

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA BASADA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN  
GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE  
CAMBIO DE USO EN HUMEDAL DENTRO DE LA ZONA MARÍTIMO TERRESTRE  
DE LA PROVINCIA DE GUANACASTE, COSTA RICA, EN EL AÑO 2021.

Trabajo final de investigación aplicada sometido a la Comisión del Programa de Estudios de  
Posgrado en Geografía para optar por el grado de Maestría Profesional en Sistemas de  
Información Geográfica y Teledetección

CARLOS EDUARDO GOMEZ SALAZAR

DANIEL VILLAVICENCIO SERRANO

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2023

## **Dedicatoria**

A Dios todo poderoso,

A mis amados padres Jorge e Isabel, gracias infinitas por todo,

A mi compañera de aventuras y a mi hijo,

A la vida por la oportunidad de una nueva amistad, gracias, Daniel.

**Carlos**

A mis padres, mi hermana y mi esposa, por su amor incondicional, y por siempre apoyarme  
y alentarme a culminar este proceso.

**Daniel**

## **Agradecimientos**

A Dios y a Virgen de los Angeles, por darme la posibilidad de culminar esta etapa.

A mi amada esposa Cinthia y a mi hijo Thiago gracias por todo su amor, comprensión, paciencia y apoyo incondicional. Thiago papá si lo logro.

A María de los Ángeles Jiménez, por tenerme mucha paciencia en este proceso.

A nuestro tutor, MSc. Ivan Josué Sanabria Coto, gracias por impulsar esa espinita académica y continuidad a ser mejor.

A nuestras lectoras MSc. María del Milagro Carvajal Oses y MSc. Maria Marta Mora Rivas, por su apoyo disposición y anuencia.

A mis compañeros del Instituto Geográfico Nacional, Lic. Maikol Lopez Castro y Lic. Oscar Villalobos Villaplana por brindarme su apoyo en este proyecto de investigación.

A los docentes de la Maestría de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección por todo su apoyo para lograr culminar este proyecto en especial a MSc. Francisco Rodríguez Soto y MSc. Melvin Lizano Araya.

A mi amiga María Marta Mora Rivas, por tu apoyo y paciencia sin fin. **Carlos**

A mi esposa, Dawa, por siempre apoyarme en todo momento y ser mi compañera de vida, a mi papá y mamá por ser siempre inspiración para ser mejor persona, a mi hermana por darme esa motivación extra para culminar este proceso.

**Daniel**

Trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Geografía de la Universidad de Costa Rica, como requisito para optar por el grado de Maestría Profesional en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección.

---

Dr. Adolfo Quesada Román.  
Representante de la Decana del Sistema de Estudios de Posgrado.

---

MSc. Iván Sanabria Coto.  
Profesor Guía.

---

MSc. María del Milagro Carvajal Oses.  
Lectora.

---

MSc. María Marta Mora Rivas.  
Lectora.

---

Dr. Christian Birkel Dostal.  
Representante del Director del Programa de Posgrado en Geografía.

---

Carlos Eduardo Gómez Salazar.  
Sustentante.

---

Daniel Villavicencio Serrano  
Sustentante.

## Tabla de Contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Hoja de aprobación.....	iv
Resumen.....	x
Lista de tablas.....	xi
Lista de figuras.....	xii
Lista de abreviaturas.....	xv
Capítulo 1. Introducción.....	1
i.    Introducción al tema.....	1
ii.   Justificación del tema.....	3
iii.  Objetivos.....	5
a.  Objetivo general.....	5
b.  Objetivos específicos.....	5
iv.  Definición de variables.....	6

iii.	Delimitaciones.....	7
iv.	Alcances del proyecto. ....	8
v.	Limitaciones .....	9
Capítulo II. Marco Teórico .....		14
1.	Patrimonio Natural del Estado.....	14
2.	Zona Marítima Terrestre .....	16
3.	Importancia de los humedales .....	20
4.	Zonas de humedal .....	22
5.	Definición de humedales .....	22
6.	Conceptualización de humedales .....	23
7.	Características físicas de los humedales.....	24
8.	Importancia en la preservación de los humedales .....	25
9.	Tipos de humedales.....	26
10.	Protección Internacional de los humedales RAMSAR.....	27
11.	Delimitación de la Zona Marítima Terrestre y Áreas de Humedales en la zona de estudio .....	30
12.	Legislación costarricense atinente a los humedales .....	31
13.	Fotografías aéreas de vuelos fotogramétricos de proyectos del Instituto Geográfico Nacional.....	32

14.	Fotointerpretación para la detección de cambios de uso de suelo y cobertura vegetal. ....	41
15.	Uso de software de plataforma abierta para desarrollar el compilado multitemporal. ....	42
16.	Zonas de Humedal Vestigiales. ....	44
17.	Zonas de Humedal Existentes. ....	44
18.	Fotointerpretación. ....	46
19.	Teledetección. ....	47
20.	Imágenes satelitales. ....	47
21.	Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) ....	48
22.	Estudio multitemporal. ....	49
23.	Modificación de uso de suelo y cobertura vegetal. ....	50
24.	Materia orgánica en el suelo. ....	50
Capítulo III. Marco metodológico. ....		52
i.	Tipo de investigación. ....	52
ii.	Participantes. ....	53
iii.	Instrumentos de recolección. ....	54
iv.	Procedimientos para recolectar la información. ....	54
1.	Muestra de suelo. ....	54
2.	Adquisición de imágenes históricas del Instituto Geográfico Nacional. ....	58

3.	Adquisición de imágenes satelitales.....	60
4.	Procesamiento de la información.....	62
a.	Muestra de suelo .....	62
b.	Procesamiento y Fotointerpretación de fotografías aéreas históricas del IGN ...	64
c.	Procesamiento de imágenes satelitales .....	67
d.	Post - procesamiento de imágenes satelitales .....	69
e.	Análisis multitemporal .....	72
Capítulo IV. Resultados .....		74
i.	Conclusiones.....	91
ii.	Recomendaciones .....	92
BIBLIOGRAFÍA .....		93
ANEXOS.....		99
Anexo N°1. Cotización de imágenes satelitales de alta resolución solicitada a la empresa GeoInn S.A de Costa Rica. ....		99
Anexo N°2. Cotización de vuelo con dron tipo Ala Fija V-TOL solicitada a la empresa GeoTecnologías S.A de Costa Rica.....		104
Anexo N°3. Oficio PPGeo-118-2022 del Programa de Postgrado en Geografía remitido el 15 de septiembre del 2022 para gestionar ante el IGN de Costa Rica la solicitud de fotografías aéreas históricas.....		105

Anexo N°4. Oficio DIG-TOT-0632-2022 del Departamento de Topografía y Observación del Territorio del IGN de Costa Rica, remitido el 15 de septiembre del 2022 para autorizar y brindar las fotografías aéreas históricas solicitadas para el proyecto de investigación.

107

Anexo N°5. Extracto de los algoritmos utilizados para el análisis de la serie temporal. 109

## Resumen

Esta investigación se basó en la recopilación histórica y el análisis de ortofotos obtenidas por vuelos aerofotogramétricos y el análisis multitemporal de imágenes satelitales del sensor LANSAT para el período de 1989 al 2021, ubicadas en el sector de Samara Provincia de Guanacaste, zona propuesta para el estudio y desarrollo de este proyecto. Para la compilación de las imágenes se recurrió a la Base de Datos e Imágenes Históricas del Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica, de donde se extrajeron las siguientes: de 1944-1945 del Proyecto “CAW 1079” y “CAW M1080”, años 1971-1974 Proyecto “Nicoya y Nosara”, de los años 1984-1987-1989 proyecto “Playas Guanacaste” año 1996 Proyecto “DRIP” año 1997 Proyecto “Terra”.

Con estos insumos se analizaron y se determinaron las potenciales áreas de cambio de uso y el aumento o la disminución de áreas clasificadas como: zonas de humedal y zonas de protección (definidas por las autoridades estatales) en el período establecido. Las áreas de cambio fueron identificadas por medio de la fotointerpretación y la comparación de imágenes satelitales con el desarrollo y programación de un código en el software R, donde no solo se determinó el cambio, sino también el año específico en el cual se produjeron.

El concepto o definición de la Zona Marítimo Terrestre (ZMT) para Costa Rica, dentro de este proyecto, integró el impacto que han tenido las zonas de humedal declaradas como zonas de protección, a través de los años en el área de estudio. Así mismo se tomó en cuenta el marco legal costarricense que definen las áreas correspondientes a la ZMT y las zonas de humedal preservadas. Y se desarrolló un análisis de esta influencia legal del poderío del Estado en cuanto a la preservación de los recursos naturales, los cuales prevalecen a través del tiempo señalándose las causas que han provocado variaciones en las mismas.

## Lista de tablas

Tabla N° 1 Resolución de satélites en órbita.....	10
Tabla N°2. Humedales de importancia internacional (sitios Ramsar) .....	27
Tabla N°3. Generalidades de los datos incluidos en la fotografía aérea .....	36
Tabla N°4. Listado de las fotografías aéreas suministradas por el IGN de Costa Rica.....	40
Tabla N°5. Tabla de coordenadas ubicación de sitios de tomas de muestra de suelo..	57
Tabla N°6. Fotografías aéreas brindadas por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica.....	59
Tabla N°7. Reclasificación de los umbrales del NDVI.....	71

### Lista de figuras

Figura N°1. Área de estudio de la investigación, la escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento.	8
Figura N°2. Definición de la zona pública y zona restringida del área de estudio a partir de la línea que define la zona marítimo terrestre.	20
Figura N°3. Delimitación de la Zona Marítimo Terrestre y Zonas de Humedal en el área de estudio.	31
Figura N°4. Datos incluidos en la fotografía aérea.	39
Figura N°5. Visualización del SNIT, nodo SINAC última fecha de actualización capa Registro Nacional de Humedales.	45
Figura N°6. Ubicación de toma de muestras de suelo dentro del área de estudio.	55
Figura N°7. Proceso de toma de muestras de suelo para análisis de materia orgánica sitio de “Muestra #1”.	56
Figura N°8. Proceso de toma de almacenamiento de muestras de suelo para análisis de materia orgánica sitio de “Muestra #3”.	57
Figura N°9. Área de estudio de la investigación e identificación de ZH mediante el RNH.	59
Figura N°10. Recorte del entorno de desarrollo R Studio con el Script para la descarga de las imágenes satelitales.	61
Figura N°11. Ejemplos de imágenes satelitales del sensor Landsat para diferentes períodos de análisis.	62
Figura N°12. Mapa de georreferenciación de fotografía aérea del proyecto CAW año 1944 dentro del área de estudio.	65
Figura N°13. Delimitación del área de análisis para el cálculo del NDVI.	67
Figura N°14. Líneas de comando para el recorte de imagen satelital en el entorno de desarrollo R Studio.	68

Figura N°15. Recorte de imagen satelital para el cálculo del NDVI.	69
Figura #16. Cálculo del NDVI para una imagen del sensor Landsat 8 para el año 2021.	70
Figura N°17. Transiciones analizadas en el análisis multitemporal.	73
Figura N°18. Mapa de fotografía aérea del proyecto CAW año 1944 dentro del área de estudio e identificación de humedales según RNH.	75
Figura N°19. Mapa del primer cambio detectado con la fotografía aérea del proyecto Nicoya año 1971 dentro del área de estudio e identificación de humedales según RNH.	76
Figura N°20. Mapa con la fotografía aérea del proyecto Playas Guanacaste año 1971 dentro del área de estudio e identificación de humedales según el Registro Nacional de Humedales.	77
Figura N°21. Mapa con la fotografía aérea del proyecto Playas Guanacaste año 1989 dentro del área de estudio e identificación de humedales según RNH.	78
Figura N°22. Mapa con la fotografía aérea del proyecto Terra año 1997 dentro del área de estudio e identificación de humedales según RNH.	79
Figura N°23. Valores de materia orgánica en % para las muestras de suelo del área de estudio resultados de análisis de materia orgánica contratados al INTA.	80
Figura N°24. Transiciones en el área de estudio del análisis multitemporal. La escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento.	84
Figura N°25. Transiciones en el área de estudio del análisis multitemporal para el año 1989. La escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento.	86
Figura N°26. Transiciones en el área de estudio del análisis multitemporal para el año 1990. La escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento.	87
Figura N°27. Transiciones en el área de estudio del análisis multitemporal para el año 1995. La escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento.	88

Figura #28. Transiciones en el área de estudio del análisis multitemporal para el año 2021. La escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento.	89
Figura N°29. Proceso para la aplicación de la metodología de identificación de zonas de humedal.	90

## Lista de abreviaturas

CGR	Contraloría General de la República.
DTOT	Departamento de Topografía y Observación del Territorio.
GPS	Global Positioning System.
ICT	Instituto Costarricense de Turismo
IGN	Instituto Geográfico Nacional.
INTA	Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria.
JICA	Agencia de Cooperación Internacional del Japón.
LANDSAT	LAND=Tierra SAT=Satélite.
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía.
M.O	Materia Orgánica.
P.C.T	Puntos de Control sobre el Terreno.
R.A.E	Real Academia Española.
RNH	Registro Nacional de Humedales.
SIG	Sistema de Información Geográfica.
SINAC	Sistema Nacional de Áreas de Conservación.
SNIT	Servicio Nacional de Información Territorial.
USGS	United States Geological Survey.
ZH	Zona de Humedal.
ZMT	Zona Marítimo Terrestre.
ZP	Zona Pública.
ZR	Zona Restringida.
W.M.S	Web Map Service (Servicio de Mapas en Línea)



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA

SEP Sistema de  
Estudios de Posgrado

**Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.**

Nosotros, Carlos Eduardo Gómez Salazar, con cédula de identidad 303880215, y Daniel Villavicencio Serrano con cédula de identidad 112970821 en nuestra condición de autores del TFG titulado: **PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA BASADA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE CAMBIO DE USO EN HUMEDAL DENTRO DE LA ZONA MARÍTIMO TERRESTRE DE LA PROVINCIA DE GUANACASTE, COSTA RICA, EN EL AÑO 2021.**

Autorizamos a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFGa través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo queestablezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI  NO\*

**\*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: año (s).**

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifetamos que nuestro Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de nuestro título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de nuestro Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

**FIRMAS DE ESTUDIANTES.**

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

## Capítulo 1. Introducción

### i. Introducción al tema

El planeta Tierra, está formado por cuatro subsistemas: la biósfera, la atmósfera, la hidrosfera y la geosfera, que se relacionan entre sí y dan origen a lo que se conoce como, la vida terrestre.

Particularmente, la hidrosfera está compuesta por la totalidad del agua sobre o cerca de la superficie del planeta, y el 97% del agua presente en esta condición es salada. En el planeta Tierra, la especie humana en sana convivencia con la naturaleza se garantiza, con la conservación de todo tipo de ecosistemas, sin embargo, esta alianza entre ambas partes es muy frágil.

Meza (2004) afirma lo siguiente,

En la década de los 40, el 80% del territorio costarricense estaba cubierto de bosque (aproximadamente 40.880 km<sup>2</sup>). En la actualidad sólo un 33,5% está protegido bajo alguna de las categorías de manejo establecidas en el país, las cuales corresponden a: parques nacionales, zonas protectoras, reservas forestales, refugios de vida silvestre y reservas biológicas, entre otras. En los últimos años se ha deforestado a un ritmo aproximado de 50.000 hectáreas anuales, con la consecuente destrucción de recursos tan importantes como el agua, el aire y el suelo fértil. El hecho de que se talan los bosques comerciales sin prever su reforestación permite concluir que, en unos pocos años, Costa Rica tendrá que importar madera y de manera simultánea perder un porcentaje significativo de los beneficios que conlleva mantener estas áreas protegidas. (p.104).

Dentro de la basta cantidad de ecosistemas presentes en Costa Rica, esta investigación hará un análisis de la presencia de áreas de humedal en el

sector de Samara Provincia de Guanacaste, con la finalidad encontrar las razones que han transformado el humedal en el sector denominado “Cangrejal”, las condiciones propias de este ecosistema, y cómo ha sido clasificado por las autoridades que resguardan este tipo de áreas de conservación. Además, este análisis se complementará con el vínculo directo establecido con el concepto de Zona Marítimo Terrestre (ZMT) y la custodia adicional que la legislación vigente proporciona a los humedales del país que albergan estas condiciones.

De igual manera según Meza (2004),

Costa Rica cuenta con una longitud del litoral la cual comprende 1.228 km, de los cuales 1.016 corresponden a la costa del Pacífico y 212 a la costa del Caribe. De conformidad con los últimos tratados internacionales, la extensión del mar patrimonial se ha ampliado diez veces. (p.105).

Con el acceso y facilidades que brindan actualmente las tecnologías de análisis, asociadas con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los softwares libres de programación abierta se puede acceder a bases de datos de imágenes satelitales de mediana resolución, que mediante técnicas de teledetección se puede fortalecer la identificación de áreas de humedal, en el caso específico de manglar, que hayan sido degradadas o por el contrario que se hayan recuperado, esto mediante una metodología automatizada, que permita optimizar el tiempo y los recursos, y que con la integración de otros insumos, facilite a una correcta determinación de esas zonas de cambio, el análisis para el proyecto de investigación se basa en:

- la información histórica que preserva el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica (IGN CR),

- las fotografías aéreas, tomadas de proyectos antiguos de vuelos aerofotogramétricos y
- la obtención de imágenes con sensores remotos ligados con imágenes satelitales para este proyecto específico imágenes LANDSAT a los que se puede acceder, mediante software de programación abierto que permite la descarga de imágenes satelitales de forma gratuita para los fines deseados.

Lo anterior, aunado al vínculo legal que permite la definición de la línea de Zona Marítimo Terrestre dentro de las áreas de conservación con presencia de zonas protegidas ya definidas como humedales, se busca, establecer la unión de estos dos conceptos para el desarrollo de este proyecto de investigación.

## **ii. Justificación del tema.**

En la actualidad Costa Rica no se cuenta con procedimientos para el análisis integral de los cambios en la cobertura de los humedales dentro de la zona de estudio, con relación a lo que las autoridades respectivas han definido como áreas de conservación y protección para esta zona, aplicando el uso del software para Sistemas de Información Geográfica (SIG) de plataforma abierta y la integración del uso de ortofotos antiguas y de imágenes satelitales que muestren los cambios existentes para su preservación y perdurabilidad hacia las futuras generaciones.

Por otra parte, al enfocar este proyecto con dos ambientes distintos como lo son: el análisis histórico de imágenes y el análisis de imágenes satelitales desarrollando un código programado, con un software de plataforma abierta, se podrá contar en Costa Rica con una herramienta de análisis funcional para quienes la requieran consultar o las quieran aplicar en otras zonas del país.

La investigación se enfocó en los humedales ya que estos son indispensables debido a los innumerables beneficios o "servicios ecosistémicos" que brindan a la humanidad, como lo son: el suministro de agua dulce, alimentos, los materiales de construcción, la biodiversidad, el control de crecidas, recarga de aguas subterráneas y mitigación del cambio climático. Además, para la diversidad biológica, son fuentes de agua y productividad primaria de las que dependen innumerables especies vegetales y animales para su subsistencia. (Ramsar, (2004.) párr. 2)

Por lo anterior, el país ha identificado una problemática medioambiental, por no contar con tecnología que facilite la identificación de estas áreas de interés o formas prácticas y sencillas que colaboren en sus tareas a los encargados por ley, y es por ello por lo que se han perdido áreas ante un acelerado cambio en los usos de suelo y la falta de conciencia de la importancia de los humedales para su preservación.

Adicionalmente el tema de esta investigación se considera novedoso ya que en el país no se cuenta con un proceso de georreferenciación del histórico de fotografías aéreas de vuelos fotogramétricos en bases de datos del IGN con el cual se genere el comparativo temporal dentro de la zona de estudio, tomando como base las imágenes de 1944 y 1945 del Proyecto denominado "CAW" por ser la representación más estable y menos sometida a cambios realizados por el ser humano de manera inicial en esta área, pero que además, se puedan replicar en innumerables proyectos bajo las mismas condiciones y aplicando el mismo insumo propuesto.

Sumado a lo anterior, en el análisis multitemporal con el software R Studio, se procederá a seleccionar las mejores escenas satelitales de fuentes abiertas, las cuales serán descargadas mediante el desarrollo del código en "R", con una menor resolución espacial, pero que a su vez permitan de igual manera, obtener los resultados de análisis requeridos dentro de los parámetros que se buscan para la zona de estudio por medio del satélite en órbita denominado "LANDSAT"

Finalmente, con la presente investigación, se implementaron procedimientos para el análisis integral de los cambios en la cobertura de los humedales dentro de la zona de estudio, con especial énfasis en las áreas de conservación y protección, lo cual permite coadyubar con los requerimientos que la ley establece, para su preservación y perdurabilidad hacia las futuras generaciones.

### **iii. Objetivos.**

#### **a. Objetivo general.**

Proponer una metodología basada en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección para la identificación de áreas de cambio de uso en humedal dentro de la zona marítimo terrestre de la Provincia de Guanacaste, Costa Rica, en el año 2021.

#### **b. Objetivos específicos.**

1. Establecer un procedimiento para el uso de fotografías históricas en procesos de fotointerpretación para la detección de cambios en uso del suelo y cobertura vegetal
2. Realizar un análisis multitemporal de la dinámica de uso de suelo y cobertura vegetal para el periodo 1989-2021
3. Determinar el cambio de uso de suelo y cobertura en zonas de humedal

#### iv. Definición de variables

<b>Objetivo específico</b>	<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Índice</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Fuente</b>
i. Establecer un procedimiento para el uso de fotografías históricas en procesos de fotointerpretación para la detección de cambios en el uso del suelo y cobertura vegetal	Uso de fotografías históricas.  Fotointerpretación para la detección de cambios en uso del suelo Fotointerpretación de cobertura vegetal.	Ortofotos de vuelos fotográficos de proyectos del Instituto Geográfico Nacional.  Uso de software de plataforma abierta para desarrollar el compilado multitemporal	Georreferenciación de las imágenes suministradas.  Generación del compilado multitemporal de ortofotos en orden cronológico.	Acceso a fotografías históricas de la zona de estudio brindadas por el IGN.	Base de datos de imágenes históricas del IGN.
ii. Realizar un análisis multitemporal de la dinámica de uso de suelo y cobertura vegetal para el periodo 1989-2021	Identificación de zonas de humedal  Identificación de cobertura vegetal  Análisis multitemporal de la dinámica de uso de suelo Análisis multitemporal de la dinámica de cobertura vegetal	Zonas de humedal vestigiales  Zonas de humedal existentes  Sensores remotos Técnicas de teledetección	Ubicación geográfica de las zonas de humedal vestigiales  Ubicación geográfica de las zonas de humedal existentes	Software R, versión 4.2	Obtención de imágenes satelitales LANDSAT por medio del Software RStudio.
iii. Determinar el	Cambios de uso	Metodología para	Desarrollo de la	Aplicación de	Software

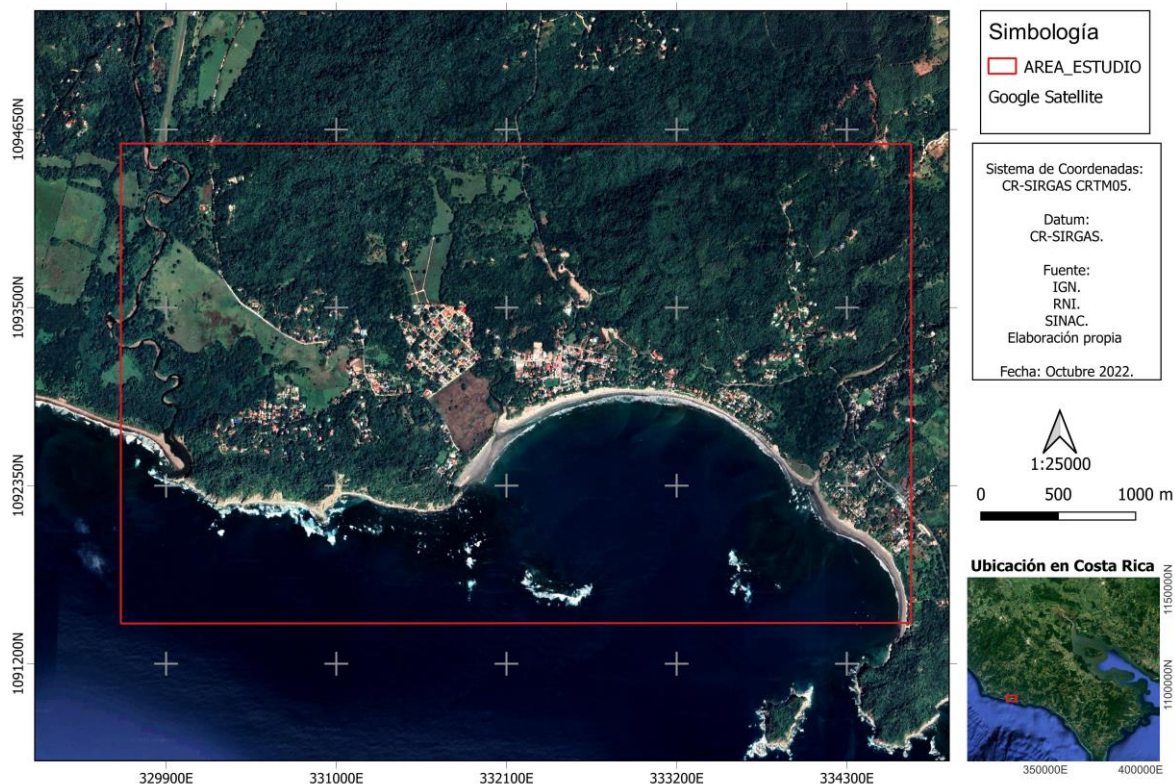
<b>Objetivo específico</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Índice</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Fuente</b>
cambio de uso de suelo y cobertura en zonas de humedal	de suelo  Cambios de cobertura vegetal	identificar cambios de uso de suelo  Metodología para identificar cambios de cobertura vegetal	metodología	la metodología	RStudio.

### iii. **Delimitaciones.**

La investigación, se desarrolló en Costa Rica en la Provincia de Guanacaste, en el Cantón 02 Nicoya, distrito 05 Sámara en el sector de Cangrejal, en el año 2021, el análisis multitemporal se hará para el periodo 1989-2021. Todo por medio del uso de fotografías aéreas históricas en procesos de fotointerpretación para la detección de cambios y el análisis multitemporal de la dinámica de uso de suelo y cobertura vegetal. En la figura N°1 se muestra la delimitación del área de estudio para ésta, investigación y sus áreas de influencia:

Figura 1.

*Área de estudio de la investigación, la escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento.*



Nota. Fuente: Google Earth Pro.

#### iv. Alcances del proyecto.

El presente estudio permitirá identificar los cambios en el uso del suelo y cobertura vegetal, asociadas con las posibles áreas de humedal para la zona en estudio utilizando técnicas de análisis de imágenes históricas por medio de sistemas de información geográfica, además de la aplicación del concepto de teledetección por medio de un código creado con el software R. Con lo anterior será posible apreciar las áreas geográficas vestigiales, actuales y potenciales o directamente asociadas con áreas de humedal y su

correspondiente clasificación, vinculadas directamente a las restricciones que emanan de la reglamentación aplicable a la ZMT.

v. **Limitaciones**

Para poder llegar a la obtención de resultados que se esperan, se determinaron las siguientes limitaciones:

**Limitación por los costos por escena de imágenes satelitales de alta resolución.**

Las imágenes satelitales para esta investigación comprenden un área mínima de 25 km<sup>2</sup> y sus costos varían.

Manteniendo la idea del proyecto se cotiza el costo de la imagen satelital más antigua del área de estudio determinándose que es la del año 2004.

Se buscaron dos opciones para conocer el costo, con diferentes sensores: 1. Sensor “QuickBird” con una resolución espacial a 0.60cm y composición de cuatro bandas con un valor de cuatrocientos cincuenta dólares (\$450) y 2. Sensor “WorldView-2” con resolución espacial de 0.50cm, composición de cuatro bandas por un monto de cuatrocientos cincuenta dólares (\$450) o bien ocho bandas por un monto de quinientos dólares (\$500). (ver anexo N°1)

Además, se cotizaron con la Empresa GeoInn de Costa Rica imágenes con una resolución espacial de la escena al año 2021 del sensor “Pléiades-1” con una composición de cuatro bandas y resolución de 0.50cm cuyo valor es de cuatrocientos cincuenta dólares (\$450), que al tipo de cambio de la fecha de emisión de la cotización en colones costarricenses sería de: seiscientos un mil, trescientos cincuenta colones (¢601.350.00)

Los costos antes mencionados, son una limitante económica para costear los insumos requeridos para esta investigación.

## **Limitación por la resolución espacial de las imágenes espaciales.**

La resolución espacial de las imágenes espaciales es una de las principales limitaciones, ya que según se muestra en la tabla N°1, el sensor LANDSAT posee una resolución de 30 metros, permitiendo solamente detectar áreas de cambio no menores a las 2 hectáreas, por lo que zonas degradadas o recuperadas en ZMT menores a ese valor no se van a poder identificar.

De acuerdo con lo anterior, las imágenes obtenidas por teledetección el tamaño de los píxeles es muy importante porque entre más pequeños sean, tienen una resolución espacial más alta, con vistas más nítidas, mientras que las imágenes con píxeles más pequeños tienen una resolución espacial baja. (González-Roglich y Mendoza (2019.) diap.29) tal como se aprecia en la tabla N°1.

Tabla 1

*Resolución de satélites en órbita.*

<b>Satélite</b>	<b>Resolución Espacial</b>	<b>Resolución Temporal</b>
Landsat 8	30m	16 días
MODIS (Terra + Aqua)	250m, 500m, 1000m	1-2 días
VIIRS	375m	12 horas
AVHRR	1100m	<1 día
Sentinel-2	10m, 20m, 60m	5 días
Ikonos	0.8m, 3.2m	<3 días
SPOT-7	1.5m, 6m	Tan baja como 1 día
Pleiades-1	0.50m	26 días
QuickBird	0.60m	de 2 a 12 días
WorldView-2	0.50m	1.1 días

Nota. Fuente: Modificado de (González-Roglich y Mendoza (2019.) diap.31)

Tomando en cuenta, los costos antes mencionados, estos representan una limitante económica para poder costear los insumos cotizados a empresas privadas.

### **Limitación por los costos por escena de imágenes obtenidas por vehículos aéreo no tripulados (VANTs) de alta resolución**

Se consideró como otra opción para obtener la imagen del área y definir el límite de temporalidad del estudio, el vuelo fotogramétrico con un dron de alta gama, por lo que se cotizó el costo con la empresa GeoTecnologías S.A de Costa Rica, los cuales ofrecen la generación de una ortofoto rectificada y georreferenciada del área de estudio trabajo por un precio de seis mil dólares (\$6000), monto que al tipo de cambio de la fecha de emisión de la cotización se estima en colones costarricenses de tres millones setecientos noventa y ocho mil colones (₡3.698.000), es una alternativa igualmente costosa a las anteriores. (ver anexo N°2)

### **Limitación por la temporalidad de las fotografías históricas.**

Para la presente investigación, las fotografías aéreas fueron suministradas por el Departamento de Topografía y Observación del Territorio del IGN de Costa Rica, en total fueron diez fotografías aéreas, con las cuales, se logra definir cuatro grandes bloques temporales, teniendo como punto de partida los años 40 como primer bloque; saltando temporalmente hasta el bloque de los años 70, bloque de los años 80 y una única imagen para los años 90. Por lo anterior, se pierde el periodo temporal de seguimiento del área de estudio a falta de las imágenes históricas de vuelos fotogramétricos entre los años 50 y 60's.

### **Limitación del análisis multitemporal por calidad de las imágenes satelitales.**

El desarrollo de un proceso basado en el análisis multitemporal de imágenes Landsat, requiere de ciertos cuidados cuando se trabaja con las imágenes Landsat 7, ya que las mismas presentan un problema de bandeo, el cuál es una pérdida de información, donde se generan líneas en las imágenes, por lo que esta pérdida de información debe ser analizada dependiendo de la zona de estudio o bien realizando la corrección del bandeo antes de continuar con el proceso.

Ahora bien, cuando se trabajan series multitemporales, se presentan nubes, sombras de nubes o aerosoles en las imágenes, interfiriendo directamente en los cálculos automatizados en los diferentes índices de vegetación, que se puedan utilizar, de ahí que hay que ser restrictivo con el porcentaje de nubes que la imagen pueda tener para asegurar el correcto análisis de la serie.

### **Limitación del código en R para el análisis de las imágenes satelitales.**

Dentro del análisis de la serie multitemporal, al compararse los resultados de los índices de vegetación en el manglar arbóreo, el código programado tiene como base fundamental la comparación de índices de vegetación y no para otros tipos de humedal, por lo que no se podrían obtener buenos resultados en la determinación de las áreas de cambio en humedal palustres o lacustres.

Por lo indicado anteriormente, se seleccionarán las mejores escenas satelitales de fuentes abiertas las cuales serán descargadas mediante el desarrollo del código en “R”, con una menor resolución espacial, pero que a su vez permitan de igual manera obtener los resultados de análisis requeridos dentro de los parámetros que se buscan para la zona de estudio.

### **Limitación logística asociada con el área de estudio**

Por la lejanía de la zona donde se realizará el proyecto de investigación, se limitó a una gira de campo, para la obtención de cuatro muestras de suelo, y de esta forma generar el correspondiente análisis de materia orgánica para muestra tomada en el sitio, para lo cual se contrató al Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), para el análisis de las muestras de suelo tomadas en sitio y sumar estos resultados dentro de los aspectos técnicos de valoración en esta investigación.

## **Capítulo II. Marco Teórico**

En el desarrollo de este proyecto de investigación deben ser considerados los conceptos de: que es el Patrimonio Natural del Estado y que es la Zona Marítimo Terrestre (ZMT) dentro del marco legal establecido para Costa Rica, y con ello su importancia e impacto directo dentro de la protección de las zonas de humedal en Costa Rica.

### **1. Patrimonio Natural del Estado.**

La Ley Forestal, N° 7575 de 13 de febrero de 1996, introduce en ordenamiento legal costarricense el concepto de “Patrimonio Natural del Estado”, administrado por el Ministerio del Ambiente y Energía, siendo constituido así según el artículo 13,

Los bosques y terrenos forestales de las reservas nacionales, de las áreas declaradas inalienables, de las fincas inscritas a su nombre y de las pertenecientes a municipalidades, instituciones autónomas y demás organismos de la Administración Pública, excepto inmuebles que garanticen operaciones crediticias con el Sistema Bancario Nacional e ingresen a formar parte de su patrimonio. (p.2)

Las áreas silvestres protegidas, son el: “espacio geográfico definido, declarado oficialmente y designado con una categoría de manejo en virtud de su importancia natural, cultural y/o socioeconómica, para cumplir con determinados objetivos de conservación y de gestión”, cualquiera que sea su categoría de manejo ya sea como: parques nacionales, reservas biológicas, reservas forestales, refugios nacionales de vida silvestre, zonas protectoras, monumentos naturales o humedales; legal y jurisprudencialmente se consideran áreas declaradas inalienables así establecidas concretamente en: la Ley Forestal

7575, las normas creadoras de las primeras áreas protegidas, y en el artículo 38 de la Ley Orgánica del Ambiente, No. 7554. (Reglamento a la Ley de Biodiversidad, 2008, p.1)

Así mismo este concepto es definido y ampliado en el criterio de la Procuraduría General de la República C-339-2004 del 17 de noviembre del 2004 la cual menciona la definición, constitución y administración del Patrimonio Natural del Estado indicando que la Ley Forestal, No. 7575 del 13 de febrero de 1996, introduce en ~~nuestro ordenamiento~~ la legislación costarricense el concepto de “Patrimonio Natural del Estado”, administrado por el Ministerio del Ambiente y Energía (párr. 1). A sí mismo el artículo 13 de la misma ley lo define como:

...los bosques y terrenos forestales de las reservas nacionales, de las áreas declaradas inalienables, de las fincas inscritas a su nombre y de las pertenecientes a municipalidades, instituciones autónomas y demás organismos de la Administración Pública, excepto inmuebles que garanticen operaciones crediticias con el Sistema Bancario Nacional e ingresen a formar parte de su patrimonio. (1996, párr.83)

Esta misma Ley, concede acción de representación sobre el Patrimonio Natural del Estado a la Procuraduría General de la República, y podrán actuar como peritos evaluadores en los casos donde se gestionen acciones civiles o penales por daño ecológico ocasionado al patrimonio natural del Estado.

Según el Dictamen C-339-2004. 17 de noviembre del 2004 de la Procuraduría General de la República, se

ha evolucionado a partir del concepto de “patrimonio forestal del Estado”, incorporado en la normativa forestal anterior, para referenciar la propiedad

forestal pública en contraposición a la propiedad forestal privada. La diferencia principal del patrimonio natural del Estado respecto del patrimonio forestal del Estado, ... es la posibilidad del aprovechamiento del recurso forestal en la legislación anterior, por parte de la Administración o bien por particulares con su autorización, excepto en los parques nacionales y reservas biológicas” (párr.84)

Aún más, en el mismo Criterio, se describen las

...áreas inalienables, forman parte del Patrimonio Natural del Estado, los bosques y terrenos forestales o de aptitud forestal ubicados en: las franjas fronterizas de 2 kilómetros de ancho,<sup>8</sup> los terrenos adyacentes a fuentes proveedoras de agua potable o que puedan llegar a serlo en el futuro,<sup>9</sup> la zona de 50 metros contigua al sector navegable declarado por el Poder Ejecutivo para ciertos ríos,<sup>10</sup> las dos orillas del río Banano, diez kilómetros arriba,<sup>11</sup> y en la zona marítimo terrestre y litorales, entre otros. (2014, párr. 85)

Conociendo y entendiendo todas y cada una de las partes que engloban el concepto de Patrimonio Natural del Estado y su verdadero espíritu de conservación para las futuras generaciones, y custodia a todo espacio natural que bajo este criterio el Estado considere deba ser resguardado, se asociará este concepto al de Zona Marítimo Terrestre y su vinculación directa a las Zonas de Humedal declaradas dentro del área de estudio.

## **2. Zona Marítima Terrestre**

En la Ley N° 6043 Ley sobre la Zona Marítima Terrestre, en el Capítulo I, Disposiciones Generales el artículo N°1 señala que:

La zona marítimo terrestre constituye parte del Patrimonio Nacional, pertenece al Estado y es inalienable e imprescriptible. Su protección, así como la de sus recursos naturales, es obligación del Estado, de sus instituciones y de todos los habitantes del país. Su uso y aprovechamiento están sujetos a las disposiciones de esta ley. (1977, p.1)

Además, esta misma Ley en el artículo N° 9 define la Zona Marítimo Terrestre en Costa Rica como:

...la franja de 200 metros de ancho a todo lo largo de los litorales Atlántico y Pacífico, cualquiera que sea su naturaleza, medidos horizontalmente a partir de la línea de la pleamar ordinaria y los terrenos y rocas que deje el mar en descubierto en la marea baja.

Para todos los efectos legales, esta Zona comprende las islas, islotes y peñascos marítimos, así como toda tierra o formación natural que sobresalga del nivel del océano dentro del mar territorial de la República. Se exceptúa la Isla del Coco que estará bajo el dominio y posesión directos del Estado y aquellas otras islas cuyo dominio o administración se determinen en la presente ley o en leyes especiales. (p.2)

Adicionalmente, se definen, en el artículo 10 de la misma Ley, dos zonas claramente establecidas o determinadas para la protección y conservación de los hábitats costeros, las cuales son:

La Zona Pública (Z.P), definida ésta por el artículo 2 inciso 1) del Reglamento a la Ley sobre la Zona Marítimo Terrestre (1977) como: “el derecho que tiene toda persona de usar y disfrutar la zona pública en toda su extensión, sin otra limitación que la que impongan las leyes y sus reglamentos”. (p.2) y detallada aún más por artículo 10 de la Ley sobre la Zona Marítimo Terrestre (1977) como “la faja de cincuenta metros de ancho a

contar de la pleamar ordinaria y las áreas que quedan al descubierto durante la marea baja”... “los islotes, peñascos y demás áreas pequeñas y formaciones naturales que sobresalgan del mar corresponden a la zona pública...” “es también, extensión, la ocupada por todos los manglares de los litorales continentales e insulares y esteros del territorio nacional” (p.2) y

La Zona Restringida (Z.R), es constituida por la Ley sobre la Zona Marítima Terrestre, (1977) como “la franja de los ciento cincuenta metros restantes, o por los demás terrenos en caso de islas”. (p.3). Aún más, el Reglamento de Uso Público del Parque Nacional Marino Las Baulas de Guanacaste, Decreto N°36918 (2012) afirma que “...es el área natural en buen estado o que se encuentra en proceso de regeneración” (p.3)

Para el Instituto Hidrográfico de la Marina, Gobierno de España (2018) la línea de pleamares es: “el lugar geométrico de los puntos de máximo avance de la mar sobre la superficie terrestre en condiciones meteorológicas medias y bajo cualquier combinación de condiciones astronómicas” (Instituto Hidrográfico de la Marina, Gobierno de España, “Línea pleamar”, (2018) p. 1) se utiliza, para establecer la zona pública y zona restringida.

Con respecto a la legislación vigente para Costa Rica, y en concreto el artículo 2 del Reglamento de Especificaciones para la Determinación de la zona pública de la Zona Marítima Terrestre (2011) se trabaja sobre una línea de pleamar georreferenciada o bien línea digital, con el

... establecimiento de poligonales altimétricas y poligonales planimétricas medidas con estaciones totales y en combinación con técnicas de medición apoyadas en la tecnología de sistemas satelitales de navegación global

(GNSS) para determinar la pleamar ordinaria y la línea que demarca la Zona Pública de la Zona Marítimo Terrestre. (p.2)

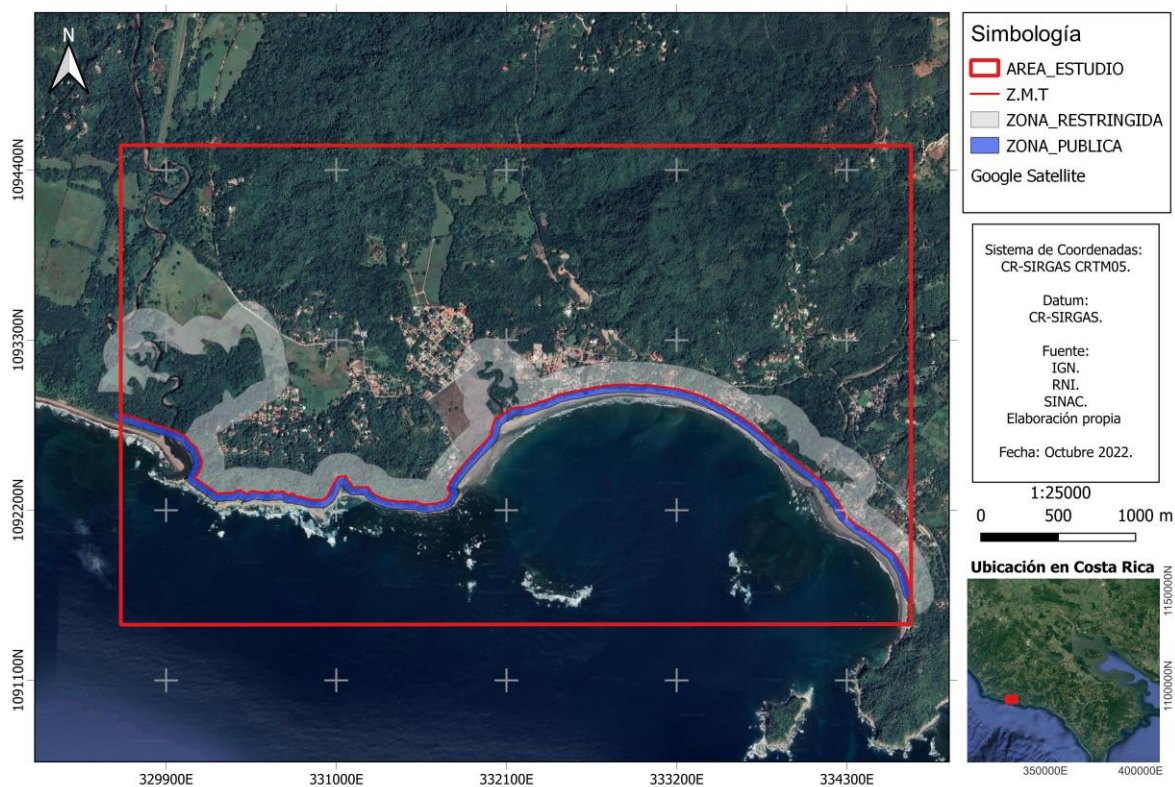
tal y como se describe en el geoportal del Servicio Nacional de Información Territorial (SNIT). La línea junto los nodos que la definen, puede determinar la ubicación de los mojones o hitos físicos definidos y construidos a lo largo de la costa y que permiten delimitar inicialmente los 50 metros de la zona pública.

Para la determinación y establecimiento de la zona marítimo terrestre, se realiza un levantamiento de la pleamar ordinaria, definida ésta “para el litoral Pacífico, por el contorno o curva de nivel que marca la altura de 115 centímetros sobre el nivel medio del mar” (Reglamento de la Zona Marítima Terrestre, 1977, p.2), el cual no estable a lo largo del tiempo, por lo que, definir un amojonamiento considerado como absoluto, carece de validez por la variación en la pleamar, atribuido al dinamismo de las fajas costeras.

Para el establecimiento de la línea de ZMT dentro del área de estudio se combinaron dos fuentes de consulta dentro del SNIT, la primera el nodo denominado: Línea Digital y el segundo nodo de consulta denominado: Mojones, por medio de los cuales se logra definir las áreas de influencia de la Z.P y Z.R dentro del área de estudio, como se muestra en la figura N°2.

Figura 2.

*Definición de la zona pública y zona restringida del área de estudio a partir de la línea que define la zona marítimo terrestre, la escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento.*



Nota. Fuente: Google Earth Pro.

### 3. Importancia de los humedales

Para la Revista Consumer (2003), se definen los humedales y su importancia dentro del ecosistema como:

...un conjunto de árboles caracterizado por su habilidad para sobrevivir y desarrollarse en terrenos costeros inundados o inundables, zonas con agua de altos niveles de salinidad. Debido a la importante biodiversidad que alberga,

constituye un ecosistema irremplazable y único. Las raíces aéreas de sus árboles -principalmente *mangles*, de ahí el nombre- surgen de las aguas saladas en las costas, estuarios y deltas, formando un almacén que alberga a multitud de especies animales (aves, peces, moluscos y crustáceos), muchas de ellas importantes para la alimentación humana. Los manglares conforman zonas de apareamiento y cría de muchas de estas especies, además de ser refugio para peces en desarrollo, y otras formas de vida marina. Además, protegen a estas costas de la erosión, y han proporcionado durante siglos multitud de recursos a las poblaciones locales. Durante el pleamar las copas de los manglares apenas asoman del agua, mientras que en la bajamar son visibles sus raíces respiratorias, que captan el oxígeno atmosférico y lo transmiten a las raíces enterradas. Esta adaptación les permite sobrevivir en un suelo sin oxígeno y con altas concentraciones salinas. Actualmente la intensiva cría del camarón o langostino representa el mayor peligro de desaparición de estos singulares ecosistemas. (párr.1)

Para el estudio y análisis de la relación e importancia que tienen la ZMT y las zonas de humedal dentro de la legislación costarricense se crea la Ley N°6043 y su correspondiente Reglamento donde el artículo 4 de este último, y de acuerdo con el Decreto No.7210-A de 19 de julio de 1977, se definen los humedales como:

... los manglares o bosques salados que existen en los litorales continentales o insulares y esteros del territorio nacional, y que forman parte de la zona pública en la zona marítimo terrestre, constituyen Reserva Forestal y están afectos a la Ley Forestal y a todas las disposiciones de ese decreto. Partiendo de la línea de vegetación a la orilla de los esteros y del límite de los manglares o bosques salados cuando éstos se extiendan por más de 50 metros de la pleamar ordinaria, comienza la zona restringida. (p.3)

#### **4. Zonas de humedal**

En el documento Política Nacional de Humedales 2017-2030, en sus antecedentes, delimita las zonas de humedal dentro de la ZMT definiendo la zona pública,

...50 metros desde la pleamar ordinaria, así como islotes, peñasco y todos los manglares y esteros litorales, independientemente de su extensión... y la zona restringida 50 metros posteriores a la zona pública, o en el caso de los manglares, a partir de la línea de vegetación de los mismos y hasta su límite posterior. (2017, p.9)

Según el artículo 3 del Reglamento de Especificaciones para la Delimitación de la zona pública de la Zona Marítimo Terrestre Decreto Ejecutivo N.º 36642-MP-MOPT-MINAET del 28 de junio de 2011, titulado “Competencia”; la delimitación de la Zona Pública de la Zona Marítimo Terrestre le atañe al Instituto Geográfico Nacional en representación del Estado, por estar dentro de las facultades señaladas en la Ley sobre la Zona Marítimo Terrestre N°6043. (p.1)

#### **5. Definición de humedales**

En la Convención sobre los Humedales, RAMSAR de 1971, citado por Segura (2016) los humedales,

son zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada con él. Los humedales se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre o cerca de ella o donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas. (párr.2)

La Convención de Ramsar aplica un criterio amplio cuando los humedales quedan sujetos a sus disposiciones. Con arreglo al texto de la Convención (Artículo 1.1), se entiende por humedales:

“las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”. (Fundación Proteger para el Desarrollo Sustentable, (2018) p.2)

La misma Convención protege sitios coherentes,

...en el Artículo 2.1 estipula que los humedales que se incluirán en la Lista de Ramsar de Humedales de Importancia Internacional “podrán comprender sus zonas ribereñas o costeras adyacentes, así como las islas o extensiones de agua marina de una profundidad superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentren dentro del humedal”. (1971 párr.5)

## **6. Conceptualización de humedales**

La variabilidad de la conceptualización de la zona de humedal, se fundamentan desde diferentes puntos de vista: el técnico por sus condiciones propias y como un ecosistema versátil, pero que al final convergen en la necesidad de conservarlos y la estricta aplicación de las leyes, decretos, manuales y criterios correspondientes para salvaguardar su integridad.

En la legislación costarricense, se conceptualizan los humedales en la Ley Orgánica del Ambiente, (1995) en el artículo N°40 de la siguiente forma:

...los humedales son ecosistemas que contemplan los espacios geográficos que presentan regímenes acuáticos, naturales o artificiales, así como los permanentes o temporales, lénticos o lóticos, dulces, salobres o salados, incluyendo las extensiones marinas hasta el límite posterior de fanerógamas marinas o arrecifes de coral, en su ausencia, hasta seis metros de profundidad en marea baja (p.13).

## **7. Características físicas de los humedales**

Para identificar un humedal debe tener ciertas características físicas, para poder ser llamados como tales, según RAMSAR-CREHO (2010) son:

- El suelo o sustrato debe ser fundamentalmente hidromórfico, no drenado; es decir saturado de agua de manera temporal o permanente<sup>10</sup>.
- Debe presentar una lámina o capa de agua poco profunda o agua subterránea próxima a la superficie del terreno, ya sea permanente o temporal.
- Al menos periódicamente, el terreno debe mantener predominantemente una vegetación acuática o hidrófita.
- La presencia de vegetación y/o organismos únicos adaptados a las condiciones húmedas.
- Zonas de transición entre la tierra y los sistemas acuáticos, el agua constantemente interactúa con la tierra y de esa manera controla el ambiente, así como la vida vegetal y animal asociada.
- Los humedales tienen límites pocos definidos; son espacios de transición, de escasa profundidad y de naturaleza cambiante en tiempo y espacio. (p.1)

De acuerdo con lo anterior las zonas de humedal y las partes que este engloba desarrollan un tipo de vegetación propio de la condición de este tipo de sectores, la cual es

transicional entre la condición de un ambiente marino y su paso o transformación hacia las condiciones que desarrolla comúnmente el ambiente terrestre.

## **8. Importancia en la preservación de los humedales**

La existencia, conservación y completa funcionalidad de los ecosistemas, presentes en zonas de humedal, son de trascendental importancia, ya que estos permiten la diversidad de microambientes, facilitando la protección, crianza y alimentación de la vida marina en general y que puede desarrollarse en estos ambientes, sumado a las áreas de contención que estos representan en casos de eventos de emergencias por fenómenos de índole naturales y su relación con la fragilidad de las zonas costeras y la implicación que esta tiene cuando el hombre afecta este entorno.

Además, según Alvarez (1999) los ecosistemas de los humedales son “asociaciones ecológicas, donde las especies comparten múltiples adaptaciones que les permiten crecer en suelos inundados, con muy poco o carentes de oxígeno o saturados de sales” (p.1), así mismo, para Brink y otros (2013) presentan un alto valor ecosistémico debido a su importancia como hábitat de numerosas especies de flora y fauna, reservorio de carbono, reguladores del ciclo del agua, barreras contra la erosión, viento y mareas, y también presentan un alto potencial económico con recursos naturales tales como peces, moluscos, crustáceos, entre otros. (p.4).

RAMSAR-CREHO (2010), amplía los beneficios de los humedales:

- a. Recreación, turismo e investigación científica.
- b. Energía hidroeléctrica y agua para el riego.
- c. Transporte por los ríos, lagunas y canales.

- d. Protegen contra las fuerzas de la naturaleza, como los huracanes y las inundaciones.
- e. Proporcionan productos forestales tales como la madera, leña, frutas, plantas medicinales y otros.
- f. Proporciona productos alimenticios, entre los cuales podemos encontrar: los peces, almejas, camarones, etc.
- g. Facilitar la filtración del agua que permite formar mantos acuíferos, los cuales son de gran utilidad para el suministro del agua potable necesaria para el consumo humano.
- h. Los humedales por ser fuente de diversidad biológica son los ecosistemas más productivos de la Tierra, brindando innumerables beneficios como el abastecimiento de agua, estabilidad en las condiciones climáticas locales, precipitación y la temperatura. (p.1)

## **9. Tipos de humedales**

Se reconocen principalmente seis tipos de humedales, pero para efectos a esta investigación, solo se mencionarán seis y que a continuación se describen:

- Marinos: Humedales costeros, inclusive lagunas costeras, costas rocosas, pastos marinos y arrecifes de coral.
- Estuarinos: Incluidos deltas, marismas de mareas y manglares.
- Lacustres: Humedales asociados a lagos.
- Ribereños: Humedales adyacentes a ríos y arroyos.
- Palustres: Pantanosos – marismas, pantanos y ciénagas.
- Artificiales: Estanques de cría de peces y camarones, estanques de granjas, tierras agrícolas de regadío, depresiones inundadas salinas,

embalses, estanques de grava, piletas de aguas residuales y canales.  
(RAMSAR-CREHO, 2010, p.1),

## 10. Protección Internacional de los humedales RAMSAR

La Convención de Ramsar aplica un criterio amplio al momento de determinar qué humedales quedan sujetos a sus disposiciones.

Además, a efectos de proteger sitios coherentes, el Artículo 2.1, de la Convención, Ramsar (2017) estipula, que los humedales que se incluirán en la Lista de Ramsar de Humedales de Importancia Internacional: “podrán comprender sus zonas ribereñas o costeras adyacentes, así como las islas o extensiones de agua marina de una profundidad superior a los seis metros en marea baja, cuando se encuentren dentro del humedal”. (p.7).

Actualmente, Costa Rica tiene doce humedales de importancia internacional declarados por RAMSAR. (Tabla N°2)

Tabla 2.

*Humedales de importancia internacional (sitios Ramsar).*

<b>Provincia</b>	<b>Sitio</b>	<b>Extensión</b>
05_Guanacaste, sección sur de la península de Santa Elena	1. Manglares de Potrero Grande. Sitio RAMSAR desde el 6 de mayo de 1999.	139 hectáreas de humedal principal: manglar e incluyendo el flujo de agua del estero.
05_Guanacaste, Santa Cruz, entre los distritos de Cabo Velas y Tamarindo	2. Refugio Nacional de Vida Silvestre Tamarindo. Sitio RAMSAR desde el 09 de julio 1993.	385 hectáreas, creado con el fin de proteger los manglares próximos a la desembocadura del estuario del río Matapalo y del Parque Nacional Marino Las Baulas.

05_Guanacaste, entre los cantones de Nicoya y Bagaces de la provincia de Guanacaste.	3. Parque Nacional Palo Verde, sitio RAMSAR desde el 27 de diciembre de 1991.	19.800 hectáreas que abarca la vertiente del Golfo de Nicoya, sobre la margen izquierda del río Tempisque.
06_Puntarenas, en los distritos de Puerto Cortés, Sierpe y Palmar, cantón de Osa.	4. Humedal Nacional Térraba Sierpe. Sitio RAMSAR desde el 11 de diciembre de 1995.	30 654 hectáreas, que van desde la desembocadura de los ríos Térraba y Sierpe en el litoral del Pacífico Sur
02_Alajuela, entre los Cantones de Los Chiles, Upala y Guatuso.	5. Refugio Nacional de Vida Silvestre Caño Negro. Sitio RAMSAR desde el 27 de diciembre de 1991.	24 519 hectáreas, uno de los dos primeros para Costa Rica, Caño Negro es un desagüe de agua estancada del adyacente río Frío y su tributario el río Mónica.
05_Guanacaste y 02_Alajuela, específicamente en los cantones de Tilarán, San Ramón y San Carlos.	6. Embalse Arenal. Sitio RAMSAR desde el 07 de marzo de 2000.	67 296 hectáreas, forma parte del Área de Conservación Arenal Tempisque y Area de Conservación Arenal Huetar Norte
06_Puntarenas.	7. Parque Nacional Isla del Coco. Sitio RAMSAR desde 21 de abril de 1998	2.400 hectáreas de superficie terrestre y 97.232 hectáreas de superficie marina para un total de 99.623 hectáreas. El criterio más significativo considerador para el establecimiento de este humedal es la Zona Marítima y la existencia de especies de corales y peces en gran abundancia.
05_Guanacaste, se encuentra en la sección sur de la península de Santa Elena.	8. Laguna Respingue. Sitio RAMSAR desde el 06 de mayo de 1999.	75 hectáreas, es un ejemplo de un tipo específico de humedal, raro o poco común en la eco región de bosque seco tropical de la costa pacífica de Centroamérica.
07_Limón, Al Sur de la costa Caribe de Costa	9. Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca	9.445 hectáreas, se localiza en la cuenca baja del

Rica colindante con Panamá, cantón de Talamanca.	Manzanillo.	Sitio	río Sixaola, al margen occidental, en la provincia de Limón.
07_Limón y 04_Heredia, cantones de Pococí y Sarapiquí.	10. Humedal Caribe Noreste. Sitio RAMSAR desde el 20 de marzo de 1996.		75.310 hectáreas, contempla parte de cuatro Áreas Silvestres Protegidas: Refugio Nacional de Vida Silvestre Barra del Colorado, Refugio Nacional de Vida Silvestre Corredor Fronterizo Norte, Parque Nacional Tortuguero y Zona Protectora Tortuguero.
01_San Jose, 03_Cartago y 07_Limón	11. Turberas de Talamanca. Sitio RAMSAR desde el 02 de febrero de 2003.		192 520 hectáreas, abarca desde la Cordillera de Talamanca, en la provincia de Guanacaste en Costa Rica, distribuidos entre el Parque Nacional Chirripó, El Cerro de la Muerte (Costa Rica), la Reserva Forestal Los Santos y Parque Nacional Tapantí-Macizo de la Muerte
02_Alajuela Alajuela, incluye secciones de los distritos de Cutris y Pital, en el cantón de San Carlos; y 04_Heredia abarca secciones del distrito de La Cureña, en el cantón de Sarapiquí	12. Humedal Maquenque. Sitio RAMSAR desde el 22 de mayo del 2010.		59 692 hectáreas, caracterizado por la presencia de tres grandes ríos: San Juan, San Carlos y Sarapiquí, los cuales delimitan las dos áreas protegidas que integran el Humedal Maquenque las cuales son: El Refugio Nacional de Vida Silvestre Mixto Maquenque y la franja intermedia del Refugio Nacional de Vida Silvestre Corredor Biológico Fronterizo.

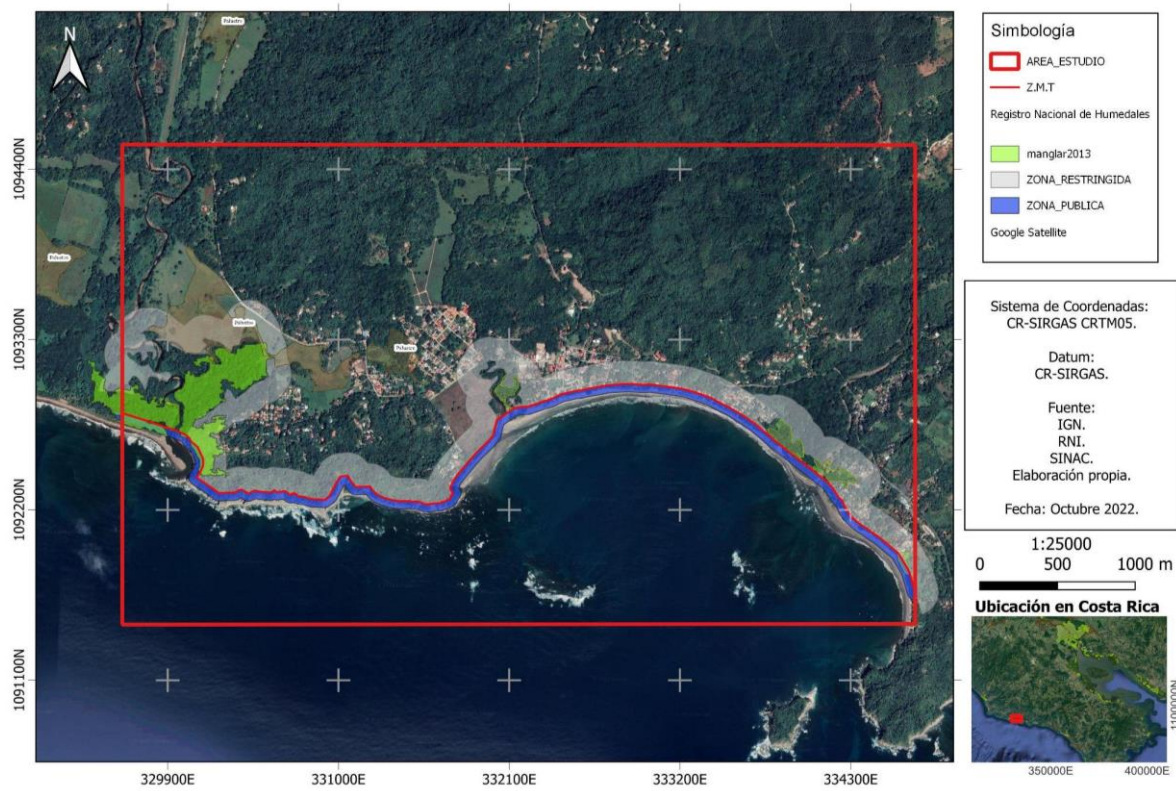
Nota. Fuente: Modifica a Soto, (2015). Costa Rica posee 12 humedales de importancia mundial.

## **11. Delimitación de la Zona Marítima Terrestre y Áreas de Humedales en la zona de estudio**

Como parte de los insumos requeridos para esta investigación, se trabajará, con dos fuentes de información geoespacial como lo son: el Sistema Nacional de Información territorial SNIT (donde se consulta directamente la capa correspondiente a la delimitación de la Zona Marítimo Terrestre correspondiente al área de estudio y dentro del apartado denominado nodos del SNIT), y el nodo del Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE) en el apartado del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (donde se accede a la capa correspondiente al Registro Nacional de Humedales con lo cual permite delimitar la zona marítimo terrestre e identificar las zonas de humedal dentro del área de estudio y clasificarlas dentro del geoportal del SNIT) la información recabada por conexión se trasladará al software QGIS vía formato WMS (Web Mapping Service) para poder establecer las relaciones de información requeridas para este proyecto, como se muestra en la figura N°3

Figura 3.

*Delimitación de la Zona Marítimo Terrestre y Zonas de Humedal en el área de estudio, escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento.*



Nota. Fuente: Google Earth Pro.

## 12. Legislación costarricense atinente a los humedales

Las reservas forestales, los humedales, los manglares, en la actualidad son zonas protegidas, de dominio público que a su vez forman parte del Patrimonio Natural del Estado bajo la administración del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), regulado todo en diversas normas jurídicas:

- Ley Orgánica del Ambiente, 7554, artículos 32, 37, Capítulo VIII artículos 40, 41 y 42.
- Ley 6043, Artículos 11 y Capítulo VII artículo 61 y artículo 4 de su Reglamento
- Ley Forestal, artículos 1, 13,15 y 58 incs. a) y b)
- Ley de Biodiversidad, artículos 22 y 59.
- Ley de Conservación de la Vida Silvestre, art. 2, 7 inc. H) 103, 132, Transitorio III y artículo 2 de su Reglamento.
- Decreto N°36427-MINAET Crea Programa Nacional de Humedales y Comité Nacional de Humedales como Órgano implementador de la Convención de Ramsar dentro del Sistema Nacional de Áreas de Conservación el cual deroga los Decretos Ejecutivos N°22839 del 22/01/1994 y el N°28058 del 23/07/1999.
- Decreto N°28058-MINAE. Crea Programa Nacional de Humedales, dentro del MINAE
- Decreto N°7210-A Declara Reserva Forestal zonas de manglares o bosques salados.
- Decreto N°23247-MIRENEM. Reforma Declara humedales a las áreas de manglares y adyacentes a los litorales continentales e insulares del país.

### **13. Fotografías aéreas de vuelos fotogramétricos de proyectos del Instituto Geográfico Nacional.**

Según Díaz (2022) las fotografías aéreas “son una fuente inestimable de información para el estudio de la geografía física y humana de los territorios y por supuesto de la biogeografía. (p.1)

El mismo autor, asegura que,

...el análisis de imágenes aéreas permite localizar hábitats, realizar inventarios de especies, cartografías de vegetación, análisis del estado de la cubierta vegetal, además de estudios de incendios, costas y océanos,

actualización y producción de mapas, estudios de geología, contaminación, ordenación y planificación del territorio, análisis paisajísticos, realizar investigaciones sobre los cambios en la superficie terrestre... Por lo tanto, las imágenes fotográficas por sí solas o combinadas con imágenes de satélites, sistemas de información geográfica o cartografía, tienen infinidad de aplicaciones en biogeografía y en estudios del medio natural y humano. (p.1)

Igualmente afirma el mismo autor que:

Los primeros momentos de la historia de la fotografía aérea estuvieron muy relacionados con la evolución de la propia fotografía. Según fueron progresando los distintos tipos de cámaras (la cámara oscura con soporte de sales de plata de Nicéphore Niepce en 1827, el daguerrotipo de Louis Daguerre de 1838, el calotipo de William Fox Talbot de 1841, el rollo fotográfico de George Eastman en 1888...), se fue reduciendo el tiempo de exposición y fue aumentando la calidad de las imágenes. (p.1)

La mayoría de los autores (Fernández, 2000) relacionan el nacimiento de la fotografía aérea con los trabajos del francés Gaspard-Félix Tournachon (1820- 1910), que en 1856 consiguió obtener las primeras imágenes aéreas desde un globo aerostático, dado que, en aquellos tiempos, los globos eran los aparatos voladores más estables. (p.1)

Poco más tarde otros personajes consiguieron obtener fotografías aéreas con cometas (A. Blaut en 1888), con palomas (Julius Neubronner en 1908), o con dirigibles..., pero tras la invención del aeroplano de los hermanos Wright en 1903, pronto se realizaron las primeras fotografías aéreas desde un avión

sobre Francia (en 1909). Desde ese momento, la aviación y la fotografía aérea comenzaron a evolucionar paralelamente. p.1)

Con el desarrollo de la aviación, la fotografía aérea pudo desarrollarse rápidamente, y pronto se pudo apreciar la utilidad de la fotointerpretación en la planificación urbana, el análisis de la vegetación, la elaboración de mapas... aunque la principal función de las fotografías aérea fue en la planificación militar (la fotografía aérea y la aviación cambiaron por completo las estrategias militares (p.1)

El mismo autor afirma que por sus características las fotografías aéreas “se realizan tradicionalmente con cámaras especiales llamadas cámaras fotogramétricas”, equipos altamente costosos, equipos automáticos de alta resolución que se adaptan a aviones de tamaño medio-grandes. (p.3)

Los vuelos fotogramétricos deben estar perfectamente planificados, se deben tener en cuenta las condiciones meteorológicas (debe haber una buena luminosidad, transparencia atmosférica, poca nubosidad...), la altura del vuelo (que determinará la escala de las fotos), el número de pasadas, el número de fotos en cada pasada, el intervalo de tiempo entre dos fotogramas, el material, el área que será fotografiada, la hora más conveniente... (p.3)

Las fotografías aéreas tienen diferentes formatos (aunque el formato de 23x23cm es el más común), son cuadradas o rectangulares. Todas las fotografías aéreas verticales tienen una perspectiva cónica del terreno (inherente a la técnica) y en ellas el centro de proyección (o centro óptico) es la propia cámara. (p.3)

De acuerdo con lo anterior se considera de gran valor, el aporte que brindan las fotografías aéreas para esta investigación, por su intrínseca correlación que tienen estas, con los objetivos propuestos y por la perspectiva que brindan estos insumos, en el análisis de la zona de estudio y con el vínculo, de estos resultados, con los resultados del análisis con las imágenes satelitales.

Cabe señalar que todas las imágenes suministradas por el IGN de Costa Rica son fotografías aéreas con las dimensiones de cuadro fotográfico descrito anteriormente, no cuentan con su par fotogramétrico, no son imágenes ortorectificadas. Para la investigación se desarrollará un proceso de georreferenciación de cada imagen por separado con la aplicación del software QGIS que permite este proceso.

Una vez capturadas las imágenes, posterior al vuelo fotogramétrico las fotografías son editadas y en la mayoría de los proyectos suelen agregarse datos informativos hacia los márgenes, aunque estos datos pueden variar siendo determinados comúnmente por los requisitos de los Institutos Geográficos o entes encargados de la cartografía de cada país o bien empresas privadas que requieran dichos insumos por temas de contratación. Estos datos se pueden clasificar de la siguiente forma, como se muestra en la tabla N°3:

Tabla 3

Generalidades de los datos incluidos en la fotografía aérea.

Concepto.	Descripción.
El Formato.	Este va a depender del tamaño y el papel de impresión, sumado a la técnica con la que fue realizada la captura de la fotografía.
Las Marcas Fiduciales.	Cuatro muescas que se insertan al centro del borde de cada lado de la imagen, su función: permiten calcular e identificar el centro de la fotografía (que se define con un punto denominado centro geométrico).
El Número Identificador del Vuelo.	Por lo general es posible encontrarlo en todas las fotografías, este número identificador muestra a que conjunto y a que pasada de vuelo corresponde la imagen y el número de la fotografía. A su vez permite identificar y localizar el área que recubre la fotografía dentro del mapa director o bien a la línea de vuelo correspondiente al proyecto.
La Fecha.	En la configuración de la fotografía puede legar a detallar el día, el mes, el año en ocasiones puede mostrar la hora (en un reloj) de la captura de la imagen. Esta característica es de suma importancia, ya que ayuda a identificar la estación del año de la toma, este es un elemento que permite conocer para efectos del proyecto la época o estación de la toma de la imagen. Estos indicadores además son útiles para hacer cálculos a partir de las sombras de la fotografía.
La Escala.	Esta puede ser indicada en la imagen o bien puede ser calculada a partir de la toma realizada. Aun así, es importante tener en cuenta que la escala de una fotografía aérea vertical es aproximada, debido a que no es exactamente uniforme (en la ortofotografía la escala sí es uniforme), esto se debe a las irregularidades del terreno y a que la proyección cónica de las fotografías, y por esto, la escala puede variar desde el centro hacia los bordes de la fotografía. La escala en las tomas de las fotografías aéreas es un factor que puede variar de 1:1.000 a 1:100.000. Este es un factor determinante en el uso de las fotografías. Para el caso de las escalas pequeñas de 1:100.000 a 1:60.000 sirven básicamente

para el reconocimiento del terreno, y el grado de detalle es limitado. Para casos de análisis de usos del suelo o bien estudios geológicos se usan imágenes con escalas entre los 1:60.000 y 1:30.000. Mientras que las imágenes a gran escala consideradas superiores al 1:20.000 o 1:10.000 poseen un gran detalle, son muy útiles para casos de delimitación de parcelas (fines catastrales) o para la realización de inventarios forestales. Para casos de imágenes con escalas mayores a 1:5.000 por su grado de resolución permite diferenciar árboles individualmente y poder generar estudios con precisiones muy altas.

**La Orientación.** No es común verla indicada en el marco de la fotografía, esta es deducida por el fotointérprete. La referencia al norte en una fotografía aérea no suele estar plasmada en el marco de estas. Por el contrario, suelen orientarse hacia el este o el oeste, en función del sentido de la línea de vuelo de la aeronave.

**La Distancia Focal.** Definida como la distancia desde la lente al foco, a lo largo del eje óptico. Se suele medir en milímetros y varía entre 85 y 600 mm, aunque se suelen utilizar valores comprendidos entre 152 y 210 mm. (Fernández, 2000).  
 La distancia focal se puede calcular al dividir la altitud de vuelo de la aeronave entre la escala de la fotografía. Varía entre el operador de la cámara o hasta el proyecto incluir datos de la cámara como lo son:  
 -la abertura del diafragma.  
 -el tiempo de exposición.  
 - el tipo de película utilizado.

**Altitud o Altura de Vuelo** Define la altura del lente sobre el nivel del mar al momento de la captura de la fotografía. Permite establecer la escala y la resolución de la imagen.  
 Puede ser medida en metros, kilómetros o pies, la altura de la fotografía es comúnmente colocada en los márgenes en forma de altímetro, o bien puede ser calculada dividiendo la distancia focal entre la escala de la fotografía.  
 Debe considerarse establecer la diferencia entre los conceptos de:  
 Altura del vuelo.

	<p>Altura del vuelo sobre el terreno.</p> <p>Esta última refiere a la distancia existente entre el centro de la cámara y el terreno en el momento de la exposición, puede ser calculada restando la lectura del altímetro contra la cota del punto central de la fotografía.</p>
El Nivel esférico o de burbuja.	Este equipo ayuda a comprobar la verticalidad de la fotografía y si la toma es correcta. No suele aparecer en los bordes de la imagen, sino en la toma de datos de la bitácora del vuelo y datos de la cámara.
Referencia geográfica.	Es habitual indicar una referencia al sitio donde se realizan las tomas del vuelo para tener una referencia geográfica aproximada, ocasionalmente se pueden identificar además las coordenadas geográficas del centro de la fotografía.
Institución Pública o Empresa Privada que desarrolla el proyecto.	Ocasionalmente se puede observar en la fotografía el nombre o el logotipo de alguna institución de índole público o de empresas privadas como referencia al organismo encargado el proyecto fotográfico.

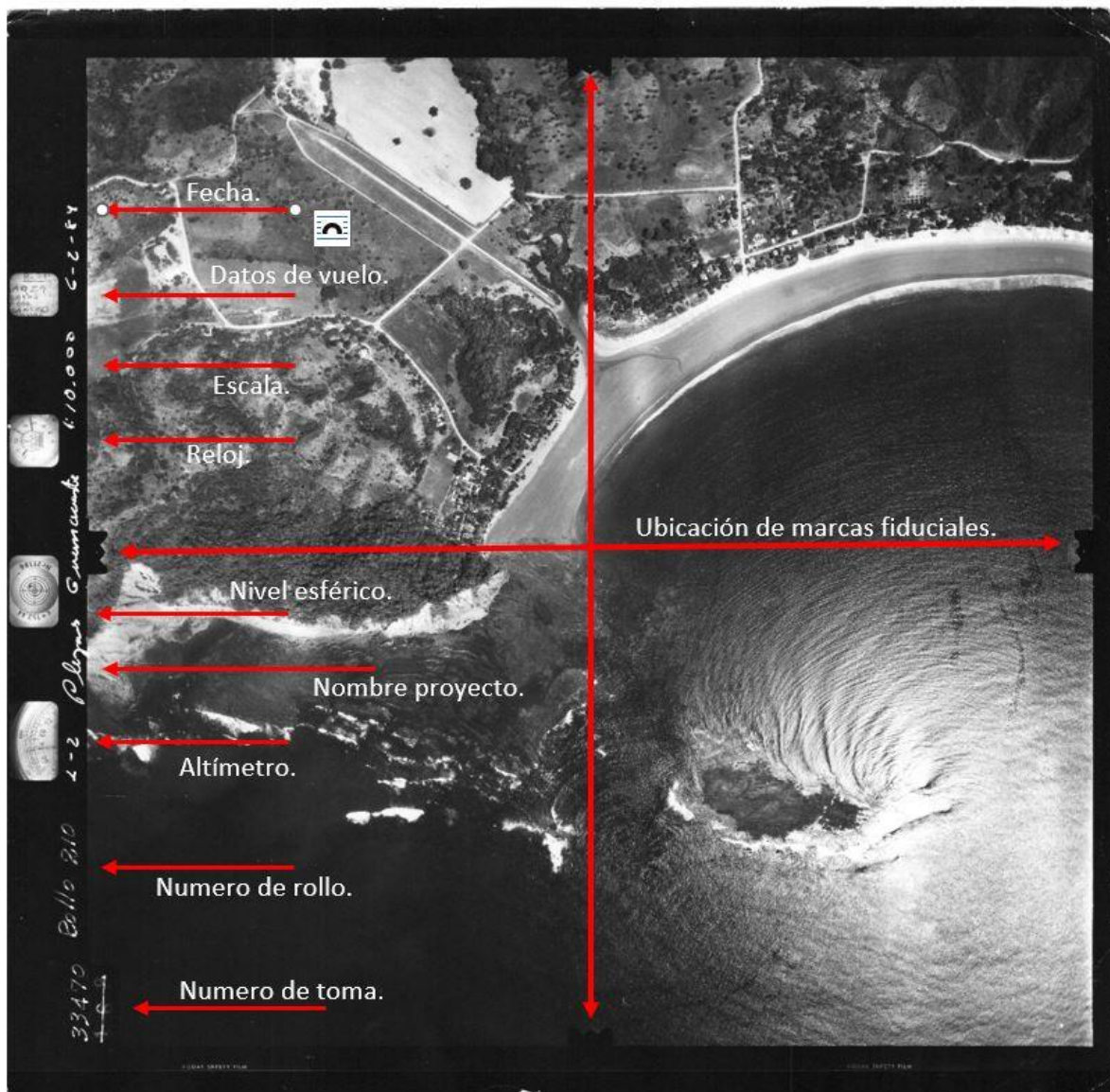
---

Nota. Fuente: Modificado de Biogeografía 2022. Características de las fotografías aéreas.

Para una mayor ilustración, basándose en la información referida de la tabla N°3 se identificarán las generalidades de la fotografía aérea en la figura N°4 la cual corresponde a la fotografía aérea del proyecto Playas Guanacaste, fotografía aérea 33470 donde claramente se pueden observar:

Figura 4.

*Datos incluidos en la fotografía aérea.*



Nota. Fuente: IGN Proyecto Playas Guanacaste, foto 33470, datos incluidos elaboración propia. La escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento.

Para valorar el contenido y aporte que agregan las fotografías aéreas históricas para los fines y desarrollo de esta investigación, se le solicitan estos insumos al IGN de Costa Rica, considerando que al ser fotografías aéreas no ortorectificadas, se deberá realizar un proceso de georreferenciación con el software QGIS, la información generada será fundamental para cumplir con los objetivos planteados.

Siendo así que por medio del oficio DIG-TOT-0632-2022 del Departamento de Topografía y Observación del Territorio (DTOT) del IGN de Costa Rica, se enlistan las imágenes históricas de vuelos fotogramétricos que van desde el año 1944 del Proyecto CAW hasta el año 1997 con el Proyecto Terra.

Tabla 4

*Listado de las fotografías aéreas suministradas por el IGN de Costa Rica.*

<b>Proyecto</b>	<b>Numero de imagen, año y otros detalles</b>
<b>Proyecto Caw 1079</b>	Fotografía 166, año 1944, escala 1:40000, Línea 11-100A.
<b>Proyecto Caw M1080</b>	Fotografía 23, año 1945, escala 1:45000, Línea 12-83.
<b>Proyecto Nicoya</b>	Fotografía 383, año 1971, escala 1:20000, Línea 5.
<b>Proyecto Nosara</b>	Fotografía 1338, año 1974, escala 1:20000, Línea SN. (sin número).
<b>Proyecto Playas Guanacaste</b>	Fotografía 33470, año 1984, escala 1:20000, Línea 210.
<b>Proyecto Playas Guanacaste</b>	Fotografía 42978, año 1987, escala 1:10000, Línea SN. (sin número).
<b>Proyecto Playas Guanacaste</b>	Fotografía 47490, año 1989, escala 1:10000, Línea SN. (sin número).
<b>Proyecto DRIP</b>	Fotografía 54179-54180, año 1989, escala 1:20000, Línea 12.

Nota, Fuente: Oficio DIG-TOT-0632-2022.

#### **14. Fotointerpretación para la detección de cambios de uso de suelo y cobertura vegetal.**

La fotointerpretación se define como:

el proceso por el que se extrae la información contenida en la fotografía aérea. En una primera fase se trata de reconocer y ubicar los diferentes elementos que aparecen representados. Se requieren ciertos conocimientos acerca de los procesos geomorfológicos, formaciones vegetales y usos del suelo del área de trabajo; hace falta además tener en cuenta la escala del fotograma y el tamaño de los objetos representados. Resulta por tanto una técnica instrumental útil en estudios territoriales. (Fotointerpretación y teledetección. Tema 3 Fotointerpretación. Geología y Geomorfología, (2006) párr. 27)

El proceso desarrollado para este proyecto de investigación se basará en la georreferenciación de las fotografías aéreas históricas brindadas por el IGN de Costa Rica, y se determinarán los cambios, tanto en uso de suelo como en cobertura vegetal vinculados a las zonas de humedal. Este proceso se llevará a través del histórico multitemporal desarrollado en QGIS con las fotografías aéreas, se considerarán los criterios de fotointerpretación de: textura, forma-contorno y patrón espacial.

Según Rosales (2013) algunas de las Características Pictórico-Morfológica del bosque de Mangle asociado a zonas de humedal, son:

- Forma: De forma irregular, asociado a zonas costeras y desembocaduras de ríos.
- Textura: Se observa de una textura media a gruesa dependiendo de la escala de la fotografía. Los trazos de los estuarios son muy evidentes.

- 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. (Manual para la interpretación de Imágenes de sensores remotos de las principales coberturas y usos de la tierra de Costa Rica, p.23)

Con estos tres criterios se harán las consideraciones necesarias con una perspectiva fotointerpretativa sobre el histórico de fotografías aéreas con que se cuenta para esta investigación y las asociaciones de análisis que surgirán entre el análisis multitemporal obtenido con imágenes satelitales.

## **15. Uso de software de plataforma abierta para desarrollar el compilado multitemporal.**

Para la Free Software Foundation (2022) un,

«Software libre» es el software que respeta la libertad de los usuarios y la comunidad. A grandes rasgos, significa que los usuarios tienen la libertad de ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, modificar y mejorar el software. Es decir, el «software libre» es una cuestión de libertad, no de precio. Para entender el concepto, piense en «libre» como en «libre expresión», no como en «barra libre». En inglés, a veces en lugar de «free software» decimos «libre software», empleando ese adjetivo francés o español, derivado de «libertad», para mostrar que no queremos decir que el software es gratuito.

Un programa es software libre si otorga a los usuarios todas estas libertades de manera adecuada. De lo contrario no es libre. Existen diversos esquemas de distribución que no son libres, y si bien podemos distinguirlos en base a cuánto les falta para llegar a ser libres, nosotros los consideramos contrarios a la ética a todos por igual. (párr.8)

Este tipo de plataformas base es fundamental para esta e investigación ya que se busca implementar y comprobar las bondades de estos y la versatilidad que puede ser desarrollada según los requerimientos de un proyecto. Además, este tipo de software se considera como fuente de consulta en instituciones públicas o bien instituciones no gubernamentales que busquen desarrollar insumos de alta calidad bajo la temática propuesta.

Adicionalmente, se utilizarán dos reconocidos softwares de plataforma abierta y gratuitos, para procesar los insumos recolectados: el software QGIS versión 3.26 (Buenos Aires) y las herramientas que permitan estos procesos denominados “pluggins”, (considerado por sus desarrolladores como una aplicación de uso profesional de SIG que está construido sobre Software Libre y de Código Abierto (FOSS (Free and Open Source Software)), para el proceso de georreferenciación de fotografías aéreas, la carga de servicios WMS y el compilado de las imágenes históricas de la zona de estudio.

Por otra parte, el proceso de descarga y análisis de imágenes satelitales de la plataforma LANDSAT trabajará con el código desarrollado para el software “R Studio” en su lenguaje de programación nativo “R”, el cual permite analizar las varianzas en el cambio de usos de suelo y la cobertura vegetal de la zona de estudio.

Según R-Tools Technology In. (2019) el R-Studio es “una plataforma desarrollada a través de un conjunto de herramientas que para los fines de la investigación permite la descarga de archivos” (párr.1) que pueden ser imágenes satelitales gratuitas

La misma empresa afirma que este software, permite la recuperación de estos

...archivos tanto en discos locales como en los discos de equipos remotos a través de la red, incluso si sus estructuras de partición están dañadas. La tecnología única IntelligentScan y una configuración flexible de los

parámetros le proporciona el control real sobre la recuperación de datos más rápida”. (2019, párr.1)

Además, es importante señalar, que el código desarrollado para este proyecto de investigación permite gestionar la programación de áreas mayores a las que se analizarán en el mismo o bien a otras regiones completas del país para la misma finalidad, esto se puede lograr con la descarga de imágenes satelitales y el análisis de cambio de usos de suelo y cobertura vegetal del área que se desee estudiar.

### **16. Zonas de Humedal Vestigiales.**

La Real Academia (RAE) (2022), define el concepto vestigial como: “que queda como resto de algo que ya ha perdido su función”. (párr.1)

Basándose la definición anterior, se considerarán zonas de humedal vestigiales a aquellas zonas que se encuentren caracterizadas con los criterios de forma, textura y patrón de la primera fotografía aérea del compilado solicitado al IGN de Costa Rica (Proyecto Caw 1079, foto 166, escala 1:40000, 1944.) dentro de las zonas de humedal existentes y que se encuentran delimitadas en el nodo del SNIT-SINAC Registro Nacional de Humedales.

### **17. Zonas de Humedal Existentes.**

La definición de humedales adoptada por Costa Rica, según Bravo (2015) dice que:  
...son ecosistemas con dependencia de regímenes acuáticos, naturales, o artificiales, permanentes, a temporales, lénticos o lóuticos, dulces salobres o salados, incluyendo las extensiones marinas hasta el límite posterior de fanerógamas marinas o arrecifes de coral o, en su ausencia, hasta seis metros de profundidad en marea baja. (Conservación, uso sostenible de la

biodiversidad y mantenimiento de los servicios de los ecosistemas de humedales protegidos de importancia internacional p.5)

Tomando en cuenta la definición anterior una zona de humedal existente son aquellas áreas consideradas dentro del área de estudio del proyecto y que es accesible visualmente por medio del nodo del SNIT correspondiente al SINAC y la capa correspondiente al servicio WMS denominada Registro Nacional de Humedales, revisada en este servicio con última fecha de actualización de la capa al 09 de setiembre de 2022

Lo anterior se muestra en la figura N°5:

Figura 5.

*Visualización del SNIT, nodo SINAC última fecha de actualización capa Registro Nacional de Humedales.*

TÍTULO DE CAPA	QUERY	ÚLTIMA ACTUALIZACIÓN	METADATOS	AGREGAR A VISOR	PREVISTA LIZA CAPA
Áreas Silvestres Protegidas	En el caso de los nodos externos no se puede indicar el query	10-11-2020		to	o
Bosque Deciduo	En el caso de los nodos externos no se puede indicar el query	09-09-2022		to	o
Bosque Maduro	En el caso de los nodos externos no se puede indicar el query	09-09-2022		to	o
Bosque de Palmas	En el caso de los nodos externos no se puede indicar el query	09-09-2022		to	o
Bosque Secundario	En el caso de los nodos externos no se puede indicar el query	09-09-2022		to	o
Corredores Biológicos	En el caso de los nodos externos no se puede indicar el query	09-09-2022		to	o
Patrimonio Natural del Estado	En el caso de los nodos externos no se puede indicar el query	09-09-2022		to	o
Registro Nacional de Humedales	En el caso de los nodos externos no se puede indicar el query	09-09-2022		to	o

Nota: Fuente: Servicio Nacional de Información Territorial (SNIT).

Esta fuente de consulta será base para realizar el análisis comparativo por medio de los softwares citados anteriormente con los insumos de consulta, para de esta forma se puedan cumplir con los objetivos propuestos para el proyecto.

Este proceso de identificación de las zonas de humedal existentes permitirá realizar la comparación y análisis entre la fotografía aérea más antigua obtenida con el resultado obtenido del código de R de la imagen satelital procesada para el año 2021.

## **18. Fotointerpretación**

La fotointerpretación o interpretación de fotografías aéreas, para Espiro y Papetti (2016) es, “la rama de la Teledetección que nos ayuda a examinar la imagen fotográfica del terreno, con el propósito de identificar los diferentes componentes naturales y de origen antrópico del paisaje” (p.3). Con diferentes técnicas se puede obtener información del uso del suelo y la cobertura vegetal.

Los mismos autores señalan que no fue hasta los años 40's y en los 50's que se desarrollaron las técnicas sistemáticas para analizar el terreno y la producción cartográfica. (p.3)

La fotointerpretación básicamente es una interpretación de fotografías aéreas, es la rama de la Teledetección que ayuda a examinar la imagen fotográfica del terreno, con el propósito de identificar los diferentes componentes naturales y de origen antrópico del paisaje. Con diferentes técnicas se obtiene información del uso del suelo y la cobertura vegetal y de los cambios al comparar dos imágenes de una misma zona para diferentes años, estos procesos son manuales y requieren de experiencia del interprete y difiere de los procesos automatizados de teledetección que existen ahora.

## **19. Teledetección**

Según lo señalan Gil y Morales (2016) citado por García (2022) la teledetección “es una técnica utilizada para la obtención de información a distancia de objetos que están en la superficie de la tierra, posteriormente se realiza el tratamiento de dicha información en un software específico”. (García, 2022, p.5)

Cabe mencionar que uno de los aportes más significativos de esta técnica hacia el ambiente es la capacidad de realizar monitoreo por medio de imágenes satelitales, con el cual se pueden obtener resultados de alta calidad en tiempos más cortos.

Con el uso de imágenes satelitales los procesos de monitoreo pueden ser automatizados y con las metodologías idóneas se puede realizar análisis de series de tiempo que permitan la identificación de cambios que permiten obtener datos para la toma de decisiones un poco tiempo.

## **20. Imágenes satelitales**

Para Chuvieco (1996) citado por Gil y Morales (2016) las imágenes satelitales representan el mosaico espacial de un área, cuyos detalles varían según las características del sistema sensorial y la resolución (p.6). Hay varios tipos de imágenes satelitales comerciales como, por ejemplo: IKONOS, Spot y Radarsat y Landsat que es usado por las personas mundialmente; utilizan memoria interna por si un satélite esta fuera del alcance de alguna estación terrestre, pueda registrar datos para su posterior transmisión (García, 2022, p.6).

El programa de imágenes satelitales más antiguo es Landsat cuenta con una alta calidad de los datos, cubre longitudes variadas de onda del espectro electromagnético y

también mejora las características para hacerlos visibles. El rango de longitudes de onda en el espectro electromagnético se le llama banda espectral (García, 2022, p.6).

Estos insumos se complementarán con los resultados que se obtengan del procesamiento que se realice a las fotografías aéreas provistas por el IGN de Costa Rica.

## **21. Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI)**

Para Tucker (1979) citado por Zúñiga (2018) el NDVI sirve para “conocer el comportamiento espectral de las plantas con estado vegetal sano y plantas con estado vegetal enfermo” (p.6)

Los valores de NDVI cercanos a 0,1 indican áreas desérticas con escasa vegetación, mientras que los valores cercanos a 0,9 indican áreas con alta densidad de vegetación. Así, el índice permite determinar la presencia o ausencia de vegetación verde en una determinada parcela de terreno, así como caracterizar tanto su distribución espacial como su evolución en el tiempo. (Zúñiga, 2018 p.7 ).

Según, Meneses Tovar (2012), citado por Zúñiga (2018) el NDVI mide la relación existente entre la energía emitida y la absorbida de las comunidades de plantas, es así que como se determina el verdor vegetativo o su estado de salud, además de la cantidad de vegetación que está presente en una superficie de territorio. Esta medición se da gracias a los sensores remotos generalmente instalados desde una plataforma espacial y de la intensidad de radiación de algunas bandas del espectro electromagnético que emite o refleja la vegetación (Zúñiga, 2018, p.7)

Para poder calcular el NDVI se aplica la siguiente ecuación:

Cálculo de NDVI

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

Donde: NIR y R corresponden a la reflectancia en el infrarrojo cercano y la banda roja del espectro respectivamente.

El uso de los diferentes índices de vegetación permite determinar de manera eficaz cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal de una zona determinada, cuando hay cambios significativos, como la eliminación de toda la vegetación, por ser cambios simples y rápidos de verificar de acuerdo con los resultados del índice.

## **22. Estudio multitemporal**

Según García (2022) un estudio multitemporal es:

...un análisis espacial realizado mediante la comparación de interpretaciones de cobertura en imágenes satelitales, mapas o fotografías aéreas de la misma superficie en diferentes momentos. De esta forma, puede evaluar los cambios provocados por una cobertura del suelo previamente clasificada para determinar su evolución a partir del medio natural o el impacto de las actividades humanas sobre este medio. (p.9).

Los estudios multitemporales además permiten optimizar el tiempo y los recursos, ya que su aplicación, brindan la información necesaria para poder realizar análisis más detallados o bien tomar decisiones de manera segura basada en los resultados obtenidos, sin tener que recurrir a metodologías más costosas y de mayor duración para la determinación

de los cambios o modificaciones en el uso del suelo y la cobertura vegetal de zonas de interés.

### **23. Modificación de uso de suelo y cobertura vegetal**

Las modificaciones o los cambios de uso de suelo y de cobertura vegetal son la transformación de áreas que cumplen una función determinada a áreas con funciones completamente distintas, estos cambios son importantes de detectar para poder analizar la evolución de esas áreas, en pro o en contra de la conservación de los ecosistemas, tal y como lo afirma, Escandón et al., (2018),

es importante destacar el papel del recurso tierra, ya que de él depende la vida y diversas actividades de desarrollo. Los cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal, especialmente debido a las actividades socioeconómicas de las poblaciones, conducen a cambios en los factores ambientales y aspectos biofísicos (p.11).

La principal problemática de los cambios de uso de suelo y de cobertura vegetal se refleja en la pérdida de biodiversidad, además de la pérdida de funciones que poseen los diferentes ecosistemas, estas pérdidas tienen consecuencias tanto actuales, como en un futuro cercano, lo que provocará una serie de amenazas a: las nuevas generaciones, el crecimiento de la población, la expansión todavía constante de la frontera agrícola hacia la zonas boscosas que son algunos de los cambios que Pinos (2016) establece como los más comunes cuando se habla de cambios en el uso de la tierra.

### **24. Materia orgánica en el suelo.**

Varios autores como Navarro, et al, (1995) o Gros y Domínguez (1992), citados por Graetz (1997) establecen la materia orgánica como la fracción orgánica fundamental en el

suelo, también se suele conocer como el hummus y se refiere a “toda clase de materia orgánica de color pardo y negro, resultante de la descomposición de materia orgánica de origen vegetal puro”.

El contenido de materia orgánica en el suelo es un parámetro que permite la caracterización del suelo en una zona determinada, a mayores contenidos de materia orgánica mayor es la capacidad de ese suelo de contribuir con los ecosistemas y con la biodiversidad; contenidos importantes de materia orgánica significan una cubierta vegetal natural sana presente, Graetz (1997), citado por Julca *et al*; (2006) establece que la materia orgánica afecta las

...propiedades físicas del suelo, forma agregados y proporciona estabilidad estructural, une arcillas y forma complejos de intercambio, promueve la infiltración y retención de agua, reduce la erosión y promueve el intercambio de gases En referencia al efecto sobre la química del suelo, los autores mencionan que aumenta la capacidad de intercambio del suelo, aumenta las reservas de nutrientes de las plantas y la capacidad amortiguadora del suelo, facilita el efecto de los fertilizantes minerales y facilita su absorción a través de la membrana celular. de las raíces Después de influir en las propiedades biológicas, favorece los procesos de mineralización, el desarrollo de la cubierta vegetal sirve de alimento a diversos microorganismos y estimula el crecimiento de las plantas en un ecosistema equilibrado.

### **Capítulo III. Marco metodológico**

En este capítulo se describe la metodología que se aplicó en el proyecto de investigación, vinculada directamente con: los métodos, las técnicas y los procedimientos para lograr los resultados de los objetivos propuestos.

#### **i. Tipo de investigación**

La presente investigación tiene un enfoque cualitativo, que para Mata (2019) es la que “asume una realidad subjetiva, dinámica y compuesta por multiplicidad de contextos. El enfoque cualitativo de investigación privilegia el análisis profundo y reflexivo de los significados subjetivos e intersubjetivos que forman parte de las realidades estudiadas” (párr. 1.)

Así mismo su diseño es no experimental, según Hernández, Fernández y Baptista, (2010) es porque “se realiza sin manipular deliberadamente la variable, se basa en la observación del fenómeno tal y como ocurre, sin la intervención del investigador.” (p.184)

En este tipo de investigación no es posible influir en la o las variables, ya que las mismas ya sucedieron, de igual manera sus efectos. En este contexto, se tratan las dinámicas de uso de suelo y cobertura vegetal que se han producido entre los años 1989 y 2021.

Además, la investigación tiene un alcance descriptivo, en el cual según Hernández, Fernández y Baptista (2010), es donde, “únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refiere, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas” (p.92). La

finalidad de este es proporcionar resultados sobre la propuesta hecha dentro de los objetivos del proyecto de investigación.

Puntualmente, la investigación es un estudio de aspectos, donde se describe la metodología para la identificación de posibles zonas de humedal dentro de la Zona Marítimo Terrestre de la provincia de Guanacaste, en el cantón 02 Nicoya, distrito 05 Sámara sector de Cangrejal

## **ii. Participantes**

### **Población**

Según Hernández, Fernández, y Baptista, (2010) la población son los sujetos son quienes van a ser medidos: “es la población que se va a ser estudiada y sobre la cual se pretende generalizar los resultados” (p.210).

Para Gómez (1998), la población es:

Que todo estudio o investigación tiene como referencia un conjunto de unidades de estudio o elementos, que pueden ser personas, animales, empresas, organizaciones, objetos, etc. A este conjunto de unidades es a lo que se denomina población. La población es el total o agregado de las unidades de estudio. (p. 7)

Para este estudio la población es la zona delimitada como área de interés dentro de la Zona Marítimo Terrestre. La muestra, al ser una parte representativa de la población y, para fines de la presente investigación se ha optado por utilizar el muestreo no probabilístico por conveniencia. Siendo el muestreo para un área mayor a la de la zona de interés con el fin de analizar el contexto que hay en el lugar seleccionado.

### **iii. Instrumentos de recolección**

Para la recolección de información se utilizaron fuentes primarias y secundarias bibliográficas las cuales aportan y justifican los conceptos con relacionados con el tema de estudio, junto con el apoyo de: la técnica de observación, imágenes históricas y satelitales del país, además de una visita de campo a la zona de estudio, de donde se recolectaron muestras de suelo para su análisis.

En esta fase se procedió a la selección y descarga de las imágenes satelitales Landsat del portal web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) que contiene una variedad de bases de datos históricos y actuales de los diferentes satélites Landsat., que correspondieran a los años y la zona de estudio específico y conforme a diferentes parámetros enfocados en la calidad visual de cada una, es decir, que las condiciones climáticas y de nubosidad no afecten en la nitidez de la misma, el porcentaje de nubosidad seleccionado fue  $< 10\%$ .

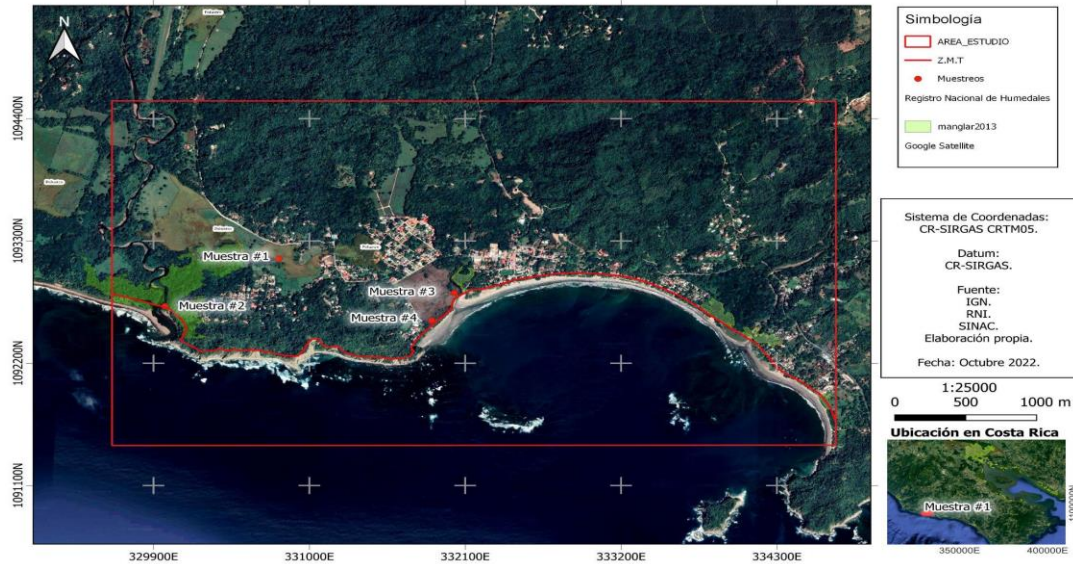
### **iv. Procedimientos para recolectar la información**

#### **1. Muestra de suelo**

Las muestras obtenidas se enfocaron se basa el suelo basado en su contenido de materia orgánica (M.O), se siguió un proceso sistemático para su recolección de acuerdo con la Guía para la Toma de Muestras de Suelo y Tejidos Foliare para el Diagnóstico de la Fertilidad del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), como base documental para la correcta toma de las muestras, se consideran insumos como el Registro Nacional de Humedales (RNH) para asociar las cuatro muestras recolectadas en campo en áreas testigos dentro del área de estudio ( Figura N°. 6).

Figura 6.

*Ubicación de toma de muestras de suelo dentro del área de estudio, escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento.*



Nota. Fuente: Google Earth Pro.

Cada muestra se tomó a una profundidad de 0.50m, estas muestras fueron tomadas en sectores consistentes con el RNH y áreas de análisis consistentes con zonas de humedal. Cada una fue almacenada en bolsas plásticas limpias y separadas con la finalidad de evitar la contaminación de cada muestra, se etiqueta cada bolsa con el número de muestra por sitio recolectado (Figura N°7).

Figura 7.

*Proceso de toma de muestras de suelo para análisis de materia orgánica sitio de “Muestra #1”, equipo utilizado barreno tipo Edelman.*



Nota. Fuente: Fotografía: Geol. Ivan Sanabria Coto MSc.

Cada muestra se tomó a una profundidad de 0.50m, estas muestras fueron tomadas en sectores consistentes con el RNH y áreas de análisis consistentes con zonas de humedal. Y se almacenaron en bolsas plásticas limpias y separadas con la finalidad de evitar la contaminación entre ellas, se etiquetaron con el número de muestra por sitio recolectado como se logra observar en la Figura N°8.

Figura 8.

*Proceso de toma de almacenamiento de muestras de suelo para análisis de materia orgánica sitio de “Muestra #3”, equipo utilizado bolsas plásticas para almacenamiento de muestras.*



Nota. Fuente: Fotografía: Geol. Ivan Sanabria Coto MSc.

Una vez recolectadas las muestras se generó un levantamiento de coordenadas con la ubicación de cada sitio de recolección de muestra y se envió todo el material recolectado al INTA, para el análisis de las mismas (Tabla N°5).

Tabla 5.

Tabla de coordenadas ubicación de sitios de tomas de muestra de suelo

<b>Tabla de coordenadas en toma de muestras del área de estudio.</b>		
MUESTRA	CRSIRGAS_N	CRSIRGAS_E
Muestra #1	1093141.803	330783.847
Muestra #2	1092832.888	332023.332
Muestra #3	1092713.339	329980.477
Muestra #4	1092586.139	331863.136

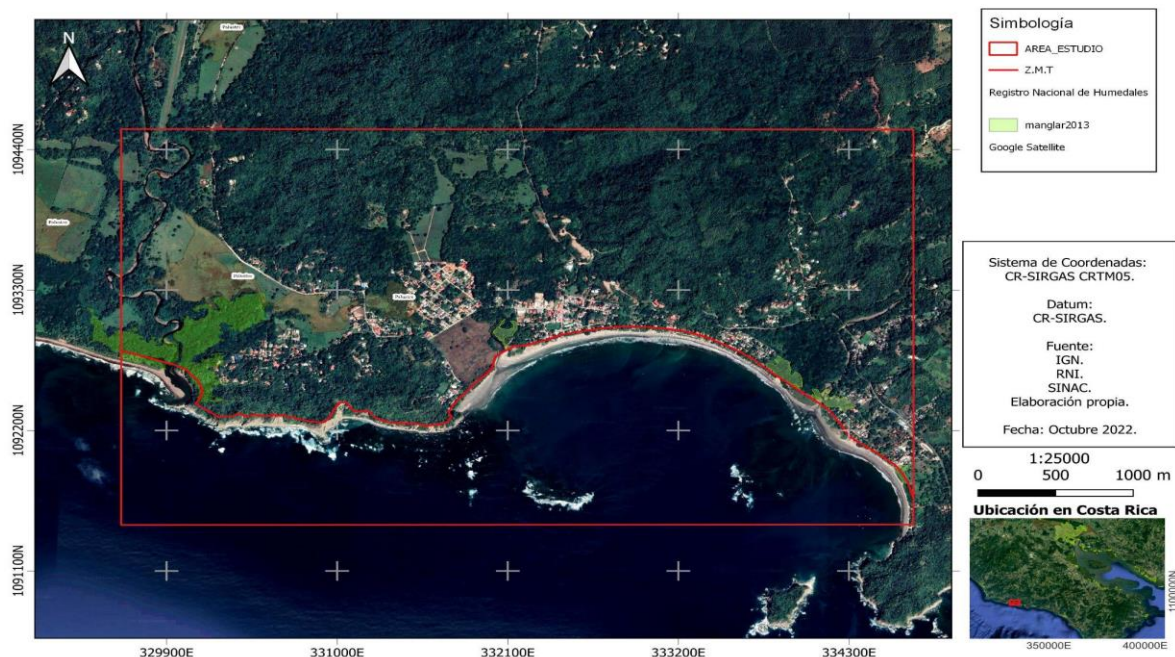
Nota: Fuente: Toma de datos con navegador manual. Tabla Elaboración propia.

## **2. Adquisición de imágenes históricas del Instituto Geográfico Nacional.**

Una vez que se definió el área de estudio según se muestra en la figura N°9, y mediante el oficio PPGeo-118-2022 remitido por M.Sc. Melvin Lizano Araya, Director del Programa de Estudios de Postgrado en Geografía del Departamento de Topografía y Observación del Territorio del IGN de Costa Rica se le solicitaron las fotografías históricas disponibles de esta área. (ver Anexo N°3)

Figura 9.

*Área de estudio de la investigación e identificación de ZH mediante el RNH, la escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento.*



Nota. Fuente: Google Earth Pro, SNIT y SINAC.

De manera formal se recibió respuesta del Departamento de Topografía y Observación del Territorio del IGN de Costa Rica mediante el oficio **DIG-TOT-0632-2022** (ver anexo N°4) mediante el cual se indica que las imágenes disponibles para el área de estudio del proyecto de investigación referido a la solicitud realizada fueron las siguientes (Tabla N°6).

Tabla 6

*Fotografías aéreas brindadas por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica.*

---

<b>Fotografías aéreas brindadas por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica.</b>
1. Proyecto Caw 1079, rollo 15, línea 11-100A, foto 166, escala 1:40000, fecha 29/12/1944.
2. Proyecto Caw M1080, rollo 23, línea 12-83, foto 23, escala 1:45000, fecha 02/01/1945.
3. Proyecto Nicoya, rollo 16, línea 5, foto 383, escala 1:20000, fecha 22/09/1971.
4. Proyecto Nosara, rollo 89, línea SN, foto 1338, escala 1:20000, fecha 11/12/1974.
5. Proyecto Playas Guanacaste, rollo 210, línea 2, foto 33470, escala 1:20000, fecha 06/02/1984.
6. Proyecto Playas Guanacaste, rollo 248, línea SN, foto 42978, escala 1:10000, fecha 30/11/1987.
7. Proyecto Playas Guanacaste, rollo 263, línea SN, foto 47490, escala 1:10000, fecha 13/11/1989.
8. Proyecto DRIP, rollo 287, línea 12, fotos 54179, 54180, escala 1:20000, fecha 20/01/1996.
9. Proyecto Terra, rollo 3, línea 33, foto 44, escala 1:40000, fecha 4/12/1997.

---

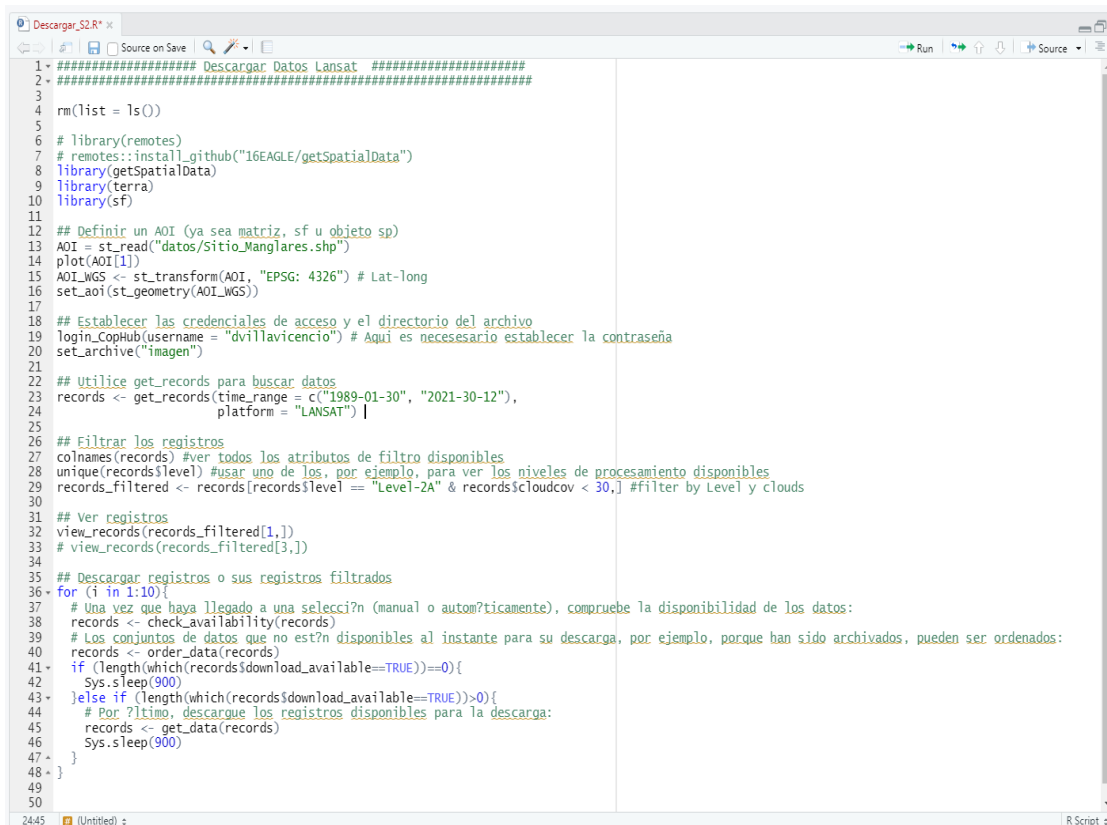
Nota. Fuente: Oficio DIG-TOT-0632-2022. Tabla Creación propia.

### **3. Adquisición de imágenes satelitales**

Para iniciar el análisis multitemporal fue necesario en primera instancia realizar la descarga, revisión y análisis de imágenes satelitales del sensor Landsat para el período contemplado entre 1989 y 2021, para ello se utilizó un script en el entorno de desarrollo del software R Studio, tal como se muestra en la figura N°10:

Figura 10.

*Recorte del entorno de desarrollo R Studio con el Script para la descarga de las imágenes satelitales.*



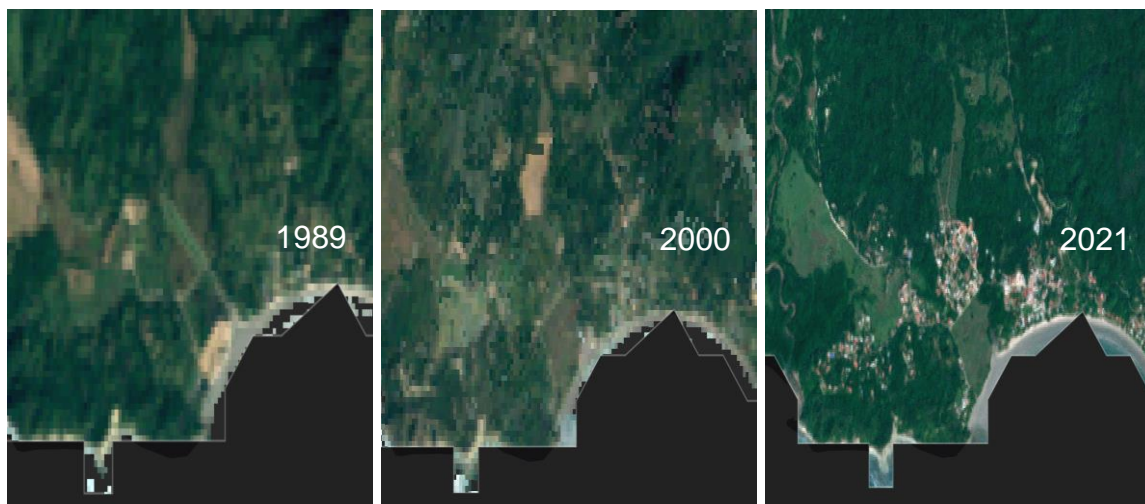
```
1 ##### Descargar Datos Lansat #####
2 #####
3
4 rm(list = ls())
5
6 # library(remotes)
7 # remotes::install_github("16EAGLE/getSpatialData")
8 library(getSpatialData)
9 library(terra)
10 library(sf)
11
12 ## Definir un AOI (ya sea matriz, sf u objeto sp)
13 AOI = st_read("datos/Sitio_Manglares.shp")
14 plot(AOI[1])
15 AOI_WGS <- st_transform(AOI, "EPSG: 4326") # Lat-long
16 set_aoi(st_geometry(AOI_WGS))
17
18 ## Establecer las credenciales de acceso y el directorio del archivo
19 login_CopHub(username = "dwillavicencio") # Aquí es necesario establecer la contraseña
20 set_archive("imagen")
21
22 ## Utilice get_records para buscar datos
23 records <- get_records(time_range = c("1989-01-30", "2021-30-12"),
24 platform = "LANSAT") |
25
26 ## Filtrar los registros
27 colnames(records) #ver todos los atributos de filtro disponibles
28 unique(records$level) #usar uno de los, por ejemplo, para ver los niveles de procesamiento disponibles
29 records_filtered <- records[records$level == "Level-2A" & records$cloudcov < 30,] #filter by Level y clouds
30
31 ## Ver registros
32 view_records(records_filtered[1,])
33 # view_records(records_filtered[3,])
34
35 ## Descargar registros o sus registros filtrados
36 for (i in 1:10){
37 # Una vez que haya llegado a una selección (manual o automáticamente), compruebe la disponibilidad de los datos:
38 records <- check_availability(records)
39 # Los conjuntos de datos que no están disponibles al instante para su descarga, por ejemplo, porque han sido archivados, pueden ser ordenados:
40 records <- order_data(records)
41 if (length(which(records$download_available==TRUE))==0){
42 Sys.sleep(900)
43 }else if (length(which(records$download_available==TRUE))>0){
44 # Por último, descargue los registros disponibles para la descarga:
45 records <- get_data(records)
46 Sys.sleep(900)
47 }
48 }
49
50
```

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La revisión y el análisis se basó principalmente en la obtención del al menos de una escena por año para el período establecido, lo cual permitirá hacer los cálculos posteriores, la siguiente figura se muestra un compilado de tres imágenes para 1989, 2000 y 2021 para la zona de estudio, donde se refleja el tipo de insumo necesario para el correcto desarrollo del proceso (Figura N°11).

Figura 11.

*Ejemplos de imágenes satelitales del sensor Landsat para diferentes períodos de análisis.*



Nota: Fuente: USGS.

#### **4. Procesamiento de la información**

##### **a. Muestra de suelo**

Las cuatro muestras de suelo obtenidas en los sitios asociados a las áreas de humedal correspondientes con áreas del RNH y que son vinculantes con el área de estudio, fueron procesadas en el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA).

Se solicitó al INTA realizar un análisis de suelos para Materia Orgánica, el método utilizado por ellos se llama Walkley-Black, para determinar la cantidad de materia orgánica presente en el suelo.

El principio que desarrolla este método indica: la materia orgánica del suelo se calcula indirectamente determinando el carbón orgánico. El carbón orgánico se oxida por

medio del Ion dicromato que se reduce. Esta reacción se lleva a cabo con la ayuda del calor producido por la adición de ácido sulfúrico. (García y Ballesteros, 2005, párr. 15).

La reacción es la siguiente:



- El carbono pasa de C° a C +4
- El cromo pasa de Cr+6 a Cr+3

Luego por medio de una titulación con sal de Morh, se cuantifica la cantidad de Ion dicromato que no se redujo y por diferencia se sabe la cantidad que reaccionó y por lo tanto el contenido de carbón orgánico. (INTA 2019, p.28)


- Materiales y Equipo
- Bureta de 50mL o titulador automático
- Erlenmeyer de 100mL
- Balón de 100ml
- Gotero
- Frascos ámbar
- Probeta de 50mL
- Pipetas de 10 y 2 mL
- Balanza analítica
- Espátula acanalada
- Balón de 1L (INTA 2019, p28)

## Reactivos

- Dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ )
- Sulfato amónico ferroso hexahidratado ( $FeNH_4SO_4 \cdot 6H_2O$ ), Sal de Morh
- Di fenilamina
- Ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ )
- Ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ )
- Agua destilada ( $H_2O$ ) (INTA 2019, p28)

### **b. Procesamiento y Fotointerpretación de fotografías aéreas históricas del IGN**

A continuación, para desarrollar la línea multitemporal por medio de las fotografías aéreas históricas se utilizó la herramienta “Georrefercer” que permite el proceso de georreferenciación de imágenes en el software QGIS versión 3.26.2-Buenos Aires utilizada para todos los procesos del proyecto de investigación.

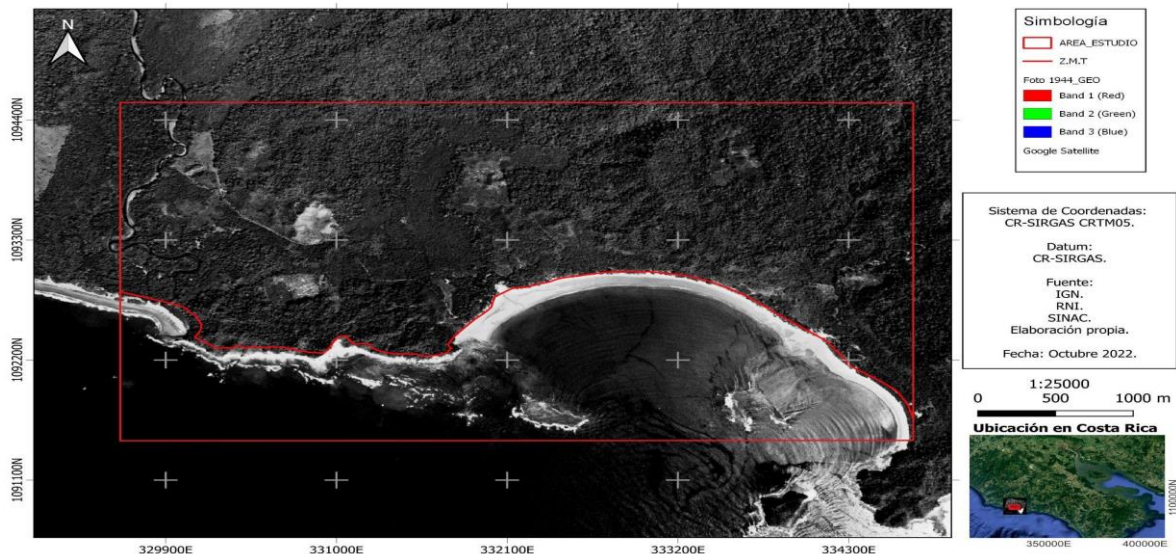
Esta herramienta se ubica en la pestaña “Layers” se muestra con el icono  cuando se accede a este se despliega la interfaz de trabajo inicial donde se procede a cargar la imagen en este caso la imagen de 1944 Proyecto Caw 1079, foto 166. Para desarrollar este proceso de georreferenciación se cuenta con la hoja cartográfica 3045-I GARZA escala 1:50000 del IGN de Costa Rica, este insumo permitirá realizar la georreferenciación requerida de la fotografía histórica mediante la identificación de accidentes geomorfológicos u objetos en común marcándolos como puntos de control sobre el terreno (PCT), una vez definidos los PCT se realiza un ajuste manual de estos para alcanzar los

valores más próximos a 0 y considerando visualmente que la imagen corresponda con una correcta ubicación geográfica correspondiente al área de estudio.

Como parte del proceso descrito se configuraron los parámetros de transformación que adicionalmente colaboraron al proceso de georreferenciación, por consiguiente, se configuró la Transformación de Helmert aplicando además el método de remuestreo definido como “el vecino más cercano” con el sistema de coordenadas CR-SIRGAS y su correspondiente código EPSG 8908 así definido para todos los productos del proyecto de investigación. (Fig. N°12)

Figura 12.

*Mapa de georreferenciación de fotografía aérea del proyecto CAW año 1944 dentro del área de estudio. La escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento*



Nota. Fuente: Fotografías históricas IGN de Costa Rica.

Una vez que se realizó el proceso de georreferenciación de las nueve fotografías aéreas que suministró el IGN de Costa Rica, se procedió a cargar cada imagen georreferenciada al proyecto desarrollado en el software QGIS versión 3.26.2-Buenos Aires.

Seguidamente, se aplicaron los conceptos del Manual para la interpretación de imágenes de sensores remotos de las principales coberturas y usos de la tierra de Costa Rica definidos por Rosales (2013) como: forma, textura y patrón.

Aplicando los criterios considerados de textura, forma y patrón, al realizar el proceso foto interpretativo de las fotografías aéreas, se definen dentro del área de estudio dos tipos de humedales identificados con el RNH correspondientes a: Humedal palustrino y Humedal Estuarino.

Del proceso de análisis de la línea temporal de las fotografías aéreas, desarrollada mediante el software QGIS, se determinaron cuáles fueron los cambios detectados mediante estos criterios sobre la cobertura vegetal y uso de suelo dentro del área de estudio.

Para el análisis histórico temporal de estas imágenes, para este proyecto de investigación se utilizó la imagen del proyecto CAW 1079, rollo 15, línea 11-100A, foto 166, escala 1:40000, del año 1944, como punto de partida base, para establecer los criterios fotointerpretativos dentro del área de estudio en comparación con la fotografía aérea del proyecto Terra, rollo 3, línea 33, foto 44, escala 1:40000, del año 1997; Que desde la perspectiva visual este insumo permitió realizar el análisis de la línea temporal desde el año 1944 al año 1997 y valorar las condiciones previas del área de estudio en general lo cual ha sido cotejado con los resultados obtenidos mediante el análisis multitemporal de las imágenes satelitales obtenidas hasta el año 2021.

### c. Procesamiento de imágenes satelitales

Una vez seleccionadas las imágenes a utilizar, se extrajo el área de interés para cada una de las escenas, con el objetivo de realizar solo los posteriores cálculos para un área en específico, esta nueva área se definió como área de análisis, tal y como se muestra en la Figura N°15. Para esta área se estableció una zona de amortiguamiento de 1000 metros, excluyendo la zona de playa, arenales y agua, ya que estas zonas no eran de interés para el análisis. (Figura.N°13).

Figura 13.

*Delimitación del área de análisis para el cálculo del NDVI.*



Nota. Fuente: Ortofoto IGN 2014.

Posteriormente para iniciar con el procesamiento de imágenes satelitales se efectuó un corte de las imágenes satelitales seleccionadas, conforme el borde del área de análisis, el

corte de las imágenes se realiza de manera automatizada dentro del entorno de R Studio, la delimitación permite que los posteriores análisis y los valores encontrados sean más específicos al concentrarse los datos, y evitando encontrar valores extremos.

Este procedimiento se realizó mediante el uso de las siguientes líneas de código, mostradas en la Figura N°14, e integrado en un bucle, el cuál es una secuencia de instrucciones que se ejecuta repetidas veces hasta que la condición deje de cumplirse, en este caso es cuando la totalidad del proceso haya sido completado.

Figura 14.

*Líneas de comando para el recorte de imagen satelital en el entorno de desarrollo R Studio.*

```
# Abrir la imagen de LANSAT
img.S2 = rast(str_glue("imagen/", "LT04_L1TP_016053_19890112_20170204_01_T1_Stack.tif"))
plotRGB(img.S2,r=7,g=3,b=2,stretch ="lin")

##### Recorte las imagen según el sitio de estudio #####

# Abrir el sitio de estudio (.shp)
AOI = st_read(str_glue("datos/", "area_analisis.shp"))
AOI_UTM <- st_transform(AOI, crs(img.S2))
plot(AOI_UTM, add=T)

# Recorte la imagen según el sitio de piloto (.shp)
img.S2.crop <- crop(img.S2, AOI_UTM)
AOI_UTM.vec <- vect(AOI_UTM)

# Ocultar la imagen según el sitio de piloto (.shp)
img.S2.crop.mask <- mask(img.S2.crop, AOI_UTM.vec)

plotRGB(img.S2.crop.mask,r=7,g=3,b=2,stretch ="lin")
writeRaster(img.S2.crop.mask, str_glue("imagen/", "LT04_L1TP_016053_19890112_20170204_01_T1_Stack"), overwrite=TRUE)
```

Fuente: Elaboración propia.

La Figura N°15 muestra el recorte efectuado para cada una de las imágenes, cabe resaltar que dicho recorte se realizó para las bandas 3 y 4 para las imágenes provenientes de los sensores Landsat 4-7 y para las bandas 4 y 5, para los sensores 8-9, estas bandas, son las utilizadas en el cálculo de índices de vegetación, de acuerdo con la fuente.

Figura 15.

*Recorte de imagen satelital para el cálculo del NDVI. la escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento*



Nota. Fuente: USGS.

#### d. Post - procesamiento de imágenes satelitales

Una vez realizado el recorte de la zona de interés para cada banda necesaria en los cálculos, se procedió a realizar el cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizado (NDVI), en donde la fórmula se utilizó la siguiente fórmula:

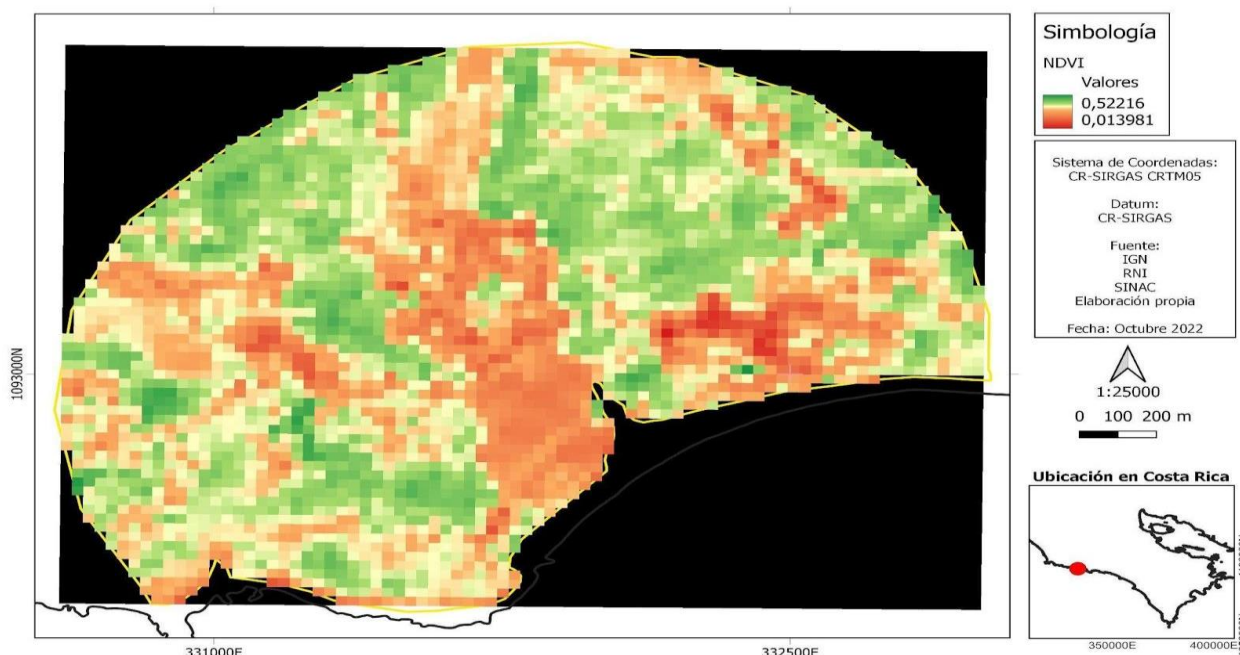
$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

Donde: NIR y R corresponden a la reflectancia en el infrarrojo cercano y la banda roja del espectro respectivamente, además para Landsat 4-7,  $NDVI = (Band\ 4 - Band\ 3) / (Band\ 4 + Band\ 3)$ , y para Landsat 8-9,  $NDVI = (Band\ 5 - Band\ 4) / (Band\ 5 + Band\ 4)$ .

La Figura N16, muestra el cálculo del NDVI, el que posteriormente fue reclasificado en al menos cuatro clases para un mejor entendimiento, del mismo.

Figura 16.

*Cálculo del NDVI para una imagen del sensor Landsat 8 para el año 2021*



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Para la interpretación del NDVI se tomó en consideración lo establecido por el Sistema de Observaciones de la Tierra, para el año 2019, en donde se determina que los valores de NDVI próximos a 0,1 revelan zonas desérticas con poca vegetación, suelos

desnudos, así como infraestructura, mientras que, los valores próximos a 0,9 indican zonas con gran densidad de vegetación, así se indica:

- 0,1 - 0,2: planta muerta, objeto inanimado, suelo desnudo
- 0,2 - 0,33: planta enferma
- 0,33 - 0,66: planta medianamente sana
- 0,66 - 1: planta muy sana

Cabe señalar que los valores negativos determinan entornos naturales acuáticos, estos pueden ser masas de agua como: zonas encharcadas, lagos y áreas con superficies de agua son reconocidos bajo este intervalo negativo. Valores positivos cercanos a cero identifican áreas desnudas de vegetación.

Además a medida que el NDVI alcanza valores positivos más cercanos a 1, la densidad de la vegetación será mayor y se podrá identificar masas boscosas o cultivos en crecimiento, para el caso en específico del proyecto, se buscó identificar los casos en los que el NDVI presentaron un cambio abrupto en su valor, es decir una variación entre un año y otro fue interpretado como un cambio, para ello se realizó una reclasificación de los umbrales establecidos para el NDVI, estableciendo tres clases en específico, tal y como se muestra en la Tabla N° 7

Tabla 7

*Reclasificación de los umbrales del NDVI.*

<b>Valores de NDVI</b>	<b>Nueva Clase</b>	<b>Principal característica</b>
0,01 - 0,33	1	Suelo desnudo-Vegetación con problemas
0,331 - 0,66	2	Vegetación Sana
0,661 - 1	3	Vegetación muy sana y Robusta

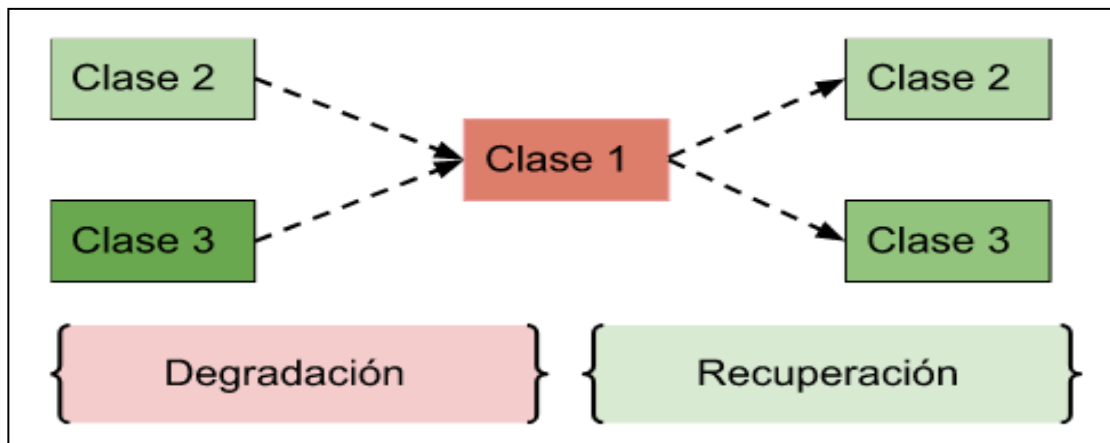
Nota. Fuente: Sistema de Observaciones de la Tierra, 2019.

#### **e. Análisis multitemporal**

Tomando en consideración las nuevas clases establecidas en el punto anterior, el análisis multitemporal se basó en la comparación mediante álgebra de mapas de los NDVI de cada uno de los años, tomando como año base 1989, hasta llegar al 2021, este análisis se realizó además mediante la comparación de los valores de diferentes puntos establecidos en campo, y para los cuales existe evidencia fotográfica y muestras de suelo. La figura N°17 establece las transiciones o los cambios que se buscaba obtener del análisis multitemporal, en donde cambios de la clase 2 y 3 hacia la clase 1, representa un cambio en el uso y cobertura de la zona analizada, mientras que en caso contrario se infería un cambio en el ecosistema hacia una recuperación, lo anterior se realiza por medio de algoritmos mostrados en el anexo N°5.

Figura 17.

*Transiciones analizadas en el análisis multitemporal.*



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Para establecer los cambios dentro del área de análisis y área de estudio se establecieron puntos en áreas de importancia, para de determinar de manera gráfica los cambios en el tiempo, estos puntos son consecuentes con los puntos en los que se tomó las muestras de suelo, tomando en consideración que los puntos seleccionados se encuentran en área de manglar como punto testigo, área con gramíneas, y dos puntos dentro del área de estudio, donde se pretendió detectar el cambio.

## **Capítulo IV. Resultados**

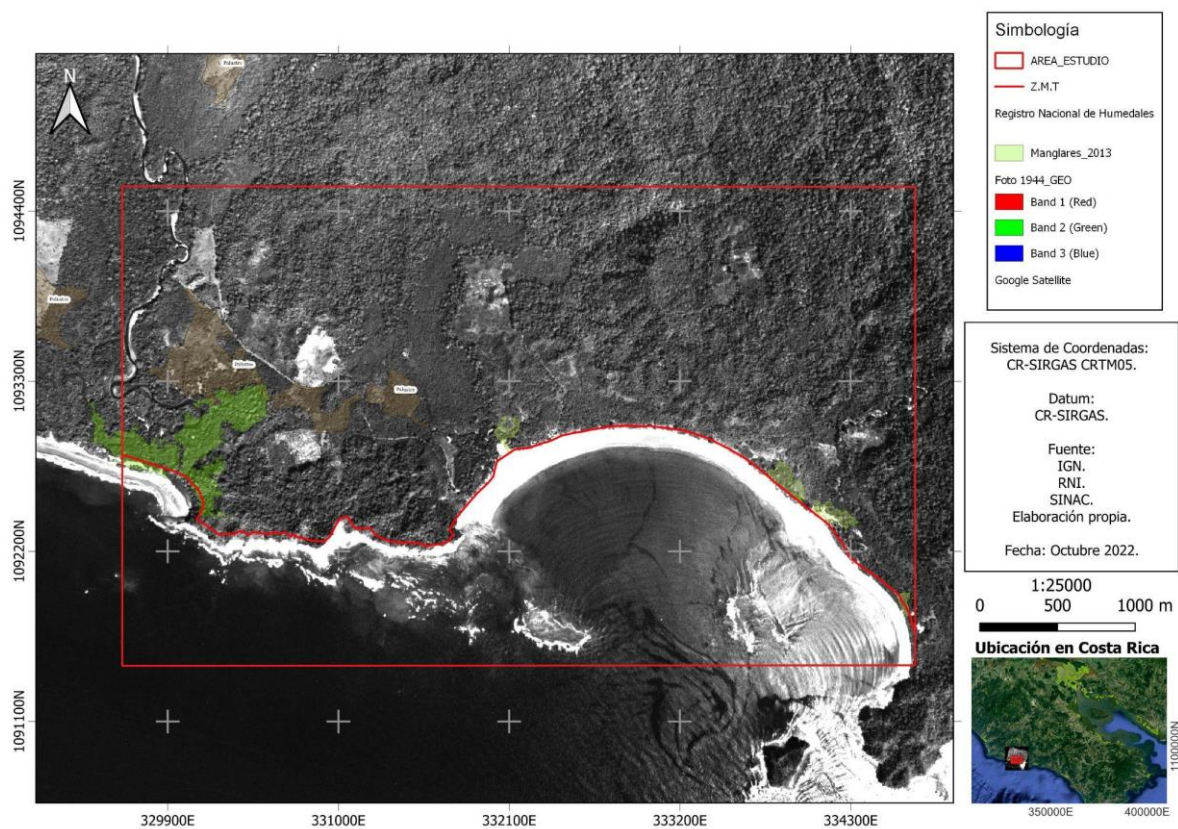
### **Resultados fotointerpretativos obtenidos de las fotografías aéreas históricas**

Como resultado del análisis de la fotografía aérea del año 1944 como punto de partida de este proceso de fotointerpretación, bajo el criterio de la forma se lograron visualizar las áreas o conglomerados arbóreos o flora autóctona de la zona de formas irregular las cuales se ha desarrollado a lo largo y ancho tanto de la zona costera como a ambos márgenes de los ríos que desembocan dentro del área de estudio.

Además, la escala de la fotografía permitió definir una textura media o gruesa congruente con la flora desarrollado en el área de estudios donde los trazos de estuario son plenamente evidentes, de igual manera este proceso permitió designar un patrón de estas áreas de humedal asociado a formaciones meándricas y propias a la cercanía de zonas costeras. Dichas condiciones de los criterios definidos por Rosales (2013) permanecen en la zona de estudio y se logran detectar cambios de cobertura y uso de suelo que serán descritos a continuación en la Figura N°18.

Figura 18.

*Mapa de fotografía aérea del proyecto CAW año 1944 dentro del área de estudio e identificación de humedales según RNH. La escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento.*

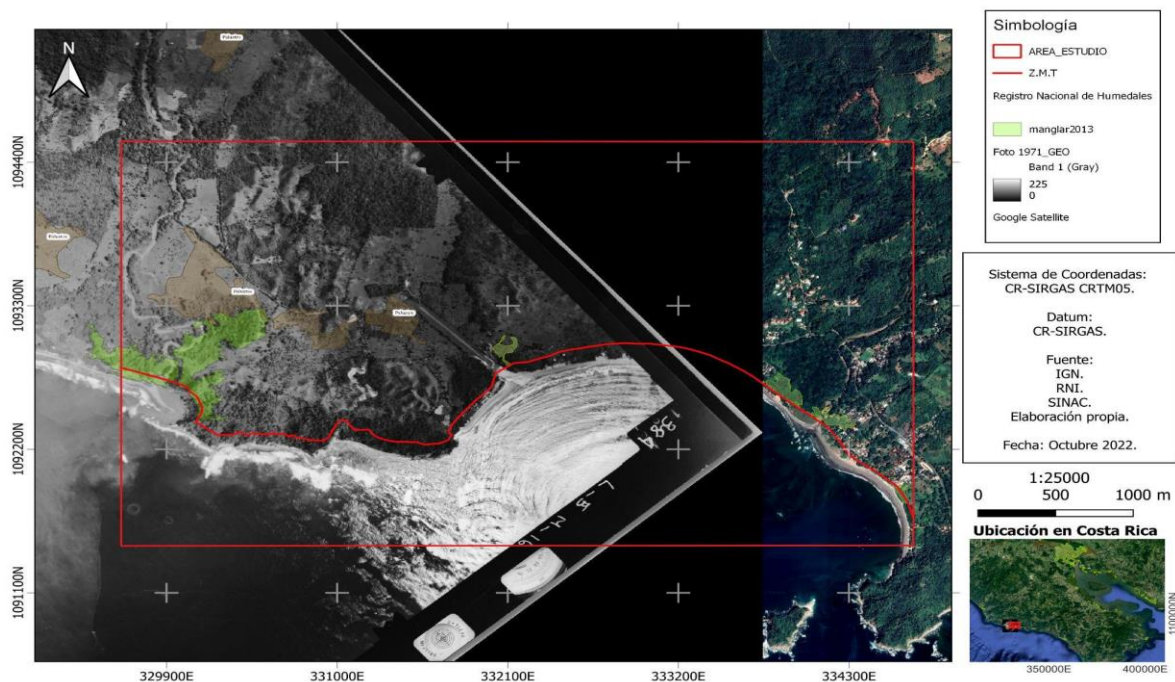


Fuente: Fotografías históricas IGN de Costa Rica.

El primer cambio analizado reconocido en el área de estudio y que presenta afectación hacia el entorno analizado se da en la fotografía aérea del año 1971, donde es muy visible la aparición de una pista de aterrizaje, transformando sistemáticamente el entorno natural del sector como se muestra en la figura N°19:

Figura 19.

*Mapa del primer cambio detectado con la fotografía aérea del proyecto Nicoya año 1971 dentro del área de estudio e identificación de humedales según RNH. La escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento*

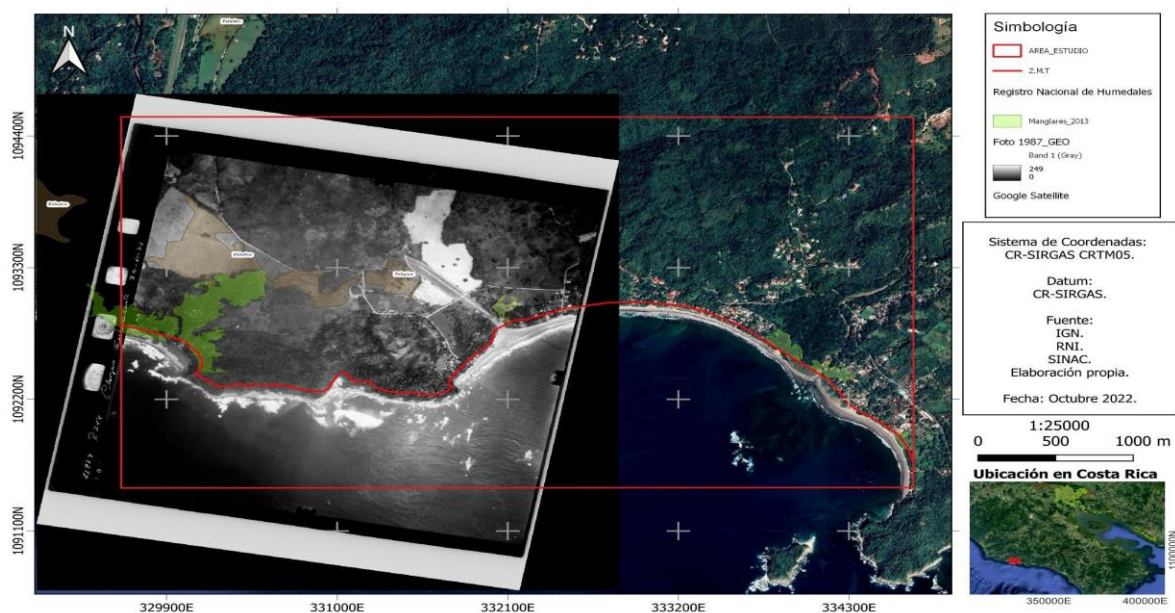


Nota. Fuente: Fotografías históricas IGN de Costa Rica.

Para el año 1987 mediante la fotografía aérea del proyecto Playas Guanacaste se logra definir la creación de caminos radiados desde la pista de aterrizaje y una mayor presencia de desarrollo urbano con una mayor presencia de casas de habitación, sin aumentar la afectación dentro del área de estudio como se logra determinar en la Figura N°20:

Figura 20.

*Mapa con la fotografía aérea del proyecto Playas Guanacaste año 1971 dentro del área de estudio e identificación de humedales según el Registro Nacional de Humedales. La escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento*

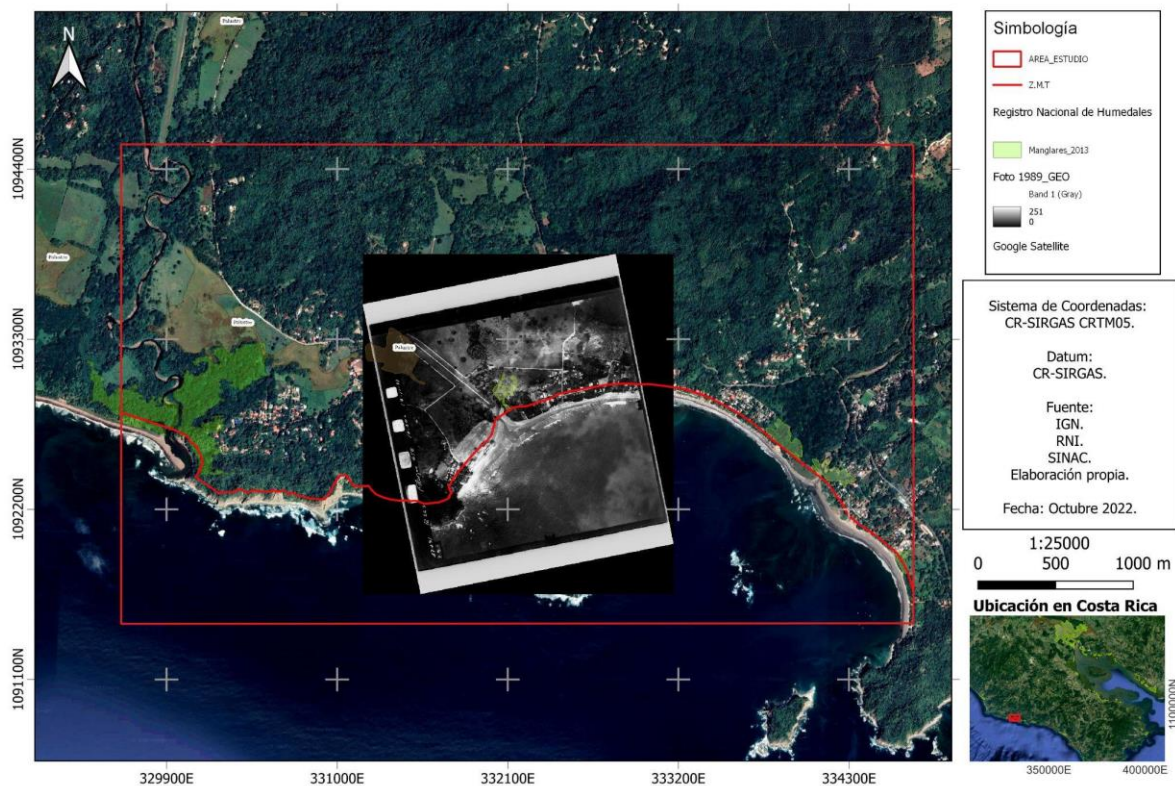


Nota. Fuente: Fotografías históricas IGN de Costa Rica.

Con la Fotografía aérea del proyecto Playas Guanacaste del año 1989 permitió visualizar una transformación dentro del entorno del área de estudio, el cual se logra definir bajo los criterios de forma, textura y patrón que se mantenían desde la fotografía aérea del año 1944 y que se puede valorar como el segundo cambio al entorno posterior a la creación de la pista de aterrizaje, se muestra dicho cambio mediante la Figura N°21:

Figura 21.

Mapa con la fotografía aérea del proyecto Playas Guanacaste año 1989 dentro del área de estudio e identificación de humedales según RNH. La escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento.

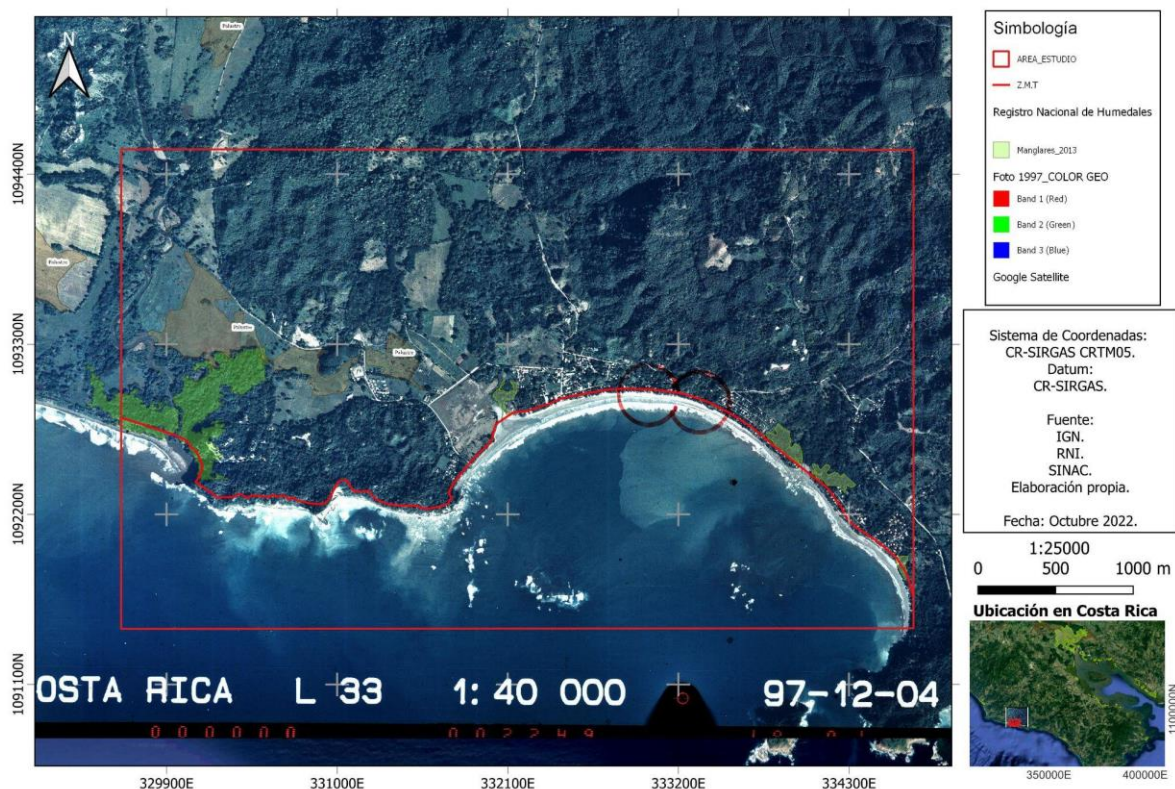


Nota. Fuente: Fotografías históricas IGN de Costa Rica.

Para el año 1997 se logró determinar el cambio definitivo sobre el área por cuanto, a uso de suelo y cobertura vegetal ya detectado con anterioridad, se observa que la pista de aterrizaje pierde su condición y no es más utilizada para dichos fines, se logra determinar que es seccionada en cuadrantes parcelarios, como se muestra en la Figura N°22:

Figura 22.

Mapa con la fotografía aérea del proyecto Terra año 1997 dentro del área de estudio e identificación de humedales según RNH. La escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento.



Nota. Fuente: Fotografías históricas IGN de Costa Rica.




### Resultados de los muestreos de suelos

Los resultados obtenidos del contenido de materia orgánica (M.O.) se presentan en la Figura N°23, en donde el análisis basado en el método de Walkley y Black, combustión húmeda con dicromato de potasio, este análisis fue realizado por el INTA, y para el cuál se obtiene que la muestra 3 es la que contiene mayor porcentaje de M.O. esta muestra se encuentra en un área con influencia de cobertura forestal presente al momento de la toma

de la muestra, mientras que la muestra #4, es la que presenta el menor valor de materia orgánica, lo cual se encuentra dentro de lo esperado debido a que es una zona que se encuentra desprovista de cobertura vegetal, por lo que era de esperar que sus contenidos fuesen bajos. Para realizar una buena referencia de los resultados obtenidos de M.O por cuanto a ubicación de la toma de muestras se debe referir a la Tabla N°5 denominada: Tabla de coordenadas ubicación de sitios de tomas de muestra de suelo.

Figura 23.

*Valores de materia orgánica en % para las muestras de suelo del área de estudio resultados de análisis de materia orgánica contratados al INTA.*

 <b>RESULTADO DE MATERIA ORGANICA</b> <b>INFORME DE ANÁLISIS DE SUELOS</b>			
Código: IACS-01, Versión 01-17 Pág. 1 de 1		 <small>COSTA RICA GOBIERNO DEL GOBIERNO</small>	
		<b>COMPLEJO LABORATORIAL DEL INTA</b> San Rafael de La Unión, Cartago Tel. 2278-0514 Correo Electrónico: labsuelos@inta.go.cr	
<b>Fecha:</b>	21 de marzo de 2019	<b>Cliente:</b>	Carlos Gómez Salazar
<b>Finca:</b>		<b>Cultivo:</b>	
<b>Provincia:</b>	CARTAGO	<b>Cantón:</b>	CENTRAL
<b>Coordenadas:</b>		<b>Norte:</b>	
<b>Nº Lab.</b>	<b>Identificación de campo</b>		%
			<b>M.O</b>
S- 4422	MUESTRA # 1		4.09
S- 4423	MUESTRA # 2		3.10
S- 4424	MUESTRA # 3		9.03
S- 4425	MUESTRA # 4		1.68
<hr/> Ing. Marco Vinicio Corrales Soto COORDINADOR DE LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS			

Nota. Fuente: Informe INTA: S- 4422 S- 4425.

## **Resultados del análisis multitemporal y su relación con los análisis de materia orgánica en los suelos muestreados**

El análisis multitemporal demostró para el área de estudio, los valores del NDVI se encontraron desde los 0,01 hasta 0,57, fluctuando a lo largo de la serie, según el lugar donde fue tomada la muestra.

La zona en donde se tomó la muestra de suelo #2 definida como un área donde el manglar continúa presente, se encontraron los mayores valores de dicho índice, estando dentro de los valores esperados, ya que a lo largo del período se mantuvo oscilando entre valores de 0,50 para los años 2000, y 2009, en donde fueron los valores más bajos, mientras que para los años 2004, 2012 y 2014, se presentaron los valores más altos de 0,57 como se mencionó anteriormente.

Este rango de valores y la estabilidad del NDVI a lo largo de la serie demuestra que ha sido una zona que no ha presentado cambios y las fluctuaciones son típicas de procesos ecológicos del ecosistema.

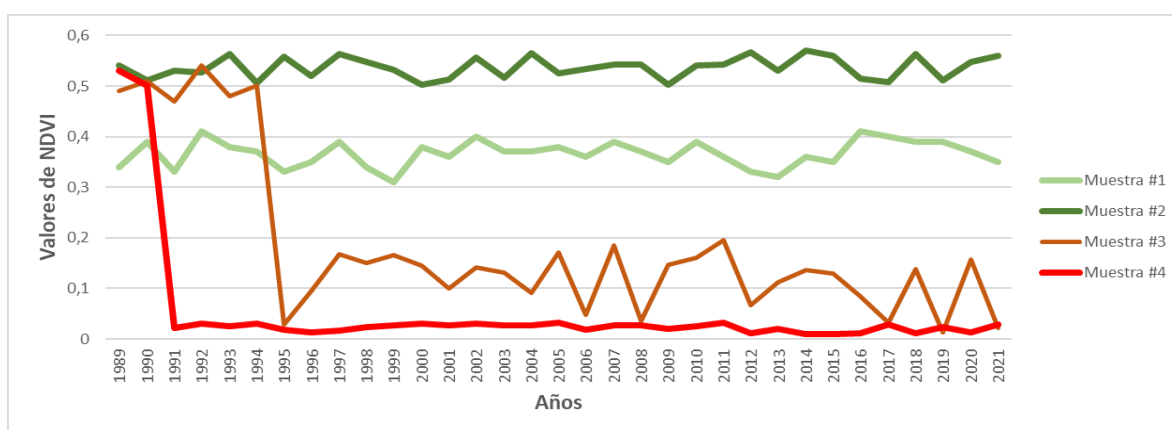
Respecto a lo anterior para la muestra de suelo # 1, la cual fue tomada en una zona de humedal en el que predominan las gramíneas, el análisis de la serie multitemporal muestra que para esta zona los valores fluctuaron entre 0,31 y 0,41, el valor mínimo para esta muestra fue alcanzado en 1999 donde el índice de vegetación fue de 0,31, mientras que en 1992 y 2016 fueron los años en los que se registraron el mayor índice de vegetación con 0,41.

Los datos anteriores reflejan que para esta zona el índice se mantiene constante a lo largo de la serie con un índice menor al de la muestra # 2 debido a las diferencias en las coberturas y usos presentes para cada una de ellas, al igual que el caso anterior se puede afirmar que los valores de NDVI se mantienen constantes durante todo el período, por lo

que hace inferir qué es una zona que no ha presentado cambios significativos en su uso y cobertura. Lo anterior se muestra en el siguiente gráfico, donde se observa el análisis multitemporal para todos los puntos donde se recolectaron muestras de suelos. (Gráfico N°1)

Gráfico 1

*Análisis multitemporal basado en el NDVI para cuatro diferentes sitios.*



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado el gráfico anterior muestra también los resultados encontrados para la muestra # 3 y muestra #4, donde se visualizan valores mucho menores a las dos muestras anteriores, para el caso de la muestra # 3 el gráfico presentó los mayores valores en el período comprendido entre 1989 y 1995, logrando valores de hasta 0,54; luego de 1995, el valor del NDVI baja hasta 0,01 y se mantiene oscilando entre 0,01 y 0,20, el resto del período, esta disminución o este cambio abrupto en los valores NDVI hacen inferir que en la zona donde se tomó la muestra sufrió un cambio en la cobertura de la vegetación presente; es decir pasó según los valores de tener una vegetación sana muy sana y robusta a una cobertura con escasa vegetación o bien con suelo desnudo.

Caso muy similar es el presentado por la muestra número 4 dónde en los primeros años del análisis multitemporal 1989 y 1990 presenta los valores más altos valores característicos de una vegetación sana muy sana y para 1991 se da una disminución abrupta en el valor del NDVI, Luego de 1991 los valores se mantienen constantes entre 0,01 y 0,03 Lo que evidencia nuevamente es un cambio significativo en la cobertura vegetal del lugar donde se tomó la muestra, pasando de tener cobertura vegetal a prácticamente suelo desnudo, según el valor indicado por el índice de vegetación.

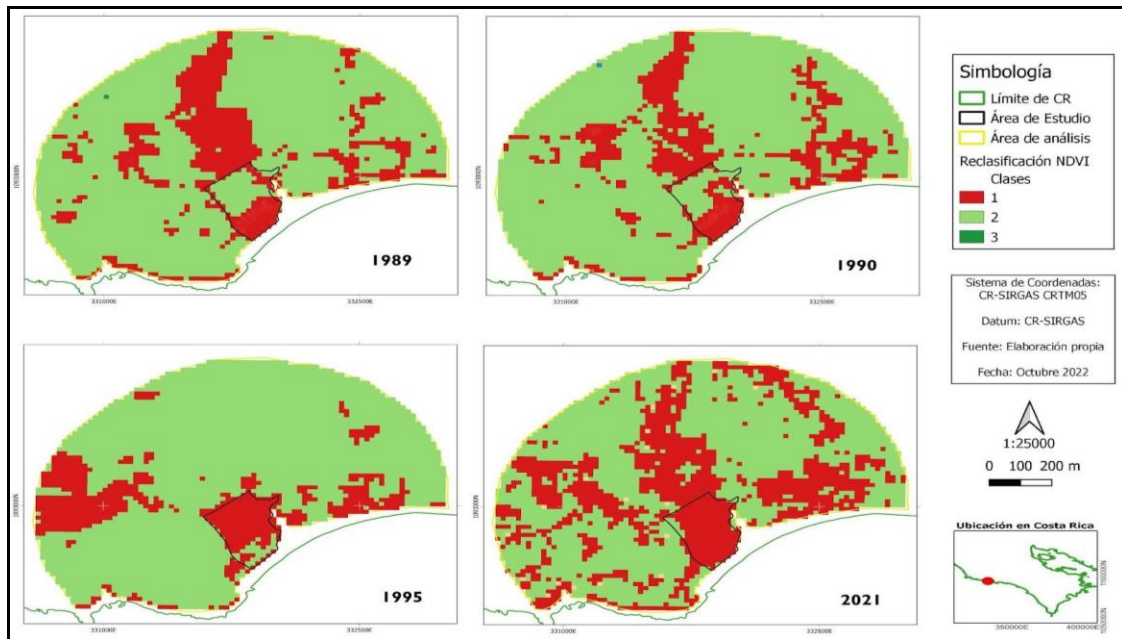
Los resultados obtenidos y las inferencias señaladas se pueden confirmar resultados similares de acuerdo, al análisis multitemporal que realiza García (2021) sobre la dinámica de uso suelo y la cobertura vegetal en la microcuenca del río Illangama, en Ecuador. En ese estudio la autora no solo realiza un análisis del NDVI sino también que hace una correlación entre este índice y mapas de uso y cobertura, con respecto a ello Los resultados obtenidos afirman que cuando se produce un cambio abrupto en el índice de vegetación es porque se ha realizado un cambio en el uso y la cobertura.

En el caso de Costa Rica y específicamente para el área de estudio se afirma que existió cambios como los señalados anteriormente, según los resultados obtenidos, se evidencia la eliminación de una cobertura vegetal en este caso humedal-manglar.

Además, la metodología propuesta permite además identificar las áreas de cambio y no solamente valores para zonas puntuales, donde estas áreas de cambio se pueden observar en la figura N°24, en la cual se muestra también la transición a cada una de las diferentes clases según el valor de NDVI, estableciendo así áreas de recuperación y áreas de degradación.

Figura 24.

*Transiciones en el área de estudio del análisis multitemporal. La escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento.*



Nota. Fuente: Elaboración propia.

La figura anterior muestra las transiciones para cada una de las clases en los años de 1989, año base, 1990, 1995 y 2021, Estos años son los señalados por el algoritmo ejecutado en el ambiente de programación R Studio como los años en los que se presentó y se detectó un cambio significativo, es decir un cambio en el uso y la cobertura de un área determinada.

Los resultados muestran que solo existen dos clases de las identificadas en el apartado metodológico para el NDVI, siendo la clase 1 y la clase 2 las únicas presentes, en el análisis, la clase 3 se descarta debido a que el NDVI no logra alcanzar los valores estipulados para dicha clase.

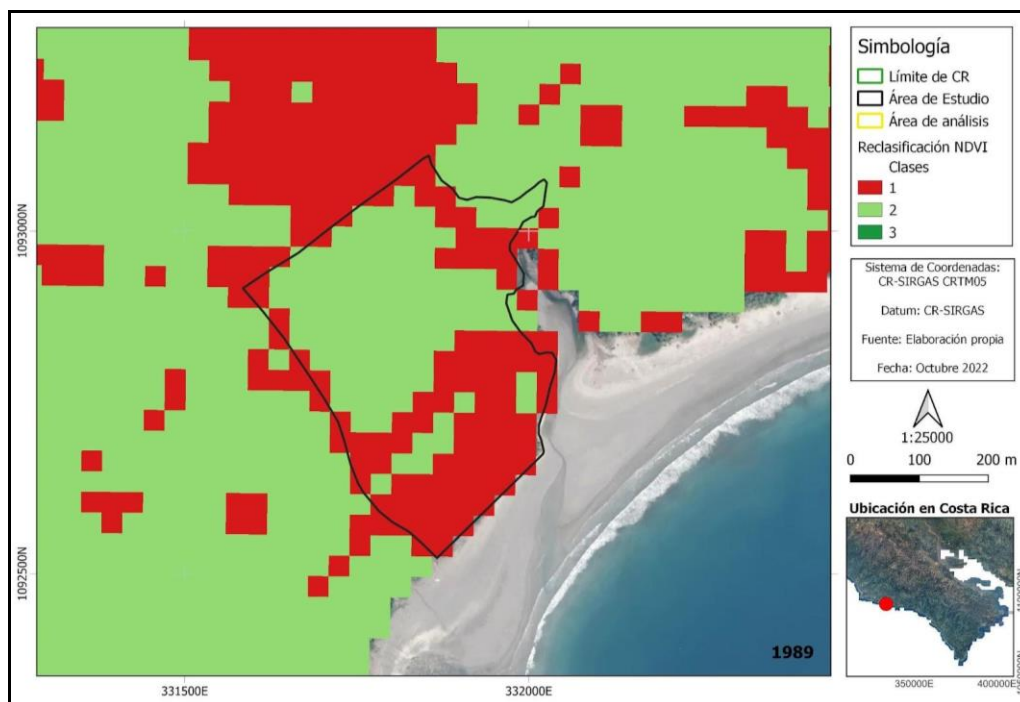
Por otra parte, los resultados presentan para el área de análisis del estudio multitemporal, que la transición más recurrente es la transición de la clase 2 a la clase 1, es decir una degradación del ecosistema presente basado en el índice de vegetación, este tipo de transiciones van de pasar de una cobertura vegetal sana a una cobertura vegetal enferma o un área desprovista de cualquier tipo de vegetación.

Un caso muy particular es el encontrado en el análisis de 1995, en donde los resultados reflejan la identificación de áreas de degradación, así como áreas de recuperación sin embargo, Estas áreas de recuperación no son constantes en lo que resta del período analizado, por lo que es importante detallar y analizar en profundidad los resultados obtenidos para este año en específico, tomando en cuenta todo lo afirmado en las limitaciones del proyecto, y que pueden generar un valor como el presentado para ese año.

Por lo tanto, la detección y delimitación de áreas de cambio para zonas de humedal se evidencia a partir de la figura # 25, la cual muestra los resultados obtenidos para el año de 1989, año que se establece como base para el análisis multitemporal, a partir de este año se identifica un área menor o sector específico de interés (dentro del área de estudio local), la cual presenta la mayor cantidad de transiciones durante el período analizado, la figura muestra un área en la cual predomina la clase 2, o clase con una vegetación sana a muy sana y robusta, acompañada de la clase 1, la cual representa áreas de vegetación enferma o suelo desnudo, esto quiere decir que ya para 1989 el área había sufrido cambios significativos en su uso y cobertura que se reflejan en los diferentes valores de índice de vegetación, de ahí la importancia de los resultados reflejados en el proceso de fotointerpretación, que vienen a fortalecer los procesos automatizados de detección de cambios. (Figura N°25)

Figura 25.

*Transiciones en el área de estudio del análisis multitemporal para el año 1989. La escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento.*

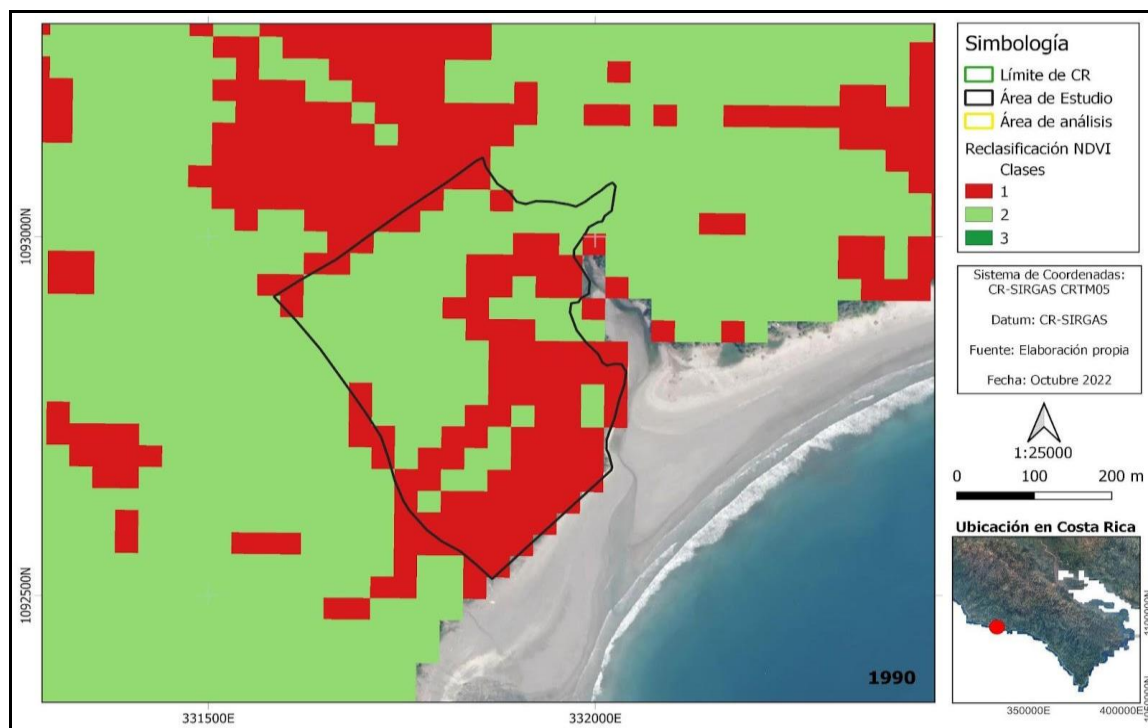


Nota. Fuente: Ortofoto 2017-2014 SNIT.

El siguiente año analizado es el año 1990 año en el que se detectó un nuevo cambio, para este año se evidencia una transición nuevamente de la clase 2 hacia la clase 1, transición establecida como degradación, en el área se observa como la clase 1 empieza a ser más predominante sobre la clase 2, esto refleja cómo se empieza nuevamente eliminar la cobertura vegetal presente en la zona, lo anterior se ve reflejado en la Figura N°26.

Figura 26.

*Transiciones en el área de estudio del análisis multitemporal para el año 1990. La escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento.*

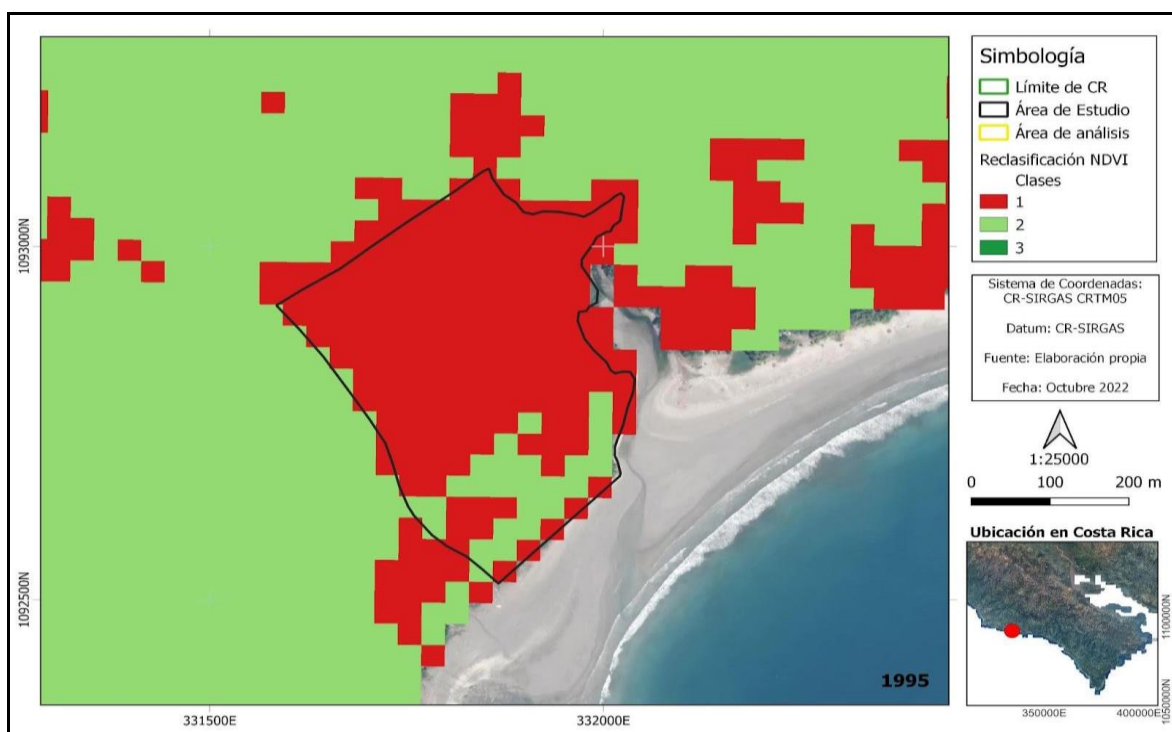


Nota. Fuente: Ortofoto 2017 SNIT.

Las clases y los valores de índice de vegetación se mantienen constantes hasta 1995, año en el que se vuelve a detectar un cambio, según la Figura N°27 para este año la transición de la clase 2 a la clase 1 es todavía más significativa, y en la cual prácticamente se ha eliminado la totalidad de la cobertura vegetal presente en el sitio, Por tanto este resultado se confirma y se valida con la información obtenida del análisis de fotointerpretación específicamente para este año, en el que se observa el suelo desnudo presente en el área a partir del año analizado, donde anteriormente existía una cobertura vegetal sana.

Figura 27.

*Transiciones en el área de estudio del análisis multitemporal para el año 1995. La escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento.*

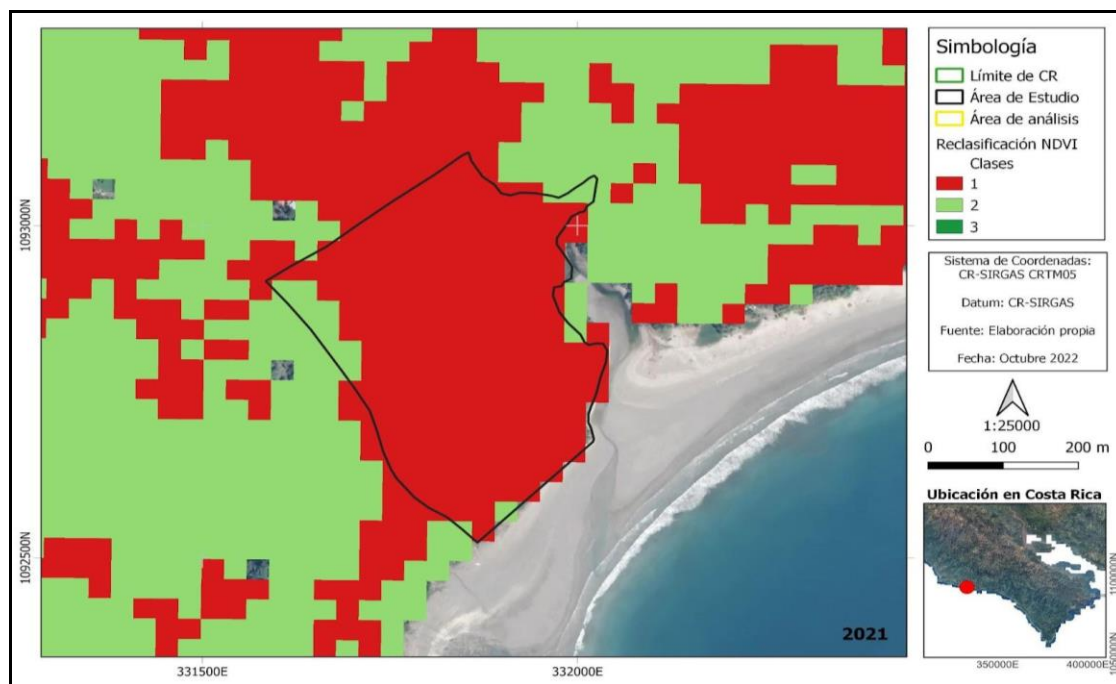


Nota. Fuente: Ortofoto 2014-2017 SNIT

La clase 1 se mantiene constante desde 1995 hasta la actualidad, tal y como se muestra en la Figura N°28, para el área específica de interés en esta se observa la nula cobertura vegetal existente en el sitio, Cabe resaltar que debido al resultado obtenido en 1995, donde la clase 2, era prácticamente inexistente para el área de estudio, el único resultado esperado era una transición de la clase 1 a la clase 2, significando una recuperación en la cobertura, sin embargo este resultado no se dio de manera significativa, y la clase 2 presente en la figura #28 dentro del área de estudio se debe más a la influencia de valores altos cercanos al área y la resolución espectral y espacial de las imágenes, según lo confirmado con otros insumos.

Figura 28.

*Transiciones en el área de estudio del análisis multitemporal para el año 2021. La escala descrita en el mapa no corresponde por reducción en el documento.*



Nota. Fuente: Ortofoto 2014-2017 SNIT

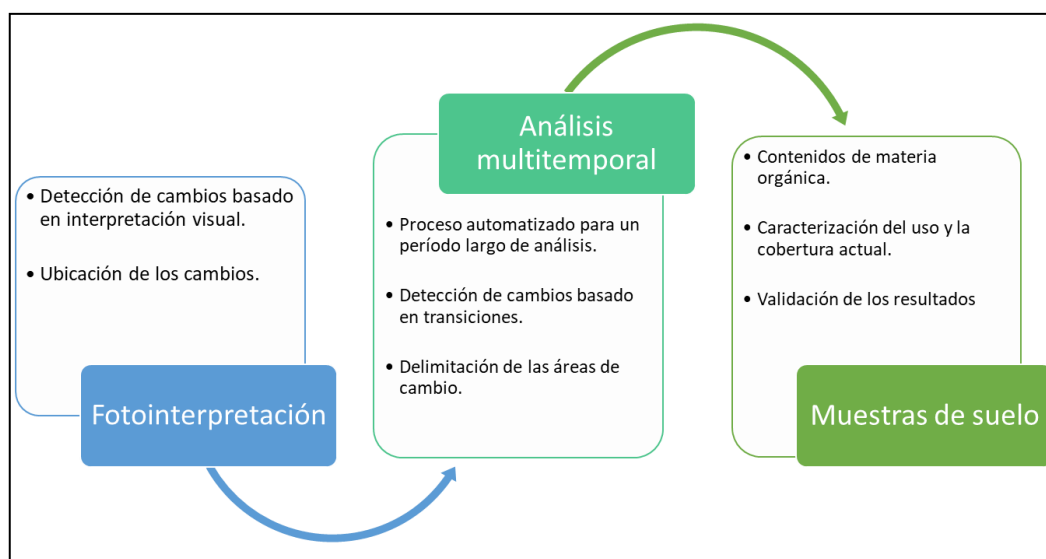
Una vez analizadas las diferentes variables tomadas en cuenta para el desarrollo de la metodología para la identificación de zonas de humedal, se obtuvo como resultado que el proceso debe llevar el orden cronológico, tal y como lo muestra la Figura N°29, es necesario realizar un proceso de fotointerpretación con imágenes históricas, como primer paso, el cual permitió abarcar períodos en el tiempo muchos más amplios, en los cuales el análisis multitemporal no permitió llegar debido a la disponibilidad de imágenes.

Donde la fotointerpretación permitió la identificación de áreas que posteriormente se analizaron, por medio de una serie temporal, con el cual se determinaron las diferentes

transiciones dadas en la zona, el análisis multitemporal además permitió la delimitación de esas áreas de cambio basadas en un NDVI, por otra parte las muestras de campo permitieron realizar una caracterización de diferentes zonas, de acuerdo al contenido de materia orgánica presente, además de permitir la validación del modelo basado en sistemas de información geográfica.

Figura 29.

*Proceso para la aplicación de la metodología de identificación de zonas de humedal.*



Nota. Fuente: Elaboración propia

## Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones

### i. Conclusiones

Se establece una propuesta metodológica, basada en el análisis de tres ejes: fotointerpretación de imágenes históricas, análisis multitemporal y muestras de suelo, en el orden correspondiente, ya que la relación de los resultados de cada uno de los ejes permite la correcta identificación de zonas de humedal, así como los cambios que se hayan presentado en un período de tiempo determinado.

Se identifico un procedimiento para el uso de fotografías aéreas históricas a partir de la correcta georreferenciación de cada una de ellas, además se determina que los principales criterios de fotointerpretación para la detección de cambios son: forma, textura y patrón.

El primer cambio significativo basado en fotointerpretación se identificó en la fotografía aérea del año 1971, el segundo cambio en la imagen del año 1989 y el tercer cambio que se considera como definitivo sobre el área de estudio y las zonas identificadas como humedales para el año 1997 y que mantiene sus condiciones hasta el año 2021.

El resultado del análisis multitemporal se observó que la cobertura vegetal y el uso de suelo presentan las principales transiciones en el año de 1991 y 1995, en donde los valores del NDVI, para dos de las zonas analizadas, paso de valores cercanos al 0,57 a tener disminuciones, abruptos a valores de 0,01, lo que significa una eliminación completa de la cobertura vegetal, luego de 1995 y hasta el 2021 donde no se detectaron cambios en el área determinada. El análisis también mostró que para los puntos analizados en lo que actualmente continúa siendo un manglar se presentó el mayor valor de NDVI, siendo este de 0,57 y un valor mínimo de 0,50, mientras que para la zona con vegetación predominante de gramíneas los valores estuvieron entre 0,31 y 0, 41, valores típicos de una vegetación sana y menos densa.

El análisis multitemporal detectó además para toda el área de análisis, las zonas en las que se presentaron transiciones de una clase con vegetación, hacia una clase de suelo desnudo, se identificaron las áreas donde se eliminó el manglar y se detectaron dos cambios en 1990 y 1995, en este año se observó la eliminación total del manglar del área detectada, posterior a ese año no se identificaron cambios hasta el 2021.

## **ii. Recomendaciones**

Replicar la metodología propuesta en otras zonas del país con el fin de determinar potenciales mejoras que se le pueda hacer a la misma sobre condiciones similares de estudio, en aras de optimizar el tiempo y los recursos.

Proponer nuevas áreas para realizar pruebas el código desarrollado en R Studio, con el fin de calibrar el modelo, y así determinar si es sensible a la detección de zonas de manglar en otras zonas del país.

Implementar pruebas específicas en el código desarrollado para la identificación de zonas de humedal palustres y lacustres en otras áreas del territorio nacional.

Socializar el uso de la metodología para la determinación de áreas de cambio en zonas de humedal-manglar en todas las instituciones atinentes a la protección de los recursos naturales.

Establecer mecanismos por medio de los cuales se puedan desarrollar convenios para el acceso de manera ágil a las imágenes históricas del país, además de incentivar que las mismas cuenten con un proceso de georreferenciación y ortorectificación por parte de la institución atinente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez Espinoza, M. (1999). *Día mundial del ambiente*.  
<https://areasyparques.com/areasprotegidas/humedales-de-costa-rica/>
- Ariza, A. (2018). *Descripción y corrección de productos (Landsat 8 y LCDM (Landsat Data Continuity Mission)*. [Diapositivas en PowerPoint] <https://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>
- Bravo CH., J. (2015). *Proyecto “Conservación, uso sostenible de la biodiversidad y mantenimiento de los servicios de los ecosistemas de humedales protegidos de importancia internacional” Proyecto PIMS 4966 ID 00088054*.  
<https://www.sinac.go.cr/ES/docu/coop/proy/Propuesta%20Metodol%C3%B3gica%20Inventario%20de%20Humedales.pdf>
- Brink. P., Russi. D., Farmer. A., Badura. T., Coates D., Förster J., Kumar R. y Davidson N. (2013). *La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad relativa al agua y los humedales. Resumen ejecutivo*. [https://www.teebweb.org/wp-content/uploads/2013/12/TEEB\\_WaterWetlands\\_-ExecSum\\_2013\\_SP.pdf](https://www.teebweb.org/wp-content/uploads/2013/12/TEEB_WaterWetlands_-ExecSum_2013_SP.pdf)
- Contreras, S. (2016). *Análisis de la evolución de la gestión, uso y cobertura vegetal del suelo del bosque protector Aguarongo y sectores colindantes, área de estudio: San Juan y Jardín*.  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11983/1/UPSCT005749.pdf>
- Convención Ramsar sobre Humedales (1971). *Qué son humedales*.  
<https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/info2007sp-01.pdf>

Decreto 36918 de 2012 [con fuerza de ley]. *Reglamento de uso público del Parque Nacional Marino las Baulas de Guanacaste*. 07 de febrero de 2012 D.O. la Gaceta No. 27

Decreto 34433 de 2008 [con fuerza de ley]. Reglamento a la Ley de Biodiversidad, 8 de abril del 2008, D.O. No. 68.  
[https://www.conagebio.go.cr/Conagebio/public/documentos/legislacion/Decretos/Reglamento\\_a\\_la\\_Ley\\_Biodiversidad\\_DE\\_34433-MINAE.pdf](https://www.conagebio.go.cr/Conagebio/public/documentos/legislacion/Decretos/Reglamento_a_la_Ley_Biodiversidad_DE_34433-MINAE.pdf)

Decreto 7841-P de 1978 [con fuerza de ley] Reglamento a la Ley sobre la Zona Marítimo Terrestre, 27 de enero de 1978, D.O. No. 20, Alcance No.16.  
[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=18579&nValor3=93916&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=18579&nValor3=93916&strTipM=TC)

Decreto 36642 de 2011 [con fuerza de ley]. Reglamento de Especificaciones para la Delimitación de la zona pública de la Zona Marítimo Terrestre 14 de julio de 2011, D.O. No. 136.  
[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=70676&nValor3=85484&strTipM=FN](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=70676&nValor3=85484&strTipM=FN)

Díaz San Andrés, A. (2022). *Biogeografía*. <https://biogeografia.net/fotografia.html>

Escandón Calderón, J., Ordoñez Díaz, J.A.B., Nieto de Pascual Pola, M.C.C. (2018). Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46) pp-28-53  
<https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v9n46/2007-1132-remcf-9-46-27.pdf>

Espiro, V. E. y Papetti, L. (2006). Interpretación de fotografías aéreas y arqueología socialmente útil. Revista de Ciencia y Técnica, (12). <http://lagunablanca.unca.edu.ar/adjuntos/2006-EspiroPapetti-Interpretacionfotografias.pdf>

*Fotointerpretación y teledetección. Tema 3. Fotointerpretación geología y geomorfología* (2006). <https://www.um.es/geograf/sig/teledet/fotogeol.html>

Free Software Foundation. (2022). *¿Qué es el Software Libre?* <https://www.gnu.org/philosophy/free-sw.es.html#fs-definitio>

Fundación Proteger para el Desarrollo Sustentable (2018). *¿Qué es la Convención de RAMSAR sobre los Humedales?* [https://www.produccion-animal.com.ar/agua\\_cono\\_sur\\_de\\_america/10-convencion\\_ramsar\\_sobre\\_humedales.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/agua_cono_sur_de_america/10-convencion_ramsar_sobre_humedales.pdf)

García Culquila, C.L. (2022). *Análisis multitemporal de la dinámica de uso de suelo y cobertura vegetal en la microcuenca del Río Illangama. Ecuador*. [Magíster en Gestión Ambiental Mención Planificación Ambiental, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/35448>

García Galvis, J. y Ballesteros González, M.I. (2005). Evaluación de parámetros de calidad para la determinación de carbono orgánico en suelos quality parameters evaluation for organic carbon determining IN SOILS. *Revista Colombiana de Química*.34 (2). [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S012028042005000200009#:~:text=La%20determinaci%C3%B3n%20de%20carbono%20org%C3%A1nico%20se%20hizo%20por%20el%20m%C3%A9todo%20concentrado%20en%20la%20soluci%C3%B3n%20cr%C3%BCmica](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012028042005000200009#:~:text=La%20determinaci%C3%B3n%20de%20carbono%20org%C3%A1nico%20se%20hizo%20por%20el%20m%C3%A9todo%20concentrado%20en%20la%20soluci%C3%B3n%20cr%C3%BCmica)

Gil, P. A., & Morales, M. E. (2016). Información Espacial, Herramientas De Análisis En La Transformación De Las Coberturas Vegetales. *Ingeniería e Innovación*, 22(4) pp. 15–22. <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rii/article/view/1176/1454>

Gómez Barrantes, M. (1998). *Elementos de estadística descriptiva*. San José: EUNED

González-Roglich, M. y Mendoza, E. (2019). *Introducción a la teledetección*. [https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/EO4IM\\_Session\\_2\\_Espanol.pdf](https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/EO4IM_Session_2_Espanol.pdf)

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.

Instituto Hidrográfico de la Marina. (2018). *Línea de Pleamar*. Gobierno de España, Ministerio de Defensa. [https://armada.defensa.gob.es/ihtm/doc/Linea\\_de\\_Pleamar.pdf](https://armada.defensa.gob.es/ihtm/doc/Linea_de_Pleamar.pdf)

Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). (2019). *Manual de Laboratorio de Suelos. Laboratorio de Suelos y Foliar*. <http://www.inta.go.cr/index.php/transferencia-de-tecnologia/publicaciones/manuales>

Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). La Materia Orgánica, importancia y experiencia de su uso en la Agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1) pp. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292006000100009>

Ley 6043 de 1977. *Ley de Zona Marítima Terrestre*, 16 de marzo de 1977. D.O. No.52

Ley 7554 de 1995. *Ley Orgánica del Ambiente*, 13 de noviembre de 1995. D.O. No.215

Ley 7575 de 1996. *Ley Forestal* 16 de abril de 1996. D.O. No.72

- Meza Ocampo, T. A. (2004). *Geografía de Costa Rica. Geografía, naturaleza y políticas ambientales*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Política Nacional de Humedales 2017-2030. (2017). <https://da.go.cr/wp-content/uploads/2018/05/1-POLITICA-NACIONAL-DE-HUMEDALES-2017-2030.pdf>
- R-Tools Technology Inc. (2019) Documentación técnica de R-Studio. [https://www.r-studio.com/es/Unformat\\_Help/r-studiofeat.html](https://www.r-studio.com/es/Unformat_Help/r-studiofeat.html))
- Ramsar. (2004). *La importancia de los humedales*. <https://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-importancia-de-los-humedales>
- Ramsar. CREHO (2010). Tipos de humedales. <https://creho.org/humedales/tipos-de-humedales/>
- Resolución C-339-2004 de 2004 [Procuraduría General de la República]. *Definición, constitución y administración del Patrimonio Natural del Estado* de 17 de noviembre del 2004. <https://www.pgr.go.cr/servicios/procuraduria-ambiental/patrimonio-natural-del-estado/>
- Revista Consumer*. (2003). Manglares Los bosques salados, en peligro de desaparecer. *Consumer*. (63) pp. 24-25 <https://revista.consumer.es/portada/los-bosques-salados-en-peligro-de-desaparecer.html>
- Rosales Ibarra, A. (2013). *Manual para la interpretación de imágenes de sensores remotos de las principales coberturas y usos de la tierra de Costa Rica*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/U40-10538.pdf>

Soto, M. (2015). Costa Rica posee 12 humedales de importancia mundial: hoy se celebra el Día Internacional de los Humedales. <https://www.nacion.com/ciencia/medio-ambiente/costa-rica-posee-12-humedales-de-importancia-mundial/ZDMTFS4TMZGAZIK5OZEVZCTE4/story/>

Zúñiga López, J. M. (2018). *Aplicación de sensores remotos para análisis del estado vegetativo del cultivo de palma de aceite por medio del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y firmas espectrales mediante fotografías aéreas*. [Universidad Militar Nueva Granada]. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/20387/ZuñigaLopezJua45nManuel2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## ANEXOS

### Anexo N°1. Cotización de imágenes satelitales de alta resolución solicitada a la empresa GeoInn S.A de Costa Rica.



*Geospatial Innovations*

#### Imágenes satelitales disponibles

Para la búsqueda de imágenes satelitales, se establecen AOIs (Área de Interés por sus siglas en inglés) que contiene el sector solicitado. En la Figura 1 se muestra el AOI para este caso.



Figura 1. Área de Interés para la búsqueda de imágenes satelitales

Los AOIs se establecen en función de los requerimientos de los gestores de búsqueda en línea de imágenes satelitales y para asegurar la correcta ortorrectificación que requieren un mínimo de 5 Km entre nodos o vértices.

De esta manera, se muestra a continuación los mejores resultados de la búsqueda para el AOI. Es decir, aquellos que cubran las áreas de interés, que cuenten con la menor nubosidad y que se encuentren en los periodos solicitados.

### Imágenes Disponibles

**AOI**

**Área Mínima: 25 Km<sup>2</sup>**

### Opciones más antiguas

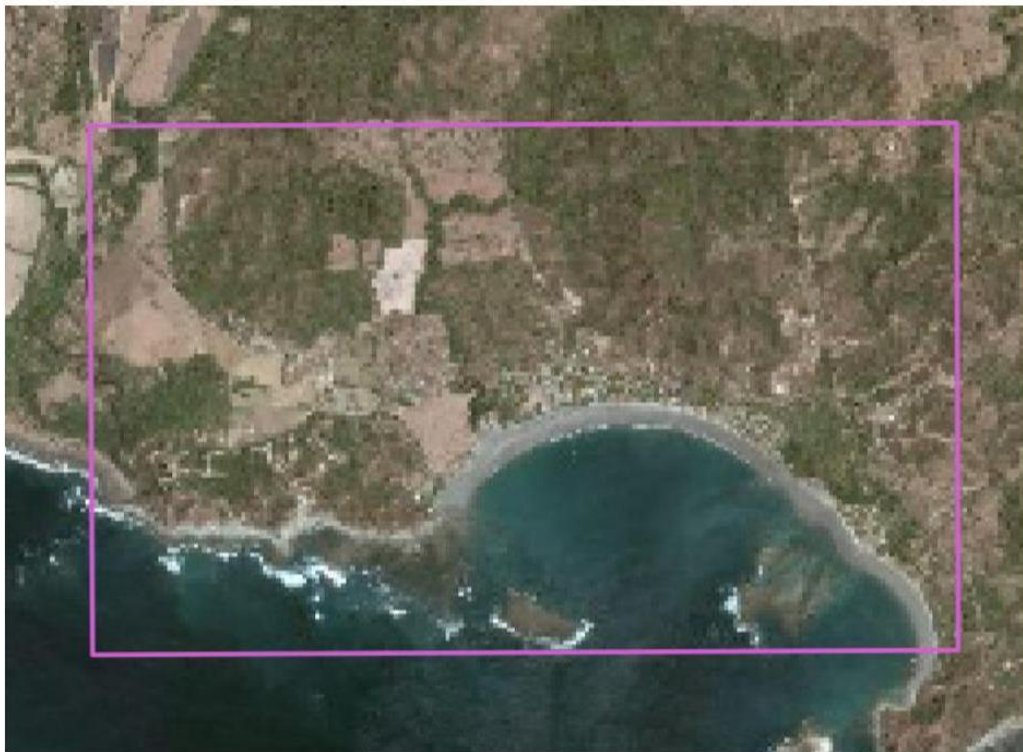
Fechas de toma: 23-03-2004

Tipos de sensores: QuickBird

Resolución espacial: 60cm

Precio aproximado:

- 4 bandas: \$ 450



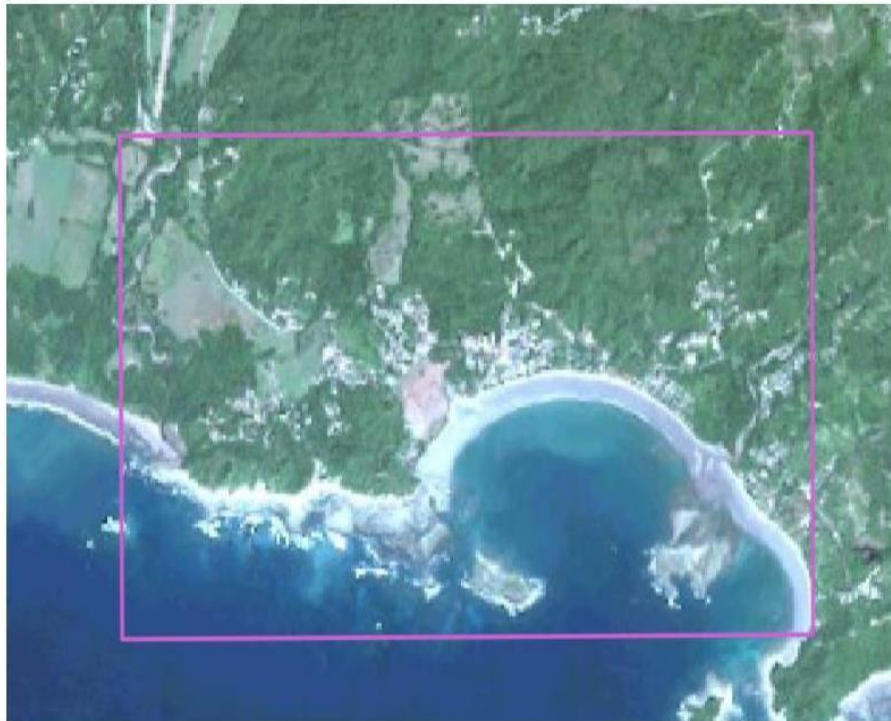
Fechas de toma: 23-03-2004

Tipos de sensores: WorldView-2

Resolución espacial: 50cm

Precio aproximado:

- 4 bandas: \$ 450
- 8 bandas: \$ 500



### Opciones Recientes

Fechas de toma: 30-05-2021

Tipos de sensores: Pléiades-1

Resolución espacial: 50cm

Precio aproximado:

- 4 bandas: \$ 450





[www.geoinn.com](http://www.geoinn.com)

Fechas de toma: 15-03-2022

Tipos de sensores: WorldView-3

Resolución espacial: 30cm

Precio aproximado:

- 4 bandas: \$ 575
- 8 bandas: \$ 600



**Anexo N°2. Cotización de vuelo con dron tipo Ala Fija V-TOL solicitada a la empresa GeoTecnologías S.A de Costa Rica.**

Cotización de Productos/Servicios			 <small>Soluciones Avanzadas en Geomática</small>		
Consecutivo:	408 - 22 - 01 -SDF	Fecha:	17/10/2022	Vigente:	30 días.
Atención:	Ing. Carlos Gómez				
Institución/Empresa:	Profesional Independiente	Área:	-		
Correo Electrónico:	<a href="mailto:topografiagomez@gmail.com">topografiagomez@gmail.com</a>	Teléfono:	8338-3658 ext. 123.		

**Servicios Profesionales de Fotogrametría de Precisión con Dron**



**Servicio para la Generación de Productos Fotogramétricos de Precisión con Dron de Alta Gama de Geotecnologías S.A. como:**  
 Nube de Puntos  
 Mosaico de Ortofoto Georreferenciada  
 Modelo Digital de Terreno  
 Modelo Digital de Superficie

**Cotización**

Producto	Cnt.	Detalle	Precio Unitario	Precio Total SIV
Servicios	2	Servicios de Generación de Productos Topográficos con UAV	\$ 2 850	\$ 5 700
		Vuelo de Área específica para Generación Ortofoto Georreferenciada		
		Tamaño Pixel 5cm o menor		
		Entregables: Ortofoto Georreferenciada, Modelos Digitales de Terreno y Superficie		
Forma Pago:	50% contra pedido 50% entrega		Subtotal	\$ 5 700
Moneda Oferta:	Dólar USA (\$)	Cuenta IBAN <b>BNCR (\$)</b>	Descuento	\$ 390
		<b>CR79 0151 0801 0026 0074 77</b>	Subtotal 2	\$ 5 310
		Geotecnologías S.A.	I.V.A. 13%	\$ 690
Tiempo Entrega:	22 Días	Cédula Jurídica: <b>3-101-178512</b>	<b>Total</b>	<b>\$ 6 000</b>

Consideraciones: Tiempos sujetos a cambios por situaciones meteorológicas y/o permisos de DG Aviación Civil  
 Más información:

**Anexo N°3. Oficio PPGeo-118-2022 del Programa de Postgrado en Geografía remitido el 15 de septiembre del 2022 para gestionar ante el IGN de Costa Rica la solicitud de fotografías aéreas históricas.**



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA

SEP Sistema de  
Estudios de Posgrado

PPGeo Programa de Posgrado en  
Geografía

15 de septiembre de 2022  
PPGeo-118-2022

Sr. Christian Núñez Solís  
**Jefe**  
**Departamento Topográfico y Observación del Territorio.**  
**Instituto Geográfico Nacional.**

Estimado señor:

Reciba un cordial saludo de parte del Sistema de Estudios de Posgrado y el Programa de Posgrado de Geografía de la Universidad de Costa Rica.

En referencia al artículo 2, inciso i), de la Ley 7293, el cual exceptúa de derogación a las exenciones tributarias que a letra dice:

- "Artículo 2. Inciso i). Se hayan otorgado al Poder Ejecutivo, al Poder Judicial, al Poder Legislativo, al Tribunal Supremo de Elecciones, a las instituciones descentralizadas, a las municipalidades, a las juntas de educación y administrativas de las instituciones públicas de enseñanza, a las empresas públicas estatales y municipales y a las universidades estatales.

Con base en lo anterior, le solicito de la manera más respetuosa facilitar a los estudiantes de la Maestría en Sistemas de Información geográfica y Teledetección de la Escuela de Geografía de la Universidad de Costa Rica: Ing. Carlos Eduardo Gómez Salazar cedula de identidad: 303880215 y el Ing. Daniel Villavicencio Serrano cedula de identidad: 112970821, las siguientes fotografías aéreas las cuales van desde el año 1944 hasta 1997, y se detallan en el siguiente cuadro:

**Fotografías por Solicitar**

1. Foto 1944, proyecto CAW 1079, rollo 15, línea 11-100A, foto 166, escala 1:40000 (sobre 6).
2. Foto 1945, proyecto CAW M1080, rollo 23, línea 12-83, foto 23, escala 1:20000 (sobre 39).
3. Foto 1971, proyecto Nicoya, rollo 16, línea 5, foto 383, escala 1:20000 (sobre 226).
4. Foto 1974, proyecto Nosara, rollo 89, línea s/l, foto 1338, escala 1:20000 (sobre 1145).

5. Foto 1984, proyecto Playas Guanacaste, rollo 210, línea 2, foto 33470, escala 1:20000 (sobre 3157)
6. Foto 1987, proyecto playas Guanacaste, rollo 248, línea s/l, foto 42978, escala 1:30000 (sobre 3767).
7. Foto 1989, proyecto playas Guanacaste, rollo 263, línea s/l, foto 47490, escala 1:10000 (sobre 4015).
8. Foto 1996, proyecto DRIP, rollo 287, línea 12, foto 54180, escala 1:20000.
9. Foto 1996, proyecto DRIP, rollo 287, línea 12, foto 54179, escala 1:20000.
10. Foto 1997, proyecto Terra, rollo 03, línea 33, foto 44, escala 1:40000.

Lo anterior, para efectos de labores de investigación para el proyecto de tesis a presentar por los estudiantes.

Sin más por el momento y agradeciendo su atención.

Atentamente,

UCR  Firmado  
digitalmente

M.Sc. Melvin Lizano Araya  
Director

M.L.A / a.c.s.



---

Teléfono: 2511-4152 / Sitio web: [www.sep.ucr.ac.cr](http://www.sep.ucr.ac.cr) /Correo electrónico: [digitalppgeo.sep@ucr.ac.cr](mailto:digitalppgeo.sep@ucr.ac.cr)



**Anexo N°4. Oficio DIG-TOT-0632-2022 del Departamento de Topografía y Observación del Territorio del IGN de Costa Rica, remitido el 15 de septiembre del 2022 para autorizar y brindar las fotografías aéreas históricas solicitadas para el proyecto de investigación.**



DIG-TOT-0632-2022  
15 de setiembre de 2022



Público

Señor  
Melvin Lizano Araya  
Correo electrónico: digitalppgeo.sep@ucr.ac.cr  
Teléfono: 25114152

Estimado señor:

**Asunto:** Entrega de información (fotografías aéreas)

Con la autorización de la jefatura del Departamento, Christian Núñez, se procede.

Por medio de la presente se le comunica que el material aerofotográfico solicitado el día 15 de setiembre del presente año según correo electrónico recibido se encuentra listo. Para retirar el material de forma presencial deben presentarse en las oficinas del Instituto Geográfico Nacional ubicado en el Registro Nacional de la Propiedad, Zapote-Curridabat, módulo 4, tercer piso; de igual manera, el material puede ser enviado de forma electrónica, por ende, indicar correo electrónico al cual proceder.

Se hace constar que el material solicitado tiene como fin primordial el de utilizarse en proyectos de investigación propios de la Escuela.

La información del material a entregar es el siguiente:

- ✓ Proyecto Caw 1079, rollo 15, línea 11-100A, foto 166, escala 1:40000, fecha 29/12/1944.
- ✓ Proyecto Caw M1080, rollo 23, línea 12-83, foto 23, escala 1:45000, fecha 02/01/1945.
- ✓ Proyecto Nicoya, rollo 16, línea 5, foto 383, escala 1:20000, fecha 22/09/1971.
- ✓ Proyecto Nosara, rollo 89, línea SN, foto 1338, escala 1:20000, fecha 11/12/1974.
- ✓ Proyecto Playas Guanacaste, rollo 210, línea 2, foto 33470, escala 1:20000, fecha 06/02/1984.
- ✓ Proyecto Playas Guanacaste, rollo 248, línea SN, foto 42978, escala 1:10000, fecha 30/11/1987.
- ✓ Proyecto Playas Guanacaste, rollo 263, línea SN, foto 47490, escala 1:10000, fecha 13/11/1989.
- ✓ Proyecto DRIP, rollo 287, línea 12, fotos 54179, 54180, escala 1:20000, fecha 20/01/1996.

Teléfono: +506 2202-0800 - Apartado Postal 523-2010, San José Costa Rica - RNPDIGITAL.COM



DIG-TOT-0632-2022  
15 de setiembre de 2022

Público

- ✓ Proyecto Terra, rollo 3, línea 33, foto 44, escala 1:40000, fecha 4/12/1997.

Cordialmente,

**SUBPROCESO MODELADO TOPOGRÁFICO  
DEPARTAMENTO TOPOGRÁFICO Y OBSERVACIÓN DEL TERRITORIO  
INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL**

OSCAR ENRIQUE VILLALOBOS VILLAPLANA (FIRMA)

Firmado digitalmente por OSCAR ENRIQUE VILLALOBOS VILLAPLANA (FIRMA)  
Fecha: 2022.09.15 14:03:03 -06'00'

Óscar Villalobos Villaplana  
Analista  
Subproceso Modelado Topográfico



OVV/OVV

Cd: Archivo digital Dirección y DTOT del IGN

Teléfono: +506 2202-0800 - Apartado Postal 523-2010, San José Costa Rica - RNPDIGITAL.COM

## Anexo N°5. Extracto de los algoritmos utilizados para el análisis de la serie temporal.

```
54
55
56 ### 2) Crear la serie de tiempo LANSAT
57
58
59 #create a stack of all images and cut them
60 Stack.lansat.im = rast(ListlansatFiles)
61 Stack.lansat.im
62
63
64 ### 3) Recuperar las fechas
65
66
67 #recuperar los nombres de los archivos a partir de los nombres completos con el directorio
68 Split.names = strsplit(ListlansatFiles, "/")
69 head(Split.names)
70 File.names = unlist(lapply(Split.names, '[[', length(Split.names[[1]])))
71 head(File.names)
72
73 #recuperar las fechas de los nombres de los archivos
74 Date.names = strsplit(File.names, "_")
75 head(Date.names)
76
77 Dates = unlist(lapply(Date.names, '[[', 7))
78 head(Dates)
79
80 #cambiar los nombres de las capas en rasterStack (pila de raster)
81 names(Stack.evi.im) = Dates
82 Stack.lansat.im
83
84
85 #convertir las fechas al formato Datet
86 Dates.without.doy = substr(Dates, 4, 10)
87 Dates.date = as.Date(Dates.without.doy, format="%Y%j")
88 head(Dates.date)
89 str(Dates.date)
90
91
```

```

86 Dates.without.doy = substr(Dates,4,10)
87 Dates.date = as.Date(Dates.without.doy,format="%Y%j")
88 head(Dates.date)
89 str(Dates.date)
90
91
92
93 ## EXTRAER LA SERIE TEMPORAL MEDIA ANUAL
94 ▾ #####
95 ### 1) Calcular las imagenes anuales para cada fecha del año
96
97 #recuperar todos los dias del año (days of year: doy) de las fechas
98 Dates.doy = substr(Dates,nchar(Dates)-2,nchar(Dates))
99 head(Dates.doy)
100
101 doy.unique = sort(unique(Dates.doy))
102 doy.unique
103
104 #Crear una imagen media con todas las imagenes de doy001, doy017, etc
105 #inicializaci?n con las 23 primeras bandas de la pila
106 Stack.lansat$cri.mean.im = Stack.evi.im[[1:length(doy.unique)]]
107
108 ▾ for (i in 1:length(doy.unique)){
109   cat("\n DOY = ", doy.unique[i])
110   #Fechas de interes
111   ind.doy = which(Dates.doy == doy.unique[i])
112   #ind.doy
113
114   #Extrayendo las imagenes de interes
115   stack.doy.im = Stack.evi.im[[ind.doy]]
116
117   #Computando la media
118   stack.doy.mean.im = mean(stack.doy.im,na.rm=T)
119
120   #Añadir a la pila
121   Stack.EVI.cri.mean.im[[i]] = stack.doy.mean.im
122 ▸ }
123 #Añadiendo los nombres de las bandas a la pila
124 names(Stack.EVI.cri.mean.im) = doy.unique
125
126 Stack.EVI.cri.mean.im
127
128

```