área de delimitación propuesta, cabe señalar que este es uno de los aspectos fisiográficos que guarda estrecha correspondencia con las condiciones geomorfológicas observadas en el campo y mediante el análisis geomorfológico con fotos aéreas (figura 23).

De forma complementaria en la investigación de Hernández (2010 b), representada por el mapa de la figura 28, permite visualizar un Modelo de

Erosión/Sedimentación (MES) para los años 2004-2006; específicamente para la parte baja de la Cuenca del Río Nosara, la cual es posible estimar las áreas que son susceptibles a la erosión o bien con la sedimentación y donde la autora combina capas con información de la textura del suelo, la profundidad, la geomorfología, la pendiente, la precipitación y el uso de la tierra en un Sistema de Información Geográfico (SIG).

- *Criterio hidrológico*

Mediante la visualización de sectores de la red hídrica en el campo (cuadro 6) ubicados en la hoja Garza 1:50 000 del IGN y digitalmente en la base de datos del SNIT (2017) a escala 1:5000, se pueden observar extensas áreas con aportes superficiales de aguas continentales de ríos y quebradas en el mapa de la figura 29, lo cual potencia el emplazamiento de manglares en el área de delimitación propuesta.

De acuerdo con Hernández (2010 a, b), el río Nosara, es el curso principal del sistema hidrográfico del mismo nombre y se une en la parte baja de la cuenca hidrográfica (área de estudio) con los ríos Montaña y Quebrada Seca, conformando los tres una sola unidad hidrográfica que drena un área de 418,8 km<sup>2</sup>, de los cuales 338 km<sup>2</sup> corresponden al río Nosara, 75,23 km<sup>2</sup> al río Montaña y 5,75 km<sup>2</sup> al Quebrada Seca. Además, esta autora señala que estos ríos presentan trazados que indican la influencia estructural en el desarrollo y la orientación de sus cauces.

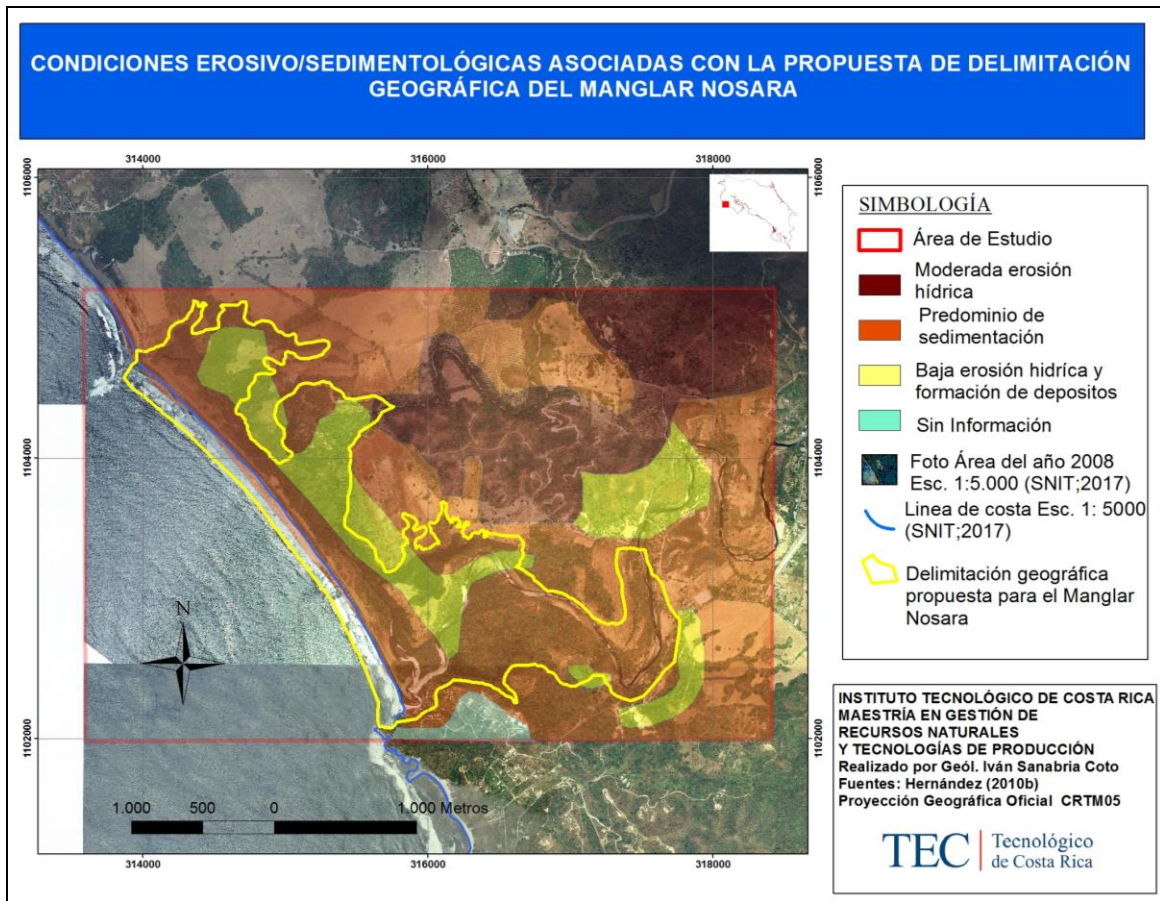


Figura 28. Mapa sobre condiciones erosivas/sedimentológicas asociadas con el área (polígono) de delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara.

Fuente: Basada en Hernández (2010 b).

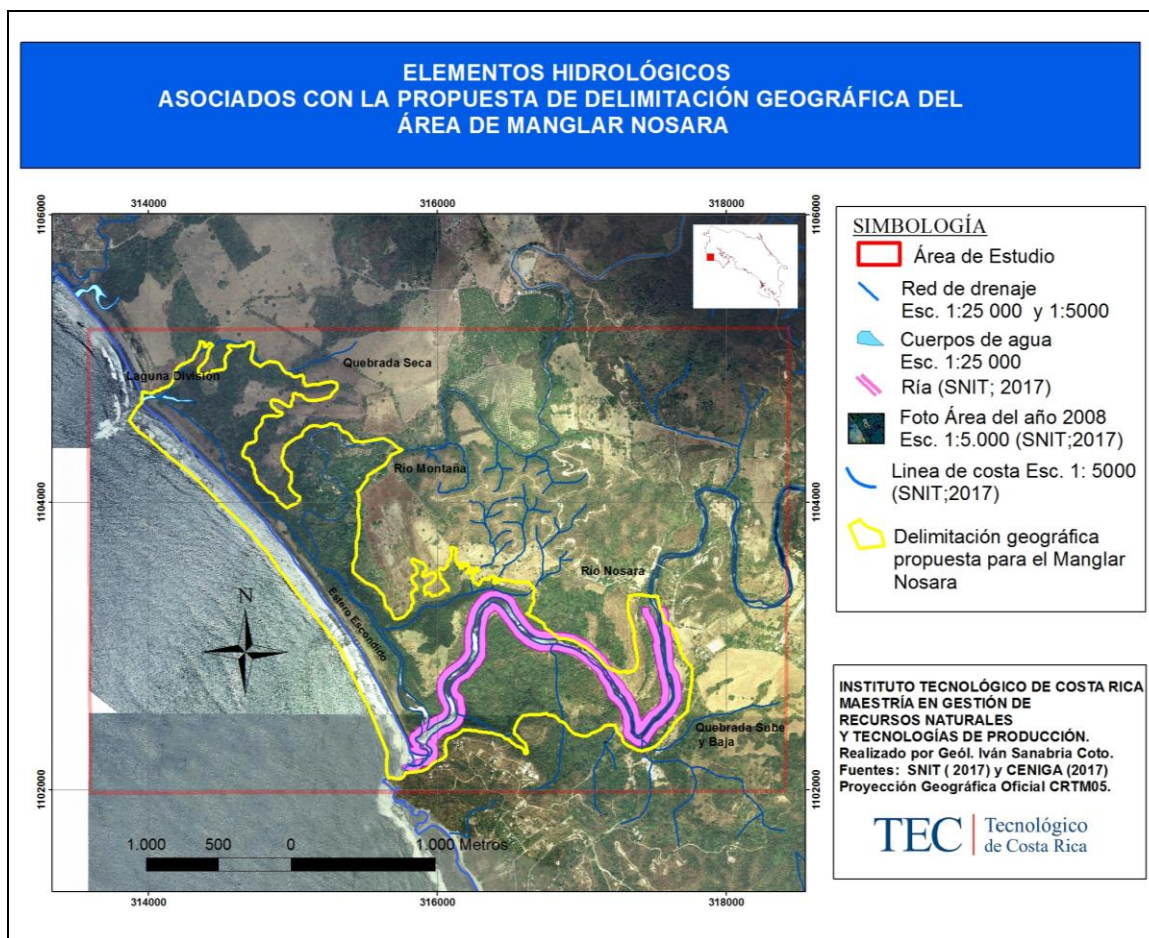


Figura 29. Mapa sobre condiciones hidrológicas asociadas con el área (polígono) de delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara.

Fuente: Basada en información de SNIT (2017) y CENIGA (2017).

- *Criterio asociado a zonas de inundación*

Durante la primera visita de campo se observaron evidencias asociadas con áreas potencialmente inundables (cuadro 6), aspecto también apreciado por Hernández (2010 b) y la CNE (2016) dentro de la delimitación geográfica propuesta. Este elemento fisiográfico indudablemente potencia el aumento de *la condición hídrica de los suelos saturados* (Decreto MINAET N°35803, 2010), siendo favorable para el desarrollo de los humedales, donde la frecuencia, duración de inundación y

saturación del suelo varía en forma amplia de permanentemente inundado o saturado a irregularmente inundado (figura 30).

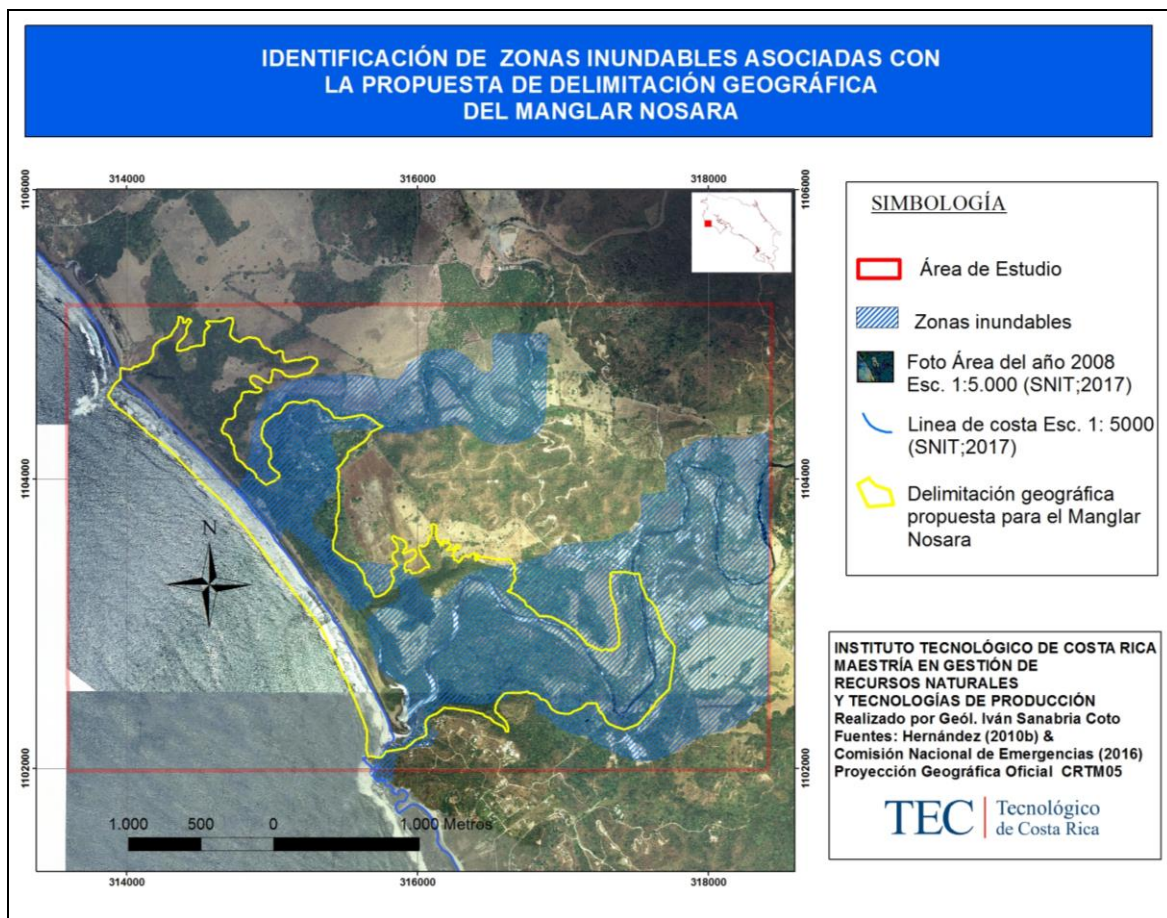


Figura 30. Mapa sobre áreas inundables (compiladas) asociadas del área (polígono) de delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara.

Fuente: Basada en CNE (2016) y Hernández (2010 b).

- Criterio asociado con el relieve topográfico*

Mediante la observación de campo (cuadro 6) y la elaboración de MEDs con insumos de percepción remota se logró aplicar modelos de sombras (figura 31), porcentajes de pendientes (figura 32); los cuales permiten establecer las áreas con pendientes aptas para el desarrollo de las áreas inundación y condiciones de

sedimentación de depósitos inconsolidados con texturas favorables para el emplazamiento de manglar en la zona de estudio.

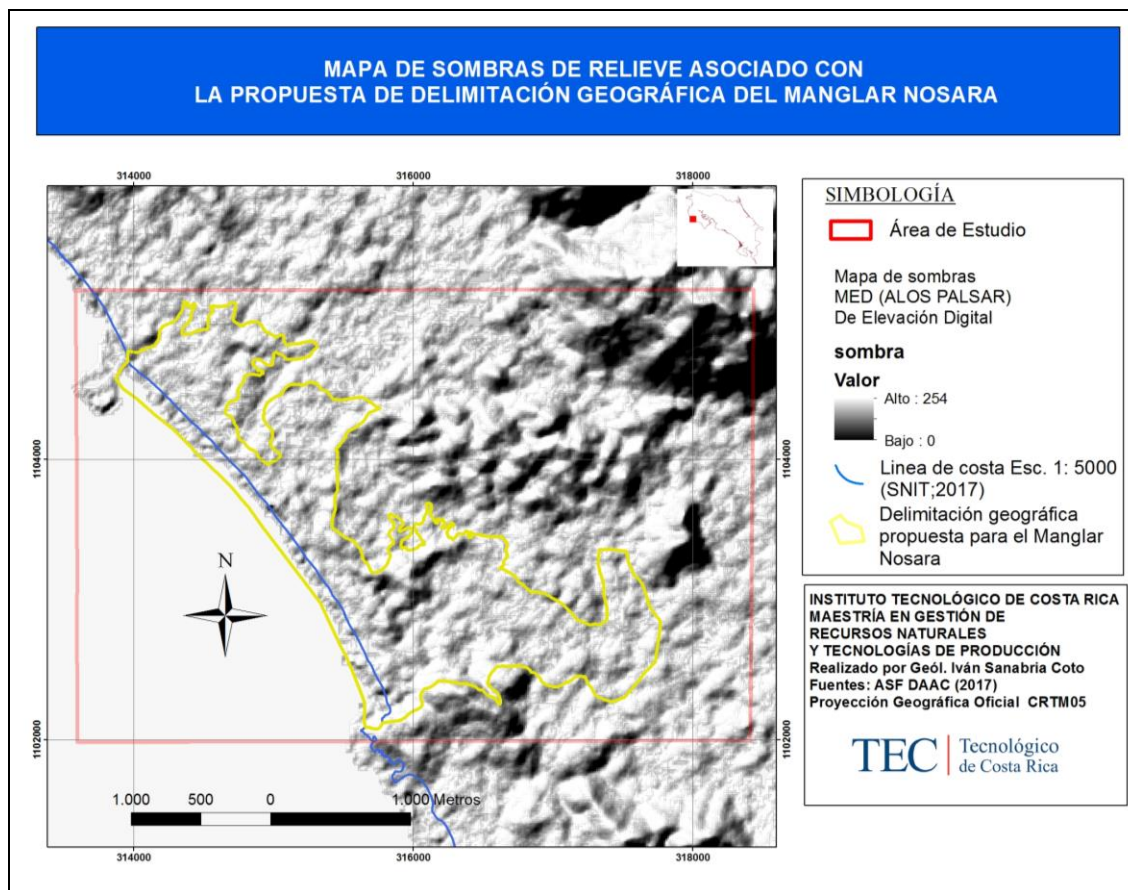


Figura 31. Mapa de sombras (relieve) asociado con el área de delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara.

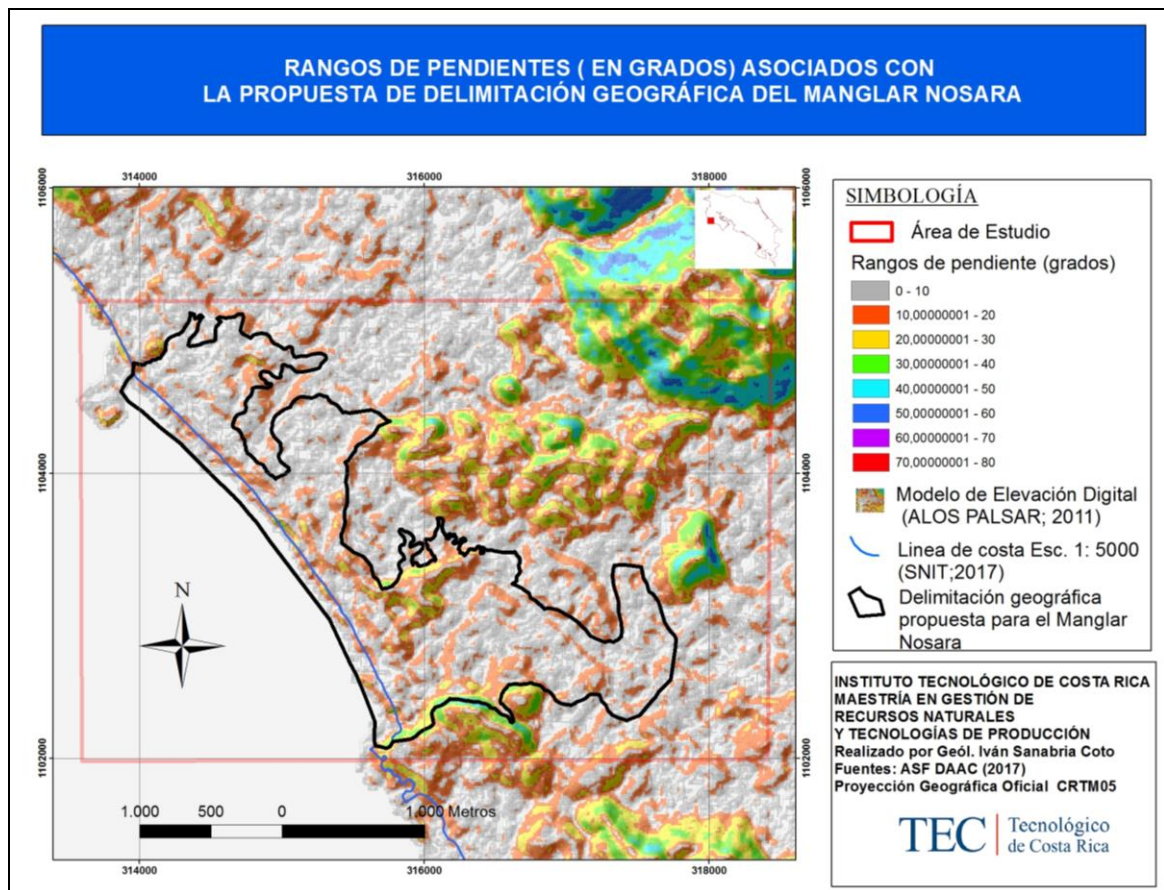


Figura 32. Mapa de pendientes (en grados) producto del relieve asociado con el área (polígono) de delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara.

- *Criterio asociado a condiciones meteorológicas*

Con los datos de temperatura y precipitación compilados del primer objetivo se pueden establecer las condiciones atmosféricas asociadas al contexto fisiográfico las cuales permiten la distribución de especies vegetales de las zonas de manglar dentro del área de delimitación propuesta.

Según Hernández (2010 b), los datos climáticos derivados de las estaciones meteorológicas: Nicoya, FERCO Garza y Nosara durante el año 2006, permiten apreciar que ocurren pocas variaciones térmicas durante el año, teniendo las temperaturas máximas en los meses de marzo y abril. La misma autora establece que en ninguna de las estaciones la máxima temperatura es menor a los 30°C y

las temperaturas mínimas que se registran en diciembre y enero no son menores a 19 ° C.

Por otra parte, con respecto a la precipitación Hernández (2010 b) señala que los datos permiten distinguir claramente el período seco, el cual ocurre entre diciembre y abril. Por otra parte los meses entre diciembre y marzo son meses secos, ya que la precipitación es menor a 50 mm, donde la Estación Nicoya reporta al mes de enero como el más seco con 4,4 mm, mientras que las estaciones FERCO Garza y Nosara, apuntan esta condición para febrero con 2,6 y 3,4 mm respectivamente y en las tres estaciones el mes de setiembre fue reportado como el mes más lluvioso.

- *Criterio asociado a salinidad y temperatura de las aguas presentes*

Las mediciones realizadas sobre la salinidad y la temperatura marina, permiten establecer las magnitudes base del área de estudio en términos de los parámetros físico/químicos hacia el interior del continente, tales como: la conductividad, la temperatura y el total de sólidos disueltos (TSD). Estos valores incluyen el sistema costero y el sistema ribereño, lo que muestra aspectos necesarios para la distribución de las especies vegetales dentro del manglar.

En investigaciones realizadas para el sector marino del refugio Ostional por parte de Brenes et al. (2012), señalan que la salinidad presentó un comportamiento espacial poco homogéneo en la superficie hasta los 10 m de profundidad, donde el aporte de agua dulce por escorrentía es uno de los factores que más modifican el campo superficial salino en aguas costeras. Agregan que en la superficie, el rango salino se ubicó entre 33.2 y 33.8 ups, valores típicos del Agua Superficial Tropical (AST).

Por otra parte, SINAC (2014) señala que el sistema riberino está representado por todos los drenajes existentes en el refugio, donde la salinidad de las aguas es menos de 0.5 ppm; el sistema estuarino que está formado principalmente por los esteros Ostional, Escondido y la boca del Río Rempujo donde los niveles de salinidad oscilan entre 5 y 35 ppm del año.



- *Coberturas forestales históricas*

Mediante un análisis comparativo de fotos aéreas a lo interno del área de delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara para los años 1944 y 2007, se observa la permanencia de parte de la cobertura forestal que existió en el año 1944 (figura 33). Se puede inferir para ambas fechas la presencia de coberturas asociadas con la distribución de especies vegetales de manglar por medio de los criterios de INTA (2013) presentes en el anexo 4.

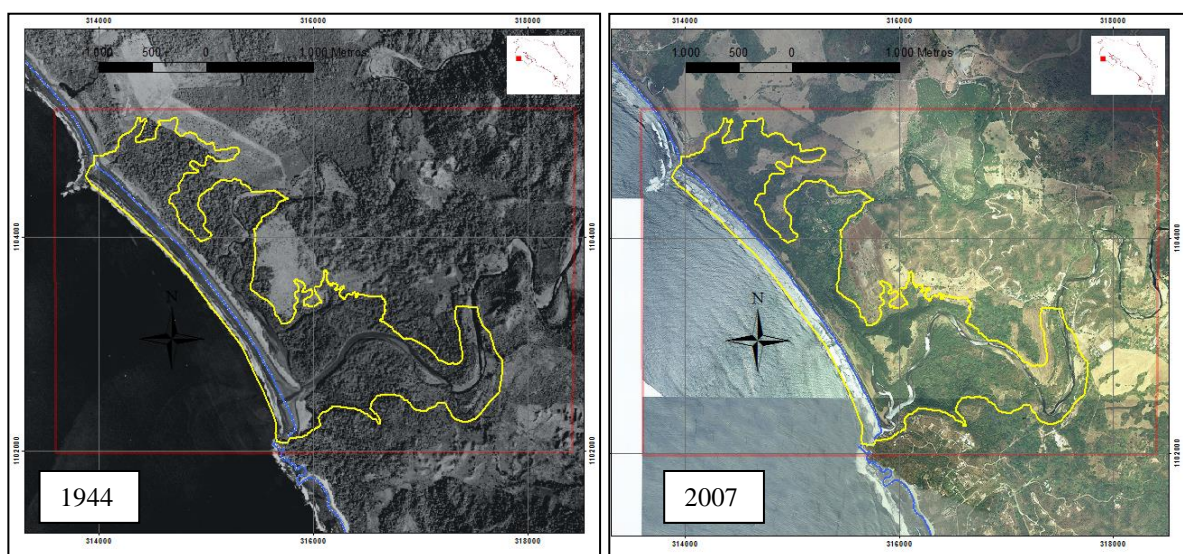


Figura 33. Vista de mapas de la cobertura forestal para los años 1944 y 2007.

En resumen, el área de delimitación propuesta en esta investigación cubre la totalidad de amojonamientos de la Zona Pública (ZMT) realizados por el IGN, lo cual incluye necesariamente los sectores con la distribución de especies de vegetación del manglar determinado por el SINAC (figura 34).

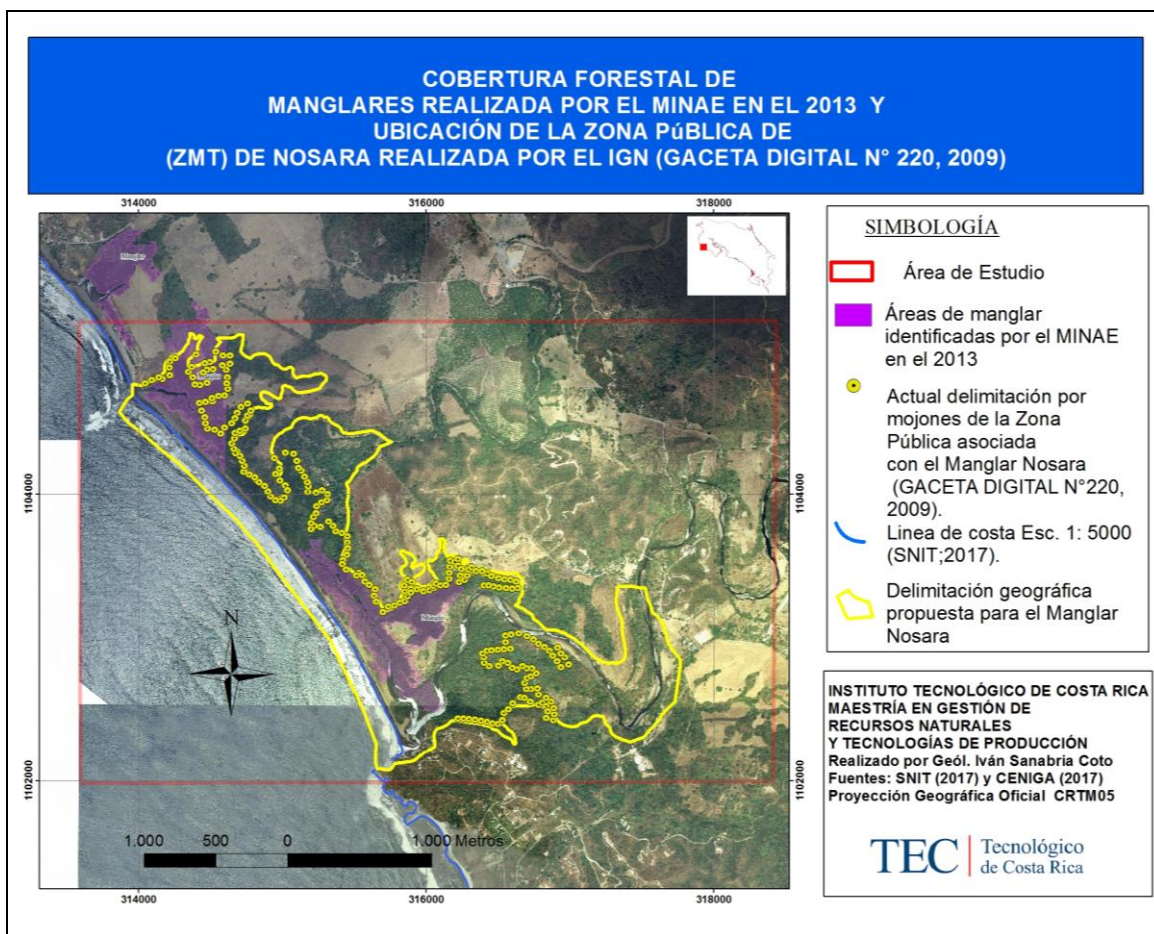


Figura 34. Mapa de coberturas forestales realizadas por el MINAE en el 2013 y delimitación de ZP por parte del IGN (GACETA DIGITAL N°220, 2009).

Fuente: Basada en SNIT (2017) y CENIGA (2017).

Adicionalmente las coberturas forestales observadas en las fotos aéreas del año 1944 y 2007 parecen poseer características pictórico-morfológicas descritas por INTA, 2013 y Benavides et al (2016), las cuales son compatibles con distribuciones de especies vegetales de manglar y con coberturas de manglar identificadas por el MINAE en el año 2013 (figura 34) y publicadas por el CENIGA (2017).

#### **4.5 Validación y justificación de la delimitación geográfica propuesta**

En este apartado se presentan los resultados del trabajo de campo para la segunda gira (abril de 2017), realizada específicamente a lo interno del área de delimitación propuesta para el Manglar Nosara (figura 12). La finalidad del mismo fue la comprobación con un alto grado de detalle de la mayoría de los elementos fisiográficos investigados (primer objetivo), integrados y analizados (segundo objetivo), como parte de los criterios para la delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara.

##### **4.5.1 Elementos fisiográficos y su relación con la distribución horizontal de especies vegetales del manglar**

En la mayor parte del área de delimitación propuesta (> 95%) se comprueban los elementos fisiográficos directamente asociados con bajos relieves topográficos (figuras 31 y 32), patrones hidrográficos con evidentes cambios laterales (figuras 23 y 29) y con sedimentos no consolidados (figuras 24 y 28); además de vegetación de manglar asociada (figura 18 A y B).

Según la clasificación expuesta por Yáñez et al. (1998), la geomorfología regional relacionada con el contexto fisiográfico del área de manglar Nosara permite apreciar dos clases de manglar de estuario y laguna. También permite según lo descrito por Yáñez et al. (1998) y Castillo (2010), la identificación, a nivel ecológico, de al menos tres tipos fisiográficos de manglar: borde, ribereño y de cuenca, los cuales mantienen una relación con la zonación existente.

Conforme se avanzó en los transectos en el área de delimitación propuesta, desde la parte externa de la costa a lo interno del continente, se observaron cambios texturales macroscópicos en suelos/sedimentos para las muestras recolectadas.

Lo anterior como consecuencia de la gradación de sedimentos con preponderancia de grano grueso (arenas) debido al aporte marino. Por otra parte, a lo interno del continente, se observaron facies de sedimentos con predominancia de grano más fino, caracterizado texturas de limos y arcillas, debido al aporte fluvial de la zona continental.

Los perfiles de análisis numerados del uno al seis dentro del área de delimitación propuesta (figura 35), están caracterizados mayoritariamente por sedimentos con texturas de tipo arenosas a arenosas francosas, siendo propios de la parte costera (influencia de mareas) y asociadas en el campo con especies vegetales como el Palo de Sal o *Avicenia germinans* (Samper & Silva, 2015) y el mangle Rojo o *Rhizophora mangle*.

Gómez & Rodríguez (2003), señalan que condiciones del Palo de Sal o *Avicenia germinans* tienden a soportar inundaciones periódicas, lo cual concuerda con los transectos de banda (figura 12), para este tipo de vegetación no fue observado tan cercana a la costa, estando más bien un poco más alejada de la influencia de la marea.



Figura 35. Mapa de nombres texturales (de laboratorio) para muestras de suelos/sedimentos y aguas recolectados.

Lo anterior guarda una estrecha relación con la distribución o sucesión vegetal horizontal esperada para el área del Manglar Nosara (figura 36), y con los tipos fisiográficos de vegetación de manglar existente.

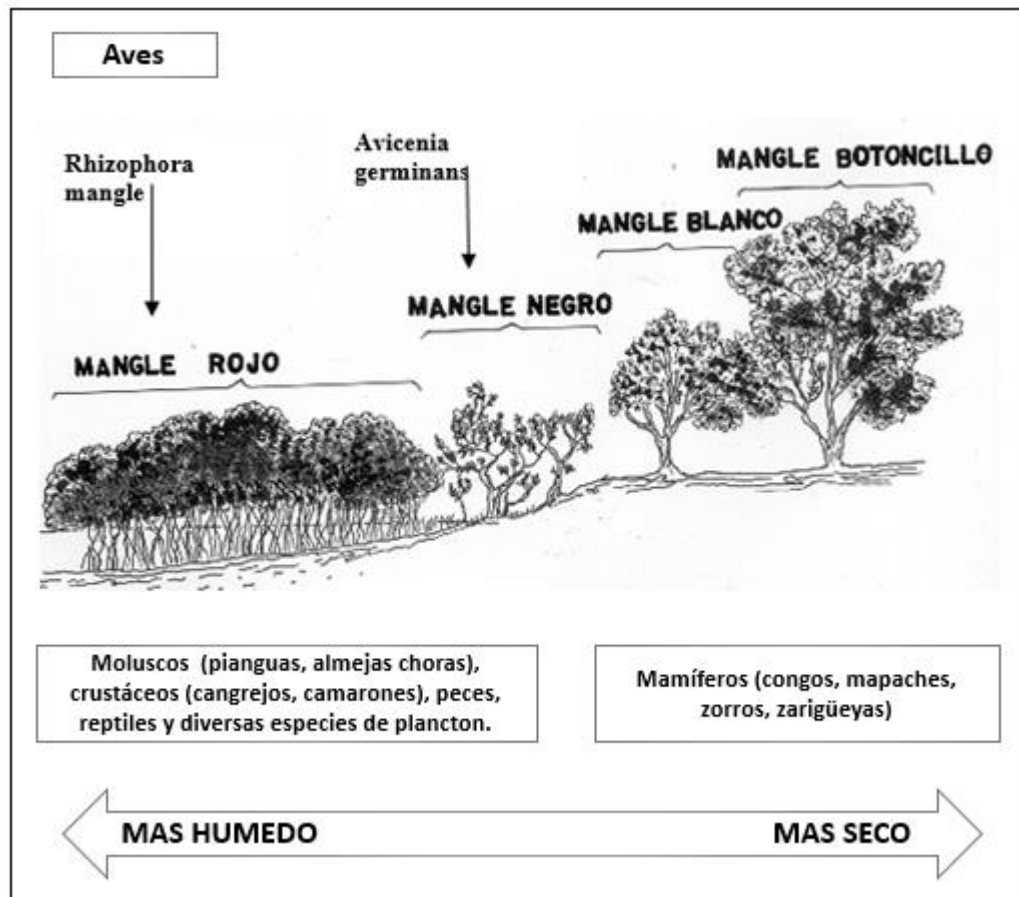


Figura 36. Distribución o sucesión horizontal inferida para el área de delimitación propuesta del Manglar Nosara.

Fuente: Figura modificada de Gómez & Rodríguez (2003).

Durante el recorrido de campo, a través de los ejes de transecto de banda (figura 12), fue muy notable la existencia del mangle Rojo o *Rhizophora mangle*, muy cercano a la línea de costa (figura 36) en algunas decenas de metros tierra adentro, esta especie presenta características similares a las descritas por Gómez & Rodríguez (2003) respecto a su emplazamiento en zonas inundables y con gran concentración salina (figura 37). Finalmente, los arbustos de Majagua (*Hibiscus Pernambucoensis*) fueron asociados en todos los perfiles con la vegetación de mangle Rojo y Negro.

También es posible observar, dentro de los perfiles de análisis, las mayores conductividades eléctricas en el orden de 52,9 mS/cm (figura 37) para las muestras más cercanas a la costa y una reducción sustancial de este parámetro para las muestras de agua tomadas hacia el continente en el orden de 0,33 mS/cm, lo cual es correspondiente con un aporte marino que sufre dilución superficial por aguas continentales tierra adentro (figura 37).

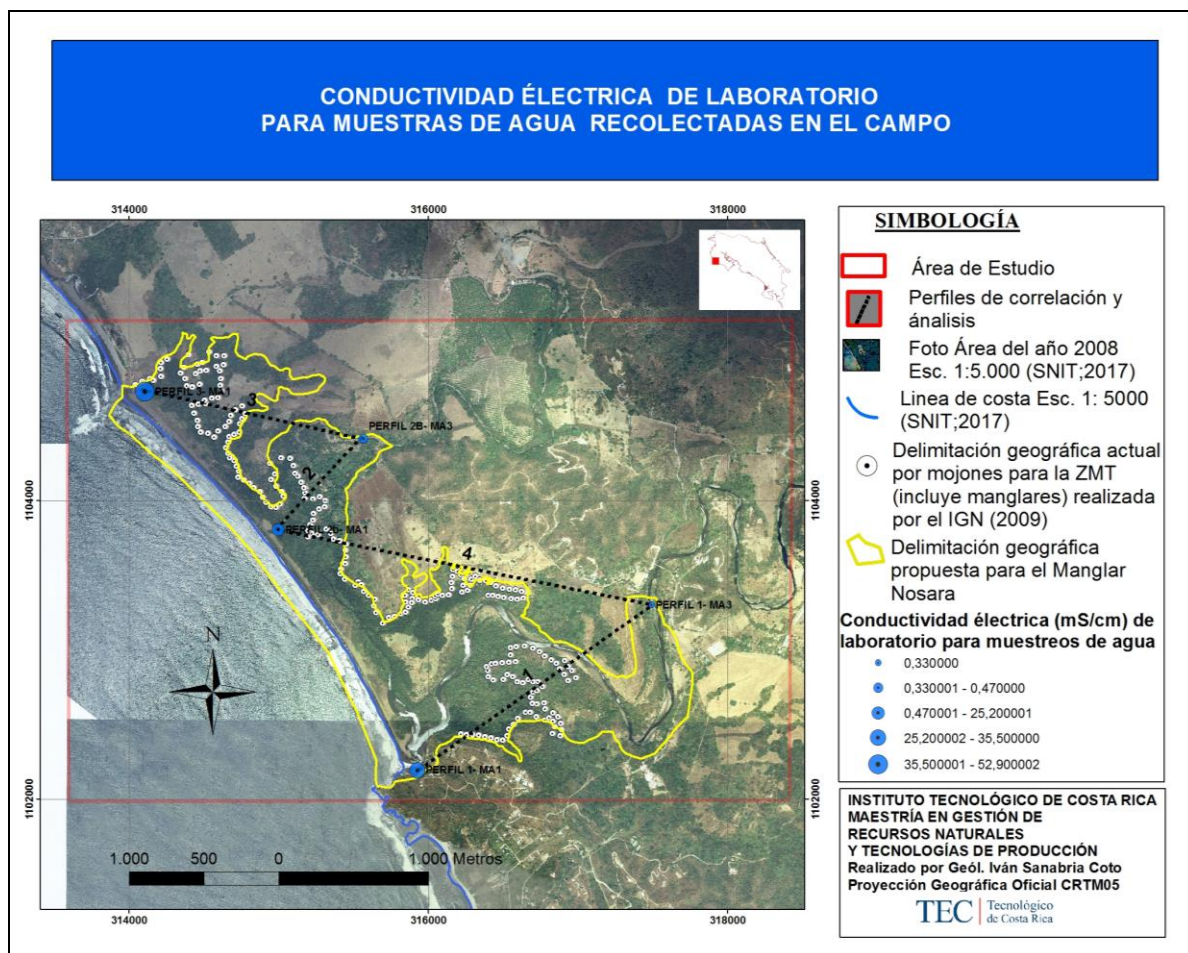


Figura 37. Mapa de conductividades eléctricas (por laboratorio) para muestras de agua recolectadas.

Fuente: Elaboración propia basada en análisis de datos de laboratorio para muestras de agua

Los rangos de conductividad eléctrica (mS/cm) determinados en el laboratorio para las muestras de agua (figura 37), que fueron obtenidas de forma intersticial (en sedimentos), en ríos y quebradas activas e intermitentes (figura 14) guardan relación con niveles equivalentes de medición de la concentración máxima de la salinidad para valores de ups obtenidos por Brenes et al. (2012) y Samper & Silva (2015).

No obstante; los valores de conductividad obtenidos en esta investigación son mayores a los niveles equivalentes de concentración salina en ppm reportados por SINAC (2014) para los sectores riberos y estuarinos; posiblemente asociado con lo observado por Spotila et al. (2015) durante la época seca para el sector de Tamarindo, Guanacaste.

Adicionalmente se presentan sedimentos más finos de textura arcillosa, franca arenosa con una transición a granulometrías del tipo franco limoso en el sector costero interno o más continental. Estas características guardan correspondencia con los criterios fisiográficos de condición de los suelos (figura 27) y de carácter erosivo/sedimentarias (figura 28) asociados con la distribución de especies vegetales de manglar.

Los porcentajes texturales de los suelos/sedimentos muestreados, y sus porcentajes granulométricos asociados (figura 38), se pueden correlacionar con la sedimentación observada producto de cauces ocasionales o intermitentes (figuras 23 y 29), así como amplias zonas de inundación identificadas (figura 30), zonas de bajo relieve topográfico (figuras 31 y 32) y, finalmente, por importantes elementos hidrográficos asociados con el Río Nosara y la Quebrada Montaña (Hernández; 2010 a).



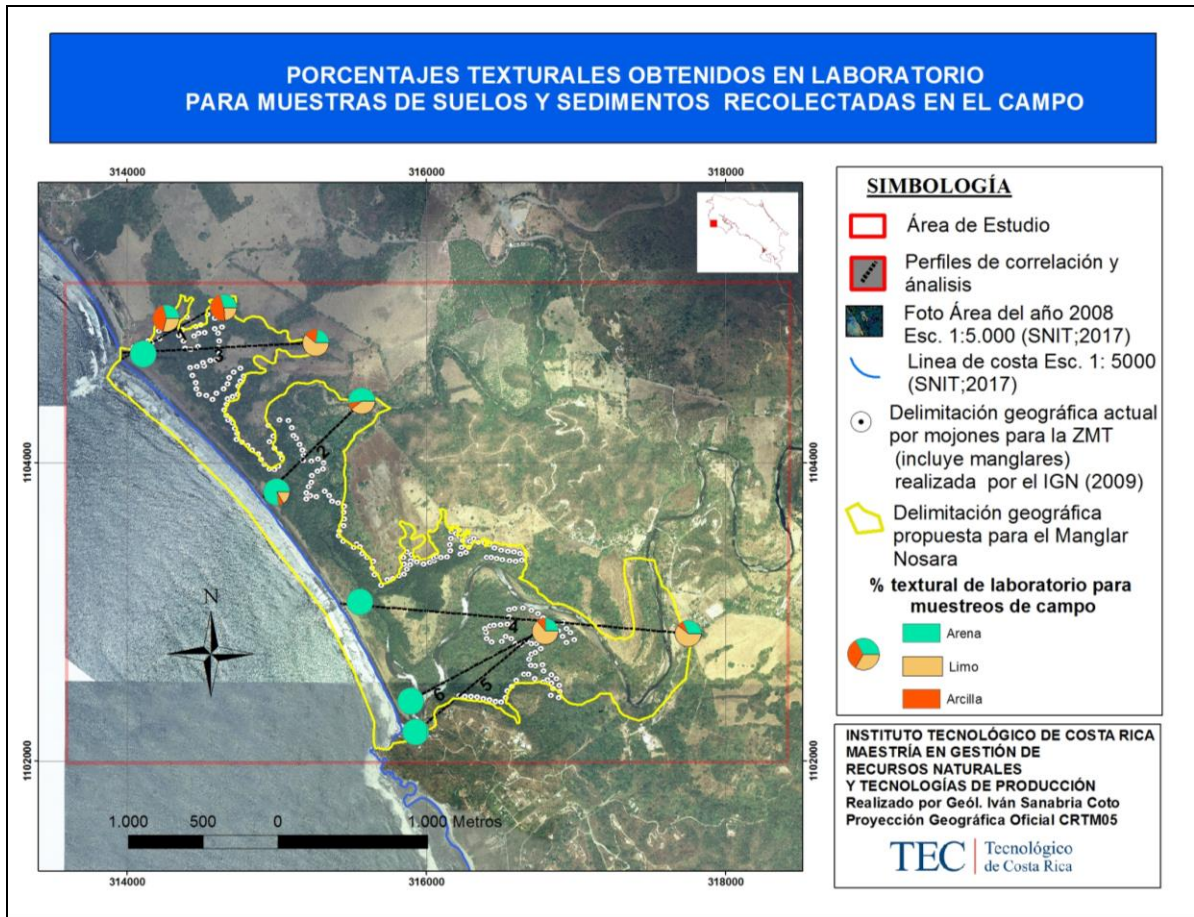


Figura 38. Mapa de porcentajes texturales (de laboratorio) para muestras de suelos/sedimentos y aguas recolectadas.

#### 4.5.2 Vulnerabilidad y adaptabilidad ecológica del Manglar Nosara

Según Valverde et al. (2016) para Costa Rica existe posibilidad de un aumento del nivel del mar, con un escenario realista de ascenso de un metro de altura o más para el año 2100 lo que hace prever que los tipos de costa caracterizados preferentemente por playas en el frente de llanuras aluviales y marismas (como el área de estudio), serán las más vulnerables ante un ascenso del nivel del mar; conllevando consecuentes transgresiones de la línea ribereña actual y ampliación de las áreas sujetas a inundación mareal.

La distribución de las especies vegetales de manglar y las asociadas puede distribuirse en función con el aumento de aguas marinas en la red hídrica continental a causa de cambios del nivel del mar asociados con la geomorfología de la costa, un posible hundimiento tectónico progresivo de la costa, cambios en la precipitación y por otros fenómenos asociados con el clima y las mareas extraordinarias que faciliten la transgresión marina (Coll et al. 2001, Spotila et al. 2015 y Benavides et al; 2016).

Además según Yáñez et al. (2014) un mayor aporte de sedimentos terrígenos hacia la costa, en combinación con suficiente aporte de agua dulce, combinado con una llanura costera extensa y una mayor temperatura facilita que manglares encuentren condiciones propicias para su expansión.

Lo anterior podría permitir que las especies vegetales asociadas con el Manglar Nosara retomen, paulatinamente, esa hipotética zona de desarrollo de manglares, más a lo interno de sus actuales límites costeros

Por otra parte, Valverde et al. (2016) mencionan que la existencia de canales internos coadyuva a una baja vulnerabilidad costera debida a un aumento del nivel del mar.

Los elementos fisiográficos que potencian la posible migración adaptativa en la distribución vegetal horizontal del manglar hacia el continente se vinculan directa y sinérgicamente con la geomorfología existente, el bajo gradiente del relieve topográfico, aéreas inundables, existencia de sustratos (sedimentos y suelos) con características texturales y composicionales específicas (geología y edafología), aguas subterráneas someras, hidrología (red hídrica), tectónica y evidencias de percepción remota (fotos e imágenes aéreas) sobre la existencia de coberturas forestales históricas asociadas con la permanencia de especies manglar a lo interno del área propuesta.

### **4.5.3 Protección de recursos ecosistémicos mediante la propuesta de delimitación geográfica del Manglar Nosara**

Es evidente que la actual delimitación geográfica para el Manglar Nosara identificada por el SINAC y amojonada por parte del IGN (GACETA DIGITAL N°220, 2009), como parte de la zona pública de la ZMT, cumple con los criterios fisiográficos necesarios para el emplazamiento de especies vegetales de manglar. No obstante, se demuestra en esta investigación la existencia potenciales condiciones fisiográficas para el aumento en la distribución horizontal de especies vegetales del manglar para un área geográficamente mayor que la actualmente establecida (amojonada) para el manglar Nosara como parte de la Zona Pública de la ZMT.

Este último aspecto es de suma importancia dentro de esta investigación, ya que esa área adicional puede introducirse como un factor a valorar en los planes maestros costeros del uso de suelo de la ZMT por medio de una “Zona de Amortiguamiento” (ZA) del manglar, la cual puede mantener diferentes y novedosas opciones de recursos ecosistémicos de valor no extractivo así también de conservación para efectos de la futura resiliencia del manglar.

Los recursos ecosistémicos identificados por SINAC (2014) y que pueden potenciarse dentro de la delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara son los siguientes:

- Servicios ecosistémicos de apoyo
- Servicios ecosistémicos de aprovisionamiento
- Servicios ecosistémicos de regulación
- Servicios ecosistémicos culturales

La necesidad de conformar una zona de amortiguamiento en la actual delimitación oficial del manglar Nosara, es un concepto también expuesto por Benavides et al. (2016) para varios manglares de Bahía Culebra, Guanacaste. Los autores manifiestan que es conveniente que la protección de los manglares también

incluya la protección de áreas de amortiguamiento a su alrededor, lo cual permitiría reducir impactos futuros.

Así mismo, otro aspecto positivo es que la delimitación final propuesta (figura 39), no representa una regresión ambiental sobre la protección ambiental de la actual área protegida si no que, todo lo contrario; al conocer y considerar la dinámica fisicoquímica y ecológica se asegura su conservación a futuro; mediante la adicción de una mayor área a la actualmente establecida. En síntesis, la investigación ofrece una adecuada gestión ambiental para reducir la presión humana y potenciar su adaptación geográfica del Manglar Nosara al medio, ante futuros cambios que amenacen su existencia.

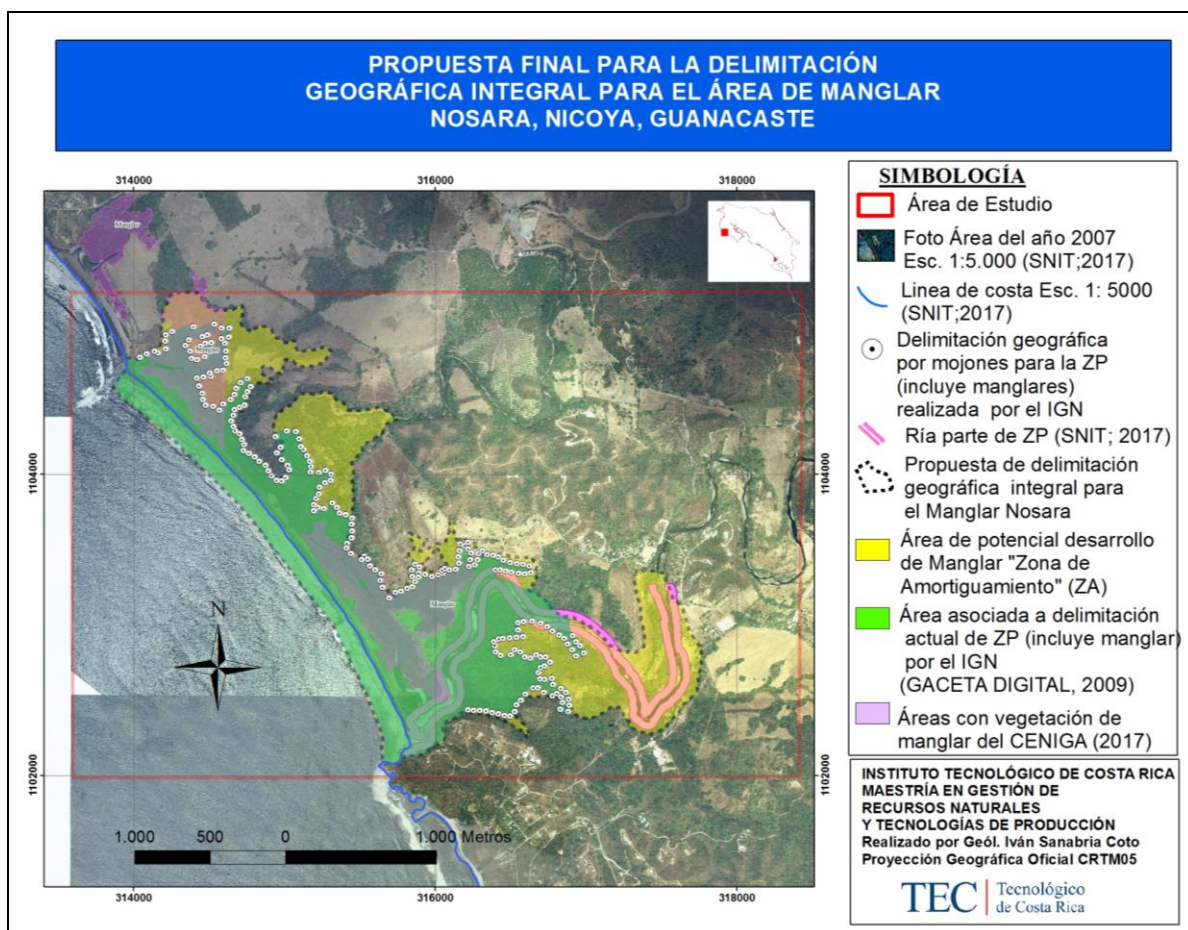


Figura 39. Mapa final para la delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara, Nicoya, Guanacaste.

## **CAPITULO 5. CONCLUSIONES.**

1. Se logró establecer una propuesta metodológica integral (transdisciplinaria) y de enfoque principalmente cualitativo, para proponer una ampliación del área definida para el Manglar Nosara, Nicoya; la cual puede ser corroborada de forma científica mediante la identificación, correlación y análisis de los elementos fisiográficos existentes en el área de estudio.
2. La primera gira al área de estudio permitió un reconocimiento de campo complementario a la compilación de estudios multidisciplinarios sobre elementos fisiográficos que guardan relación con el emplazamiento y distribución vegetal horizontal del Manglar Nosara, como parte del proceso de investigación necesario para el cumplimiento del primer objetivo.
3. Mediante el uso de software especializado en SIG se realizó una eficaz integración y análisis de los elementos fisiográficos investigados en el campo. Complementados mediante la compilación de estudios multidisciplinarios que incluyen datos geospaciales importantes para la obtención de los criterios científico/técnicos para la delimitación geográfica propuesta para el Manglar Nosara.
4. La segunda gira al campo incluyó, además de la observación a detalle, la recolección de muestras de suelo/sedimento y aguas para ensayos de laboratorio. Estos datos permitieron validar los criterios sobre la distribución o zonación vegetal horizontal a lo interno del área de delimitación propuesta.
5. Con la aplicación de la presente metodología se logra unificar y cubrir las delimitaciones para el área del Manglar Nosara basadas en el amojonamiento de la ZP por parte IGN (GACETA DIGITAL N°220, 2009) y también con la correspondiente a la cobertura forestal para especies vegetales de manglar elaborada por parte del MINAE (2013) dentro del área de estudio, sin que exista una regresión ambiental para el área de protección ambiental oficial.

6. En el área de Nosara se comprueba que existe la suficiente cobertura de información multidisciplinaria, al igual que en insumos de percepción remota para una adecuada integración e análisis de elementos fisiográficos mediante Sistemas de Información Geográfica los cuales sustentan la actual delimitación geográfica propuesta de los manglares de la Zona Pública en la ZMT.
7. Los elementos fisiográficos identificados y que pueden favorecer la migración de la distribución horizontal de especies vegetales del Manglar Nosara (resiliencia), ante un aumento del nivel del mar, se correlacionan con características geomorfológicas vinculadas al relieve, estabilidad erosiva, tectónica, salinidad, depositación y contenido de materiales (sedimentos), aguas subterráneas muy someras (potencia vegetación freatofita), presencia de zonas inundables, granulometrías y composición de suelos y de carácter hidrológico entre otros.
8. Según la clasificación expuesta por Yáñez et al. (1998), y la geomorfología regional relacionada con el contexto fisiográfico del área de manglar Nosara permiten apreciar dos clases de manglar de estuario y laguna. Y según lo descrito por Yáñez et al. (1998) y Castillo (2010), la identificación, a nivel ecológico, de al menos tres tipos fisiográficos de manglar: borde, ribereño y de cuenca, los cuales mantienen una relación con la zonación existente.
9. Existe evidencia de condiciones óptimas para la aparición de vegetación de manglar en función de las geoformas, ubicadas en cauces históricamente activos, ocasionales o intermitentes, meandros abandonados, llanuras de inundación y terrazas fluviales (figura 23). Siendo lo anterior un aspecto positivo para la resiliencia del manglar ya que Valverde et al. (2016) señalan que la existencia de canales internos coadyuva a una baja vulnerabilidad costera debida a un aumento del nivel del mar.
10. La distribución horizontal vegetal en el área de delimitación propuesta podría aumentar en función del incremento de aguas marinas en la red hídrica continental a causa de cambios del nivel del mar asociados con la

geomorfología de la costa, un posible hundimiento tectónico progresivo de la costa, cambios en la precipitación y por otros fenómenos asociados con el clima y las mareas extraordinarias que faciliten la transgresión marina (Coll et al. 2001, Spotila et al. 2015 y Benavides et al; 2016).

11. La propuesta metodológica de este estudio, es un novedoso complemento para los actuales procedimientos técnico/científicos de identificación de las áreas de manglar expuestos por el Decreto MINAET N° 36786 (2011) y el Decreto MINAET N°35803 (2010), los cuales sirven de base a la aplicación del Decreto MP-MOPT-MINAET N° 36642 (2011) para la delimitación geográfica de las áreas de manglar en Costa Rica como parte de la Zona Pública de la ZMT (Ley N° 6043 sobre la Zona Marítimo Terrestre , 1977).
12. La presente propuesta metodológica para la delimitación geográfica del Manglar Nosara justifica la existencia de una zona de amortiguamiento (ZA) o protección con diferentes tipos de valor ecosistémicos o de conservación, ante un posible cambio de la distribución de especies de manglar (resiliencia), por un aumento de la marea ante cambios propios de la geodinámica del contexto natural.

## **CAPITULO 6. RECOMENDACIONES**

13. Se deben realizar muestreos de aguas, en ambas estaciones climáticas, en más cantidad de sitios, que abarquen los gradientes de la entrada de agua marina y las mezclas con aguas dulces, para obtener los parámetros mínimos y máximos de conductividad eléctrica asociada a salinidad del medio.
14. Se recomienda aplicar la presente propuesta metodológica como un factor a valorar en los planes del uso de suelo costero (planes maestros) para la generación de una posible “Zona de Amortiguamiento” (ZA) del manglar.
15. Es recomendable, en la medida de las posibilidades económicas y logísticas, la aplicación de más técnicas de prospección y caracterización del contexto fisiográfico por medio de métodos geofísicos, por medio de

pruebas de infiltración que permitan mostrar mayores condiciones de los terrenos asociados con la potencial existencia de la vegetación propia de manglar.



## BIBLIOGRAFÍA

- ARELLANO, F. & VARGAS, V. (2001). Casos de contaminación por intrusión salina en acuíferos costeros de la Península de Nicoya (Costa Rica). *Revista Geológica de América Central*, (25), 77-84.
- ASF DAAC (2017). Modelo de Elevación Digital (AP\_27221\_FBS\_F0180\_RT1). Recuperado de <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>.
- BERGOIEING, J; BRENES, L; CARRILLO, M. & BARRIENTOS, O. (2014). Atlas geomorfológico de Costa Rica: escala 1:100000 (Inédito). Universidad de Costa Rica y Registro Nacional Ed. San José Cr 74 p, il: col., mapas.
- BENAVIDES, C; SAMPER, J. & CORTES, J. (2016). Cambios en la cobertura de manglares en Bahía Culebra, Pacífico Norte de Costa Rica (1945-2010) *Rev. Biol. Trop.* (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 64 (3): 955-964.
- BARRANTES, M. & 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 *Revista de Biología Tropical*, 63, 47-60.
- BRENES, C; MÁRQUEZ, A. & QUIRÓS, W. (2012). Rasgos Hidrográficos y Batimétricos del Refugio Nacional de Vida Silvestre Ostional y Áreas Adyacentes, Guanacaste, Costa Rica. *Rev. Mar. Cost.* 4, 145-156.
- CÁRDENAS, E; MORALES, M; LUZ, Y; & USSA, A. (2015). La estereoscopía, métodos y aplicaciones en diferentes áreas del conocimiento. *Revista Científica General José María Córdova*, 13 (16), 201-219.

- CENIGA (Centro Nacional de Información Geoambiental). (2017). Mapa de tipos de bosque 2013. Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). Recuperado de <http://ceniga.sinac.go.cr/geonetwork/srv/eng/main.home>.
- CINTRÓN, G. & SCHAEFFER, Y. (1984). Methods for studying mangrove. en Snedaker, e. c., and j. g. Snedaker [Eds.]. The mangrove ecosystem: Research methods. Monogr. Oceanogr. Methodol. UNESCO, Paris and New York, 8, 91-113.
- CNE (Comisión Nacional de Emergencias). (2016). Mapas de amenazas naturales para Costa Rica. Recuperado de <https://www.cne.go.cr/index.php/prevenie-desastres-menuprincipal-93/mapas-de-amenazas>.
- COLL, M; FONSECA, A. & CORTÉS, J. (2001). El manglar y otras asociaciones vegetales de la laguna de Gandoca, Limón, Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 49. Supl. 2: 321-329.
- CUBERO, D. (2001). Clave de bolsillo para determinar la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería Dirección de Planificación del Uso de la Tierra San José CR. Editorial Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- DECRETO N° 7841-P. (1977). Reglamento a la Ley sobre la Zona Marítimo Terrestre N° 6043 de 2 de marzo de 1977, Publicada en el Alcance N° 36 a "La Gaceta" N° 52 de 16 de marzo de 1977.
- DECRETO N° 23214-MAG-MIRENEM. (1994). Metodología Determinación Capacidad Uso Tierras Costa Rica.

DECRETO N° 33957 MINAE-MAG. (2007). Reforma Metodología Determinación Capacidad Uso Tierras Costa Rica.

DECRETO N° 35803–MINAET. (2010). Criterios técnicos para la identificación, Clasificación y conservación de humedales. Publicado en la GACETA N° 73, del 16 de abril de 2010. Costa Rica.

DECRETO N° 36642-MP-MOPT-MINAET. (2011). Reglamento de Especificaciones para la Delimitación de la Zona Pública de la Zona Marítimo terrestre Publicado en la Gaceta N° 136, del 14 de julio de 2011. Costa Rica.

DECRETO N° 36786-MINAET. (2011). Manual para la clasificación de tierras dedicadas a la conservación de los recursos naturales dentro de la Zona Marítimo Terrestre en Costa Rica. Publicado en la Gaceta N° 217, del 11 de noviembre de 2011. Costa Rica.

DENYER, P; MONTERO, W. & ALVARADO, G. (2009). Atlas tectónico de Costa Rica (2da ed.). -55 págs. Ed. Univ. Costa Rica, San José.

DENYER, P; AGUILAR, T. & MONTERO, W. (2014). Cartografía geológica de la península de Nicoya, Costa Rica, estratigrafía y tectónica / Percy Denyer, Teresita Aguilar, Walter Montero. -1. Ed. San José Costa Rica.

FAO (Food and Agriculture Organization). (2004). Inventario Forestal Nacional Modelo de Manual de Campo. Documento de trabajo ERF. 94 E/F/S. Roma.

FUJIMOTO, K. & MIYAGI; T. (1993). Development process of tidal-flat type mangrove habitats and their zonation in the Pacific Ocean A geomorphologic study En: Vegetation, 106 137-146, 1993. M. M. Grandtner

and T. Kikuchi (eds). Vegetational Patterns in Relation to Landforms. 137?  
1993 Kluwer Academic Publishers. Printed in Belgium.

GACETA DIGITAL N° 220. (2009). INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE GEODESIA Y TOPOGRAFÍA AVISO N ° 2009-16  
ZONA MARÍTIMO TERRESTRE: Amojonamiento de Zona Pública entre  
sectores de Playa Ostional hasta Playa Guiones. La Gaceta Digital Diario  
Oficial de Costa Rica. Imprenta Nacional de Costa Rica.

GÓMEZ, J. & RODRÍGUEZ, R. (2003). El fascinante mundo del manglar.  
Secretaría de Marina Armada de México, IV Sector Naval Militar de  
Chetumal, 2003. 40 p. il.

HERNÁNDEZ, A. (2010 a). Formaciones superficiales y procesos  
morfodinámicos en la cuenca del Río Nosara Rev. Reflexiones 89 (2) 39-49,  
ISSN: 1021-1209 / 2010.

HERNÁNDEZ, A. (2010 b). Desarrollo Geomorfología, uso de la tierra y dinámica  
erosión/sedimentación como aspectos claves para iniciar la gestión  
ambiental en la cuenca hidrográfica del río Nosara, Guanacaste, Costa  
Rica. Tesis sometida a la consideración del Programa de Estudios del  
Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo, para optar por el Grado  
de Doctor Académico UNED-ITCR-UNA.

IGN (Instituto Geográfico Nacional). (1982). Hoja Garza. Escala 1:50.000. IGN.  
San José, Costa Rica.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2009). Características  
edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México. 31 págs.  
Tecnología Educativa Capacitación. Recuperado de

[http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/internet/1geografiademexico/manual\\_carac\\_eda\\_fis\\_vs\\_enero\\_29\\_2008.pdf](http://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/internet/1geografiademexico/manual_carac_eda_fis_vs_enero_29_2008.pdf).

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). (2013.) Ministerio de Agricultura y Ganadería: Manual para la interpretación de imágenes de sensores remotos de las principales coberturas y usos de la tierra de Costa Rica / Albán Rosales Ibarra. -San José, C.R.: MAG/INTA/FITTACORI/SUNII.

LEY N° 59. (1944). Ley de Creación y Organización del Instituto Geográfico Nacional.

LEY N°6043. (1977). Ley de Zona Marítima Terrestre. Publicada en el Diario Oficial La Gaceta N°52, del 16 de marzo de 1977. Costa Rica.

LEY N° 8905. (2010). Reforma del artículo 2 de la ley N° 5695, Creación del Registro Nacional, y sus reformas; y modificación de la ley N° 59, Creación y Organización del Instituto Geográfico Nacional, de 4 de julio de 1944, y sus reformas.

MAG (MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA).(2017). Principales Suelos de Costa Rica. ASOCIACIÓN COSTARRICENSE DE LA CIENCIA DEL SUELO. Recuperado de [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/suelos-cr.html](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/suelos-cr.html)

MARTINI, C. (2014). Coastal uplift and mortality of intertidal organisms from a magnitude 7.6 earthquake, Nicoya Peninsula, Costa Rica. Symposium proceedings layout & design office of communication & marketing scripps college keck geology consortium issn# 1528-7491 Whitman College.

MINAET (Ministerio de Ambiente Energía y Telecomunicaciones). (2013). Mapa de tipos de bosque de Costa. San José, Costa Rica: Inventario Nacional

## Forestal

- MONTERO, W. & DENYER, P. (2011). Fallamiento neotectónico de la península de Nicoya y su relación con el escape tectónico del antearco centroamericano, *Revista Geológica de América Central* (45), 9-52.
- ORJUELA, A.; VILLAMIL, C. & SANJUAN, A. (2011). Cobertura y estructura de los bosques de mangle en la Baja Guajira, Caribe Colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 40(2), 381-399.
- ORSON, W. & VAUGHN, E. (1985). Principio y aplicaciones del Riego. Universidad Estatal del Estado de Utah, Logan Utah. Editorial Wiley and Sons, Inc, New York, US.
- ORTIZ, E. & MONTOYA, C. (2014). Atlas Digital de Costa Rica 2014 [CD-ROM]. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal
- OYOLA, N. (2009). Identificación de humedales del norte grande de Chile utilizando técnicas geomáticas en imágenes satelitales Landsat. Universidad de Chile. Proyecto de grado presentado como parte de los requisitos para optar al grado de Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza Santiago, Chile.
- PAJARO; D. (2015). El Levantamiento de Suelos y su relación con la clasificación y cartografía de las clases de tierras campesinas meta – carto – semiotics *Journal for Theoretical Cartography*, 8 (2015). ISSN 1868-1387.
- PIZARRO, F; BRAVO, L; ASCH, J. & ASCH, J. (2004). Manual de procedimientos para el manejo de Manglares en Costa Rica / Francisco Pizarro Bustos y otros. –Heredia: EF UNA.

- ROSSITER, D. (2000). Texto base metodologías para el levantamiento del recurso suelo. 2da Versión revisada marzo 2000 – Traducción y adaptación Agosto del 2004. Soil Science División, ITC International Institute for Geo-Information Science & Earth Observation.
- SAMPER, J.& SILVA, A. (2015). Complejidad estructural de los manglares de Playa Blanca, Escondido y Rincón de Osa, Golfo Dulce, Costa Rica Revista de Biología Tropical, vol. 63, núm. 1, abril, 2015, pp. 199-208 Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica.
- SENARA (Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento). (2016). Resumen litológico de los pozos: GA-56, GA-93, GA-246, GA-250, GA-19, GA-116, GA-273, GA-2, GA-1, GA-3 de la base de datos de pozos.
- SERRATO; P. (2009). Clasificación fisiográfica del terreno a partir de la inclusión de nuevos elementos conceptuales. Revista Perspectiva Geográfica, 14, 181-218.
- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). (2014). Diagnóstico para el Plan General de Manejo del Refugio Nacional de Vida Silvestre Ostional. Eds H. Acevedo y E. Vargas. Guanacaste, Costa Rica.
- SNIT (Sistema Nacional de Información Territorial). (2017). Recuperado de <http://www.snitcr.go.cr/>.
- SITNIK; M. & FELLER, I (1996). MANGROVE ECOLOGY: A Manual for a Field Course A Field Manual Focused on the Biocomplexity on Mangrove Ecosystems Smithsonian Institution Department of Systematic Biology, Smithsonian Institution.

- SPOTILA, J; MARSHALL, J; DEPEW, K; PRINCE, P; & KENNEDY, L. (2016). Potential for geologic records of coseismic uplift and megathrust rupture along the Nicoya Peninsula, Costa Rica. *Journal of Coastal Research*, 32 (2), 387–396. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.
- THOM, B. (1984). Coastal Landforms and Geomorphic Process. en Snedaker, e. c., and j. g. Snedaker [eds.]. *The mangrove ecosystem: Research methods*. Monogr. Oceanogr. Methodol. UNESCO, Paris and New York., 8, 3-17.
- WOODROFFE, C. (1983). Development of mangroves from a geological perspective. In: Teas, H.J. (ed.), *Tasks for Vegetation Science*, 8, 1-17.
- WOODROFFE, K; ROGER, S; MCKEE, K; LOVELOCK, C; MENDELSSOHN, I. & SAINTILAN; N. (2016). Mangrove Sedimentation and Response to Relative Sea-Level Rise. *Annual Review of Marine Science*, 8, 243-266. DOI: 10.1146/annurev-marine-122414-034025.
- VALVERDE, R; GONZALEZ, C; PIEDRA, L. & GARCIA, J. (2016). Vulnerabilidad y adaptabilidad al ascenso del nivel del mar en humedales y poblaciones costeras: el manglar del Humedal Nacional Térraba-Sierpe de Osa, Costa Rica. *Revista En Torno a la Prevención*, No. 16, jun. 2016, pp. 7-16 ISSN 1659-3057 • E-ISSN 2215-3845.
- YÁÑEZ, A; TWILLEY, R; LARA, A. (1998). Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global. *Madera y Bosques* [en línea] 1998, 4 (otoño) : [Fecha de consulta: 9 de noviembre de 2017] Disponible en:<<http://www.uacm.kirj.redalyc.org/articulo.oa?id=61740202>> ISSN N 1405-0471.






- YÁÑEZ, A; DAY, J; TWILLEY, R. & DAY, R. (2014). Manglares: ecosistema centinela frente al cambio climático, Golfo de México. *Madera y bosques*, 20(spe), 39-75. Recuperado en 09 de noviembre de 2017, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-04712014000500003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712014000500003&lng=es&tlng=es).
- YUVARAJ, J; DHARANIRAJAN, K. & JAYAKUMAR, K. (2014). Geomorphic settings of mangrove ecosystem in South Andaman Island: A geospatial approach Article *in* *Journal of Earth System Science* 123 (8), 1819-1830. DOI: 10.1007/s12040-014-0503-3.
- ZALDÍVAR, A; HERRERA, J; TEUTLI, H; HERNÁNDEZ, C. & CAAMALSOSA, R. (2010). Manglares.138-139. En: Duran R. y M. Méndez (eds.). *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA.
- ZINK, A. (2012). *Geopedología: Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales* Enschede, ITC Special Lecture Notes Series ISBN 90-6164-339-2.




**ANEXO 1.** Cuadro resumen de los resultados de análisis de laboratorio realizados por el INTA, para muestras de suelos/sedimentos y de aguas (id) recolectadas en el campo y observadas en el mapa de ubicación por cada muestra (figura 12).

Id ( Mapa Fig.12)	Muestra de Suelos	Muestra de Agua	Conductividad (mS_cm)	Código laboratorio para muestra de agua	Código laboratorio para muestra de suelo/sedimento	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Nombre Textural
1	x				Perfil 3-M2	28,8	42,6	28,6	Arcilloso
2	x	x	52,9	Perfil 3-MA1	Perfil 3-M1	100,0	0,0	0,0	Arenoso
3	x	x	25,2	Perfil 2b-MA1	Perfil 2b-M1	77,1	6,2	16,7	Areno Francoso
4	x				Perfil 1-M3	31,7	7,3	61,0	Franco Limoso
5	x				Perfil 1-M2	24,6	11,2	64,2	Franco Limoso
6	x				Perfil 1-M1b	100,0	0,0	0,0	Arenoso
7	x	x	35,5	Perfil 1-M1A	Perfil 1-M1a	100,0	0,0	0,0	Arenoso
8	x	x	0,47	Perfil 2B-MA3	Perfil 2b-M3	52,0	8,7	39,3	Franco Arenoso
9	x				Perfil 2a-M1	100,0	0,0	0,0	Arenoso
10		x	0,33	Perfil 1-MA3					
11	x				Perfil 2c-M3	22,1	17,4	60,5	Franco Limoso
12	x				Perfil 3-M3	29,8	46,5	23,7	Arcilloso

**ANEXO 2.** Primer resultado de laboratorio (originales) por parte del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), para la determinación de granulometrías en suelos/sedimentos.

 <p>Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria</p>		<b>RESULTADO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>			
<b>Código: IAGS-01, Versión 01-17</b> Pág. 1 de 1		<b>COMPLEJO LABORATORIAL DEL INTA</b> San Rafael de La Unión, Cartago Tel. 2278-0514 Correo Electrónico: labsuelos@inta.go.cr			
<b>Fecha:</b>	25 de mayo de 2017	<b>Cliente:</b>	IVAN SANABRIA COTO	<b>Código análisis:</b>	DST-LSF-06
<b>Finca:</b>		<b>Cultivo:</b>		<b>Fecha Ingreso:</b>	
<b>Provincia:</b>	GUANACASTE	<b>Cantón:</b>	NICOYA	<b>Distrito:</b>	NOSARA
<b>Coordenadas:</b>		<b>Norte:</b>			
Nº Lab.	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	% de la Fracción analizada			NOMBRE TEXTURAL
		ARENA	ARCILLA	LIMO	
S- 1354	PERFIL 1- M1a	100,0	0,0	0,0	arenoso
S- 1355	PERFIL 1 - M1b	100,0	0,0	0,0	arenoso
S- 1356	PERFIL 1- M2	24,6	11,2	64,2	Franco Limoso
S- 1357	PERFIL 1- M3	31,7	7,3	61,0	Franco Limoso
S- 1358	PERFIL 2a- M1	100,0	0,0	0,0	arenoso
S- 1359	PERFIL 2b- M1	77,1	6,2	16,7	Areno francoso
S- 1360	PERFIL 2b- M3	52,0	8,7	39,3	Franco arenoso
S- 1361	PERFIL 2c- M3	22,1	17,4	60,5	Franco Limoso
S- 1362	PERFIL 3- M1	100,0	0,0	0,0	arenoso
S- 1363	PERFIL 3- M2	28,8	42,6	28,6	Arcilloso
S- 1364	PERFIL 3- M3	29,8	46,5	23,7	Arcilloso
<b>Metodología Utilizada: Bouyucos Modificado (Forsythe, 1985)</b>					
					
<b>Ing. Marco Vinicio Corrales Soto</b> <b>COORDINADOR DE LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b>					

**ANEXO 3.** Segundo resultado de análisis de laboratorio realizados por el INTA, sobre la conductividad eléctrica de muestras de suelos/sedimentos y de aguas (id) recolectadas en el campo y observadas en el mapa de ubicación por cada muestra (Figura12).

 <p>Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria</p>		<b>RESULTADO DE ANÁLISIS CONDUCTIVIDAD ELECTRICA</b>			
Código: IACS-01, Versión 01-17 Pág. 1 de 1		<b>COMPLEJO LABORATORIAL DEL INTA</b> San Rafael de La Unión, Cartago Tel. 2278-0514 Correo Electrónico: labsuelos@inta.go.cr			
<b>Fecha:</b>	28 de mayo de 2017	<b>Cliente:</b>	IVAN SANABRIA	<b>Código análisis:</b> DTS-LSF-007- 028	
<b>Finca:</b>		<b>Cultivo:</b>		<b>Fecha de ingreso:</b>	
<b>Provincia:</b>	GUANACASTE	<b>Cantón:</b>	NICOYA	<b>Distrito:</b>	
<b>Coordenadas:</b>		<b>Norte:</b>		<b>Oeste:</b>	
<b>Nº Lab.</b>	<b>Identificación de campo</b>	<b>CONDUCTIVIDAD ELECTRICA</b>			
		<b>mS/cm</b>			
1	PERFIL 1- MA1			35,5	
2	PERFIL 1- MA3			0,33	
3	PERFIL 2b- MA1			25,2	
4	PERFIL 2B- MA3			0,47	
5	PERFIL 3- MA1			52,9	
					
<b>Ing. Marco Vinicio Corrales Soto</b> COORDINADOR DE LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS					

**ANEXO 4.** Descripción Pictórico-Morfológica para identificación del bosque de Mangle (INTA; 2013).

Características	<b>IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS</b>	
Pictórico Morfológicas	Características comunes	
Forma	De forma irregular, asociado a zonas costeras y desembocaduras de ríos.	
Tamaño	Normalmente en extensiones medianas, menores a 500 ha.	
Patrón	Se caracteriza por estar asociado a un patrón meándrico semejante al que presentan las llanuras aluviales y su presencia se circunscribe a las zonas costeras.	
Posición geográfica	En Costa Rica los bosques de mangle se encuentran en zonas aisladas a todo lo largo de las costas, principalmente en la costa pacífica y asociados a las desembocaduras de los ríos que forman deltas.	
Características	<b>TIPO DE SENSOR</b>	
Pictórico Morfológicas	Imagen de Satélite Landsat	Fotografía Aérea
Textura	Se observa una textura media heterogénea.	Se observa de una textura media a gruesa dependiendo de la escala de la fotografía. Los trazos de los estuarios son muy evidentes.

Tono y color	Para composición RGB 453, el tono del bosque de mangle es de color anaranjado intenso, alternando con colores verde azulados que corresponden con los humedales.	Los colores van del verde intenso para el bosque de mangle, hasta tonos verde claro y grises que definen a los humedales.
--------------	--	---

