

EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN ESPACIOTEMPORAL DE LÍNEA DE COSTA EN LOS SECTORES DE PUERTO REY Y MINUTO DE DIOS, LOCALIZADOS EN EL MUNICIPIO DE LOS CÓRDOBAS, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA, COLOMBIA COMO APORTE AL CONOCIMIENTO DEL RIESGO.

FRANCISCO JAVIER HERNANDEZ GENE

KAREN PAOLA DUQUE VALENCIA

MONOGRAFÍA PRESENTADA PARA OPTAR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN PREVENCIÓN, REDUCCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES.



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESPECIALIZACIÓN EN PREVENCIÓN, REDUCCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES

MANIZALES CALDAS, AÑO 2021

Tabla de Contenido

Introducción.....	1
1. Capítulo I: Aspectos Generales de la Monografía.....	2
1.1. Descripción Del Problema.....	2
1.2. Planteamiento Del Problema.....	4
1.3. Antecedentes	5
1.4. Justificación.....	10
1.5. Objetivos	11
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	11
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	12
1.6. Contexto Geográfico De Estudio	12
1.7. Marco Teórico	14
1.8. Marco Normativo	19
1.9. Marco Conceptual	20
1.10 Metodología	29
1.10.1. <i>Tipo De Investigación</i>	29
1.10.2. <i>Fuentes De Información</i>	30
1.10.3. <i>Técnicas E Instrumentos</i>	32
1.10.4. <i>Fases O Etapas De La Investigación</i>	33

2.	Capitulo II: Levantamiento Fotogramétrico De La Línea De Costa Al Año 2021 En Los Sectores De Puerto Rey Y Minuto De Dios	38
2.1.	Levantamiento Fotogramétrico De La Línea De Costa Al Año 2021 En El Área De Estudio	39
3.	Capitulo III. Evaluación De Cambio De Línea De Costa (Período 2006 - 2021) En Los Sectores De Puerto Rey Y Minuto De Dios	49
3.1.	Parámetros Utilizados En El Análisis Del Cambio De La Línea De Costa En El Área De Estudio.	50
3.2.	Análisis De La Evaluación De Cambio De Línea De Costa En Los Sectores Puerto Rey Y Minuto De Dios.....	53
3.2.1.	<i>Cambio De Línea De Costa De Los Años 2006, 2012, 2019, 2020, 2021</i>	53
3.2.2.	<i>Net Shoreline Movement (NSM)/ Movimiento Neto De La Línea Costera (MNL)</i> 66	
3.2.3.	<i>End Point Rate (EPR) / Tasa De Punto Final (TPF)</i>	68
4.	Capitulo IV. Proyección Del Cambio De Línea De Costa Al Año 2031 Y 2041 En Los Sectores Puerto Rey Y Minuto De Dios En El Municipio De Los Córdoba.	71
4.1.	Parámetros Estadísticos Y Metodológicos Para Abordar El Análisis De La Proyección Del Cambio De Línea De Costa Al Año 2031 y 2041 En El Área de Estudio	71
4.2.	<i>Pronóstico De Línea De Costa A 10 Años (2031) En El Área de Estudio</i>	77
4.2.1.	<i>Pronóstico De Línea De Costa A 20 Años (2041) En El Área de Estudio</i>	79
5.	Conclusiones.....	83
6.	Recomendaciones	88

7. Anexos	90
8. Referencias Bibliográficas.....	98

Listado de Tablas

Tabla 1	8
Estudios de erosión costera realizados en el departamento de Córdoba.	8
Tabla 2	31
Fotografías áreas e imágenes satelitales empleadas para el análisis de cambio de la línea de costa	31
Tabla 3	32
Características Dron DJI Phantom 4 Pro.....	32
Tabla 4	45
Localización de las viviendas destruidas o afectadas por erosión costera, año 2021.....	45
Tabla 5	52
Informe resumido valores calculados de MNL	52
Tabla 6	52
Informe resumido valores calculados de TPF	52
Tabla 7	74
Valores máximos, mínimos y mediana de error estándar de la regresión lineal y el intervalo de confianza	74
Tabla 8	77
Pronóstico de los elementos expuestos de los sectores Minuto de Dios y Puerto Rey para el año 2031	77
Tabla 9	80
Pronóstico de los elementos expuestos de los sectores Minuto de Dios y Puerto Rey para el año 2041	80

Listado de Figuras

Figura 1	13
Localización de los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios.	13
Figura 2 y Figura 3	39
Levantamiento fotogramétrico con Dron en campo en compañía con el CMGRD, en Los Córdobas.....	39
Figura 4	40
Procesamiento de las fotografías aéreas en el software Pix4Dmapper	40
Figura 5 y Figura 6	40
Vista aérea panorámica de la vía a Arboletes (Antioquia)- Los Córdoba (Córdoba), la cual se encuentra expuesta a fuertes procesos erosivos, socavación y pérdida de su estructura vial.....	40
Figura 7 y Figura 8	41
Vista área panorámica corregimiento de Minuto de Dios, Los Córdoba, se observan viviendas expuestas ante la constante erosión y obras de control de erosión artesanales con llantas que disminuyen la fuerza de las olas contra la costa (figura 7) y el sector turístico y hotelero que ha realizado obras de mitigación para ganancia (acreción) de la costa (figura 8)	41
Figura 9 y Figura 10	41
Vista área panorámica del sector de Puerto Rey se evidencia pequeñas obras de mitigación como espolones artesanales (figura 9) y se observa la fuerza del oleaje que presenta la costa del sector (figura 10)	41
Figura 11 y Figura 12 Barrera de enrocado dispuesta sobre el talud de la vía. Se evidenciaron algunas socavaciones sobre el talud de la vía y como se puede observar, no existe distancia entre la vía y la barrera de protección, por tanto, la erosión puede afectarla.	42

Figura 13 y Figura 14	42
<p>Disposición de rocas y material vegetal para la protección del talud contra la fuerza del oleaje. Proceso erosivo en la línea de costa (figura 13). Palmeras que ceden ante la socavación y desplome de suelo, son arrastradas por la fuerza del oleaje (figura 14).....</p>	
Figura 15 y Figura 16	42
<p>Edificaciones abandonadas a menos de cinco (5) metros del acantilado afectadas por el proceso erosivo, desprendimiento y desplome de suelo (15). Estructuras tipo espolón, construidas artesanalmente por la comunidad, sin los estudios técnicos necesarios (16).....</p>	
Figura 17 y Figura 18	43
<p>Viviendas en riesgo de desplome, ubicadas sobre el talud del acantilado dos (2) metros de altura aprox.) afectado por la erosión (figura 17). Vertimientos de aguas residuales domésticas y de escorrentía de los sectores residenciales aledaños, hacia el mar (figura 18- Sector de Puerto Rey).....</p>	
Figura 19 y Figura 20	43
<p>Avance del proceso erosivo, en estos puntos el suelo es muy inestable, se observan desprendimientos del suelo y formación de acantilados de aproximadamente dos (2) metros de altura (figura 19). Obras de protección del talud con pilotes y llantas usadas, disposición inadecuada de residuos sólidos y material vegetal, utilizados para la protección del talud, viviendas a menos de cinco (5) metros del acantilado – sector Minuto de Dios (figura 20)</p>	
Figura 21	44
<p>Levantamiento fotogramétrico del año 2021, costa de los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios.</p>	
Figura 22	46
<p>.....</p>	
Figura 22	47

Línea de costa año 2019	47
Figura 23	48
Línea de costa año 2020	48
Figura 24	55
Línea de costa 28/06/2006.....	55
Figura 25	56
Cambio de línea de costa 02/12/2012.....	56
Figura 26	58
Cambio de línea de costa 22/08/2019.....	58
Figura 27	59
Cambio de línea de costa 09/02/2020.....	59
Figura 28	60
Cambio de línea de costa 10/05/2021	60
Figura 29	62
Cambios de líneas de costa año 2006 al 2021- imagen de base ortofotografía 2006.....	62
Figura 30	63
Cambios de líneas de costa año 2006 al 2021- imagen de base ortofotomosaico 2021	63
Figura 31	65
Áreas (m ²) con erosión y acreción en los sectores Puerto Rey y Minuto de Dios.....	65
Figura 32	67
Movimiento neto de línea de costera (MNL) años 2006 al 2021	67
Figura 33	69
Tasa de punto de final (TPF) años 2006 a 2021	69

Figura 34	73
Tasa de regresión línea (TRL).....	73
Figura 35	75
Error estándar de la regresión lineal en el área de estudio	75
Figura 36	76
Intervalo de confianza del 95% de la verdadera tasa de cambio de la regresión lineal.....	76
Figura 37	78
Pronóstico de la línea costera al año 2031	78
Figura 38	81
Pronóstico de la línea costera al año 2041	81

Introducción

En este documento se presenta el proyecto en modalidad de monografía para optar por el título de Especialista en Prevención, Reducción y Atención de Desastres, teniéndose como objetivo general evaluar el cambio de línea de costa (período 2006 - 2021) en los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios en el municipio de Los Córdoba del departamento de Córdoba, Colombia como aporte al conocimiento del riesgo.

En este trabajo se describe la problemática principal de la erosión en las costas del municipio de los Córdoba, como también los diferentes métodos, evaluaciones y estudios realizados a nivel internacional, nacional y local por parte del seguimiento realizado por la Corporación Autónoma Regional de Los Valles del Sinú y Del San Jorge (CVS) en armonía al control de la erosión en las costas y los aspectos a tener en cuenta para el control de la erosión, teniendo en cuenta la importancia que tiene esta investigación como aporte al desarrollo del proceso de conocimiento del riesgo, aportando de esta manera a la gestión del riesgo de desastres, abordando los conceptos necesarios y la normatividad en materia del conocimiento de esta problemática de erosión costera.

De esta manera se abordó un enfoque metodológico de tipo analítico, utilizando un método de investigación mixto que permitirá integrar enfoques cuantitativo y cualitativo, realizándose así un levantamiento fotogramétrico con imágenes tomadas con Vehículo aéreo no tripulado o dron, así como la obtención de imágenes de satelitales de Google Earth y fotografías aéreas, que permiten realizar cálculos de cambio de línea de costa, en el período correspondiente del año 2006 al 2021, y también estimar de acuerdo a los datos obtenidos una proyección del cambio de la línea de costa, con esto el comportamiento de la erosión en futuros a 10 y 20 años y por último determinar las causas de la problemática de erosión costera en los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios en el municipio de Los Córdoba.

1. Capítulo I: Aspectos Generales de la Monografía

1.1. Descripción Del Problema

Más de la mitad de las playas de arena del mundo están en riesgo de desaparecer a finales de siglo como consecuencia de la erosión costera, los efectos del Cambio Climático han generado tormentas más intensas, subidas del nivel del mar están destruyendo viviendas, caminos y edificios, las playas ya no tienen arena, los manglares están deforestados y las poblaciones son aún más vulnerables (Banco Mundial, 2017) En cuanto a pérdida de kilómetros de playa se refiere, América Latina será una de las regiones más afectadas; es el caso para el caribe colombiano, en el que los impactos de la erosión se han sentido con la pérdida de cientos de kilómetros cuadrados de terrenos dedicados a la agricultura y la ganadería, como se ha documentado suficientemente para punta Arboletes, en los límites de los departamentos de Córdoba y Antioquia (Correa y Vernet, 2004). Así también se han perdido ecosistemas de manglar en Cispatá y Mestizos (Córdoba) por la erosión del río Sinú, cuya eficiencia es poca debido a la escasa disponibilidad de sedimentos tamaño arena y a la débil corriente litoral producida por la orientación de la línea de costa con respecto a los trenes de olas. (IDEAM- Universidad Nacional, 1998).

Diferentes estudios realizados en el municipio de Córdoba como el Plan Maestro de Erosión Costera Colombia (MADS, 2017) y diferentes visitas técnicas realizadas por la Corporación Regional del valle de Sinú y San Jorge, permiten entender esta problemática, aquellos estudios reflejan que cada año son erosionados hasta 10 metros de la línea de costa en los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios. Aunque existen algunas zonas de ganancia solo son mínimas; es mayor el avance de la erosión en estos dos sitios, sobre todo en la parte norte (sector de Puerto Rey), donde

se evidencia que en los últimos 8 años se han perdido más de 50 metros de línea de costa presuntamente, poniendo en alto riesgo a la vía que conduce de Montería a Arboletes, de la misma manera que refleja una comparación multitemporal de los años 2018 y 2019 en donde se tiene un área erosionada de 8446 m² al año y una pérdida de al menos 6 viviendas en el sector Puerto Rey y una pérdida de 2062 m² , 43 viviendas en alto riesgo, y 10 viviendas han desaparecido a causa de los procesos erosivos en el sector Minuto de Dios.

Teniendo en cuenta los anteriores planteamientos, en el presente proyecto se aborda la temática de erosión costera en los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios en el municipio de Los Córdoba, departamento de Córdoba, desde una visión integral del riesgo. Este es un caso de gran importancia debido a que cada año se pierde área costera, además, se ven afectadas las poblaciones que viven cerca de la línea de costa, afectado así las viviendas y diferentes infraestructuras. La erosión costera de estos sectores es el resultado de la pérdida de sedimentos debido a factores naturales (olas, corrientes, huracanes, tsunamis, etc.) y factores antropogénicos (extracción de arenas y recursos marino costeros para construcción, tala de manglares, obras costeras descoordinadas e infraestructura muy cercanas a la línea de costa).

Según información de la alcaldía municipal, diferentes artículos periodísticos han identificado que la población asentada en los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios cada año se ve afectada en gran medida en sus viviendas, vías etc, teniéndose de esta manera diferentes elementos expuestos por esta problemática, lo cual da la necesidad de realizar estudios que contribuyan en los procesos conocimiento y gestión del riesgo por erosión costera.

El abordaje de esta problemática permitió contextualizar la situación de manera más amplia ya que los estudios con imágenes de satélite o dron de los sectores estudiados son pocos (solo un informe técnico analizando el cambio de línea de costa años 2018 al 2019), en los demás estudios realizados por autoridades ambientales y administraciones locales son realizados con levantamientos GPS. Generando así, conclusiones y recomendaciones que aporten al conocimiento de la gestión del riesgo de desastres por erosión costera para el caribe colombiano, con énfasis para el departamento de Córdoba municipio de Los Córdoba.

1.2. Planteamiento Del Problema

En el abordaje de la problemática de erosión costera en el municipio de los Córdoba es fundamental realizar los siguientes planteamientos:

- ¿Existe una erosión costera real en los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios en el municipio de Los Córdoba, departamento de Córdoba?
- ¿Cómo se proyecta el comportamiento de la erosión costera en los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios a 10 (2031) y 20 (2041) años?

1.3. Antecedentes

En este capítulo se abordan los diferentes casos de estudios a nivel mundial, nacional y local las cuales implementaron diferentes evaluaciones para determinar, controlar y prevenir la erosión en las costas, teniendo en cuenta diferentes aspectos como localización, aspectos físicos, riesgos erosivos entre otros.

A nivel mundial diversos casos de estudio identifican la problemática de la erosión costera en sus litorales, como es el caso en el continente europeo la costa de Vale Do Lobo en Algarve ubicado al sur de Portugal ha sido afectada por esta problemática por muchos años dificultando sus dinámicas económicas y sociales. Bajo esto se han implementado dos proyectos de regeneración de sus playas, las cuales consistieron en depositar 700.000 m³ de arena a lo largo de los 1400 m de la costa desarrollado fue a finales del año de 1998 hasta principios de 1999, continuando en el año 2006, con la restauración de 370.000 m³ de arena a lo largo de 1100 m. La metodología que se implementó con los datos disponibles en estos estudios fueron:

- Estudios mensuales de perfil de la playa entre los años 1997 y 2008.
- Fotografías aéreas en el año 1995, 2005 y 2007, a lo largo de toda la costa.
- Datos de sedimentación de la playa de Vale do lobo y de la zona de dragado que se utilizó para la regeneración de la playa.
- Estudios de oleaje en un período de 10 años.
- Estudios de batimetría del año 2001 al 2006, del instituto hidrográfico.

Los resultados que se obtuvieron de los diferentes estudios muestran que en la costa de Vale Do Lobo se presentó un transporte de material del 73% con respecto a la capacidad total de transporte durante un período de 10 años. En los años 2001 y 2003 fue donde se presentó una gran variación de la acumulación de transporte hacia el este de la costa, seguido por un período de estabilización. (Barbara Proenca, Filipa S.B.F, Oliveira y Sancho Francisco, 2011).

También se realizaron estudios de batimetría en la costa de Kangnam, en Taiwán China fueron realizados por parte de la firma de CECI Ingenieros consultores, Inc., las cuales se llevaron a cabo en ocho períodos de observación desde el año 1988 hasta 2006, se hacían mediciones dos veces al año (septiembre y octubre), con el propósito de estudiar los cambios sedimentológicos bajo la acción de los tiempos de oleaje en verano e invierno. La evaluación de los cambios volumétricos estaba basada originalmente de las mediciones batimétricas tomadas en septiembre de 1988. Con ayuda del ministerio de economía y la agencia de manejo de aguas aportaron fondos para las mediciones de batimetría en la costa de Kangnam, con el fin de mitigar la erosión en esa costa. El equipo de trabajo propuso tres directrices para mitigar la erosión, las cuales consistieron en proteger con medidas preventivas la erosión en la costa, y preservar el aspecto ecológico de la zona, y restaurar las funciones recreativas (Liou, Jin-Cheng, Chang, Hsien-Kuo, Chen, Wei-Wei; LIAW, Shyne-Ruey, 2009).

De la misma manera en el continente americano, en las costas de la playa Ocean en California, Estados Unidos, se realizaron estudios del comportamiento del oleaje como causa natural de la máxima de 9.1 metros, con el impacto de las olas en el arrecife se alcanza a disipar la altura de las olas en un 25%. Para este estudio se utilizó imágenes aéreas a lo largo de los meses en la playa

Ocean entre los años 2004 a 2010 con un sistema cinemático de posición global. También se hicieron estudios hidrológicos y batimétricos, al igual se identificaron los tamaños de las partículas en la orilla de la costa. Así mismo, se utilizó instrumentación oceanográfica para ver cómo era el comportamiento del oleaje y modelos numéricos (Barnard, Patrick L., Hansen, Jeff E. y Eriksson, Li H 2015).

Con respecto a los casos de estudio en los diferentes países del mundo acerca de la erosión costera, es de gran importancia ya que permite tener una panorámica global de los estudios y los parámetros que se deben tener en cuenta al momento de plantear proyectos relacionados con la erosión en las costas (Georgian Sierra, 2015).

A nivel nacional son diversos los artículos periodísticos que abordan la problemática de la erosión costera en el departamento de Córdoba, y con ello también en diferentes zonas del municipio de los Córdoba, como lo demuestra una columna publicada en Caracol Radio el 17 de Mayo de 2018, donde se menciona que: *“El mar, es un escenario paradisíaco por el que muchos esperan con ansias, está muy lejos de ser tan codiciado para los habitantes de 5 municipios del departamento de Córdoba, siendo más específicos los ubicados en la zona costanera como **Los Córdoba**, Moñitos, San Antero, Puerto Escondido y San Bernardo del Viento”*. Este artículo menciona para estos municipios el fenómeno de la erosión costera, que se caracteriza porque la línea de la orilla del mar cada vez se va rodando hacia la zona continental, devorando el terreno que tiene a su paso; preocupa a más de 6 mil familias que temen dormirse y despertar en los brazos de las profundas aguas.

El 24 de julio de 2018, la periodista Elizabeth Otalvaro publicó un artículo titulado: Por la erosión del mar se está “comiendo” la costa de Urabá, en él se hace alusión al municipio de Los Córdoba: *“Los urabaenses ven con preocupación que los 1,6 kilómetros que el mar se ha llevado en Punta Rey, Córdoba, auguren un desplazamiento si no se encuentra una solución real para mitigar la erosión costera que afecta al litoral Caribe”*.

A nivel local (departamento de Córdoba) en el periódico digital la razón publicó dos artículos en el que se trata la erosión costera, el primero titulado: por décadas se ha subestimado la erosión costera en Córdoba, en este el Gobernador del departamento - Orlando Benítez Mora sostuvo que, la erosión costera en general en toda la región de la zona costera es una preocupación evidente, producto de subestimar este problema históricamente hoy tenemos una crisis general.

En este orden de ideas en la tabla 1, se muestran los diferentes estudios y monitoreos que se han realizado de las zonas costeras del departamento de Córdoba, por lo que desde la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge - CVS se ha venido documentando la información solo durante los últimos 7 años.

Tabla 1

Estudios de erosión costera realizados en el departamento de Córdoba.

NOMBRE	AÑO	Nº Convenio
INFORME TÉCNICO FINAL - MONITOREO DE LA EROSIÓN DE LOS ENTES TERRITORIALES DE LA UAC COSTERA DEL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA	2013	
INFORME TÉCNICO FINAL - MONITOREO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS MARINO COSTERAS Y PERFILES DE PLAYA Y CAMPOS DE LÍNEA DE COSTA DEL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.	2014	Convenio Especial de Cooperación No. 022

INFORME TÉCNICO FINAL - ESTUDIO DE VULNERABILIDAD POR EROSIÓN COSTERA DEL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA Y LINEAMIENTOS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	2015	
INFORME TÉCNICO FINAL - AVANCES EN EL CONOCIMIENTO DE LA EROSIÓN COSTERA Y EL RIESGO ECOLÓGICO Y AMBIENTAL POR AMENAZAS FÍSICAS EN LA ZONA COSTERA DEL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.	2016	Convenio No. 027
INFORME TÉCNICO FINAL - AVANCES EN EL CONOCIMIENTO Y LINEAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN COSTERA EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA	2017	Convenio 022 – 17
INFORME TÉCNICO FINAL - AVANCES EN EL CONOCIMIENTO Y LINEAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN EN LA ZONA COSTERA DEL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA	2018	Convenio No. 022 – 18 CVS-INVEMAR
INFORME TÉCNICO FINAL - AVANCES EN EL CONOCIMIENTO Y LINEAMIENTOS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN COSTERA EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA	2019	Convenio No. 014 – 19 CVS-INVEMAR

Fuente: Elaboración propia con base en información de la CAR – CVS.

Sin embargo, aunque existen los anteriores estudios generales del departamento de Córdoba, no se han enfocado en la zona de objeto del proyecto (Sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios), ni tampoco existen estudios anteriores al año 2013, porque solo se han analizado los últimos 7 años (2013-2019). Es así que se hace de vital importancia tener una referencia desde el año 2006 y una visión al año 2031 y 2041, lo cual permitirá tener un nivel de mayor detalle, que ayude a tomar decisiones para el manejo y control de este tipo de fenómenos que muchas veces se comportan de manera agresiva en estos sectores.

1.4. Justificación

Las zonas costeras cumplen una función vital como barrera natural contra el viento, las olas, y representan un valor agregado para comunidades en países dependientes del turismo, como Colombia. A lo anterior se suma que este País es uno de los cinco con mayor diversidad marina en el mundo, sus costas se extienden por 2.900 km y su mar territorial alcanza casi el millón de kilómetros cuadrados. En las 2.000 especies de peces se encuentra el 8% de la riqueza íctica mundial y aproximadamente un 14% de los peces marinos conocidos por el hombre. El país cuenta además con 2.500 especies de moluscos, 35 especies de mamíferos y 82 de aves marinas (Revista Encolombia, 2015).

De la misma manera es importante precisar que la erosión costera es producida por procesos propios de la dinámica natural de los ecosistemas, cuyo desarrollo o avance genera conflictos cuando hay presencia de comunidades o elementos expuestos que generan situaciones de riesgo ante la población, generando una situación de vulnerabilidad ante una amenaza latente creando en ella un nivel de riesgo existente que es importante estudiar, analizar sus causas y generar soluciones que reduzcan el riesgo y aumentar la resiliencia entre los pobladores de Puerto Rey y Minuto de Dios.

Este estudio de evaluación de la variación espaciotemporal de la línea de costa para el municipio de Los Córdoba es de vital importancia, ya que permite generar conocimiento y establecer un registro de los procesos de erosión y acreción en la línea de costa en el municipio, para generar insumos que permitan planificar diferentes alternativas de solución para este

fenómeno que amenaza estos sectores , lo cual se convierte en una línea base o una carta de navegación para los entes territoriales, sobre cómo saber proceder y qué medidas son más factibles a la hora de desarrollar acciones y proyectos en el territorio.

Los estudios generados en esta monografía pueden ser incluidos como línea base en la planificación territorial de los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios siendo así, zonas incluidas y priorizadas en los instrumentos de planificación, que con la articulación de los diferentes actores como la alcaldía municipal de los Córdoba, Unidad de Gestión Del Riesgo Municipal, Departamental y Nacional permitan generar las medidas tendientes a la reducción del riesgo enmarcadas en soluciones de ingeniería y/o bioingeniería al detalle, reubicación de la población, rehabilitación de manglares, medidas que mitiguen esta problemática de erosión costera en la región, puesto que aspectos como el ordenamiento del territorio son fundamentales, lo mismo que la inclusión de las variables de riesgo y cambio climático para la intervención adecuada del territorio y lograr mitigar los efectos de la erosión sobre la línea costera.

1.5. Objetivos

1.5.1. *Objetivo general*

Evaluar la variación espacio-temporal de línea de costa (período 2006-2021) en los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios en el municipio de Los Córdoba del departamento de Córdoba.

1.5.2. *Objetivos Específicos*

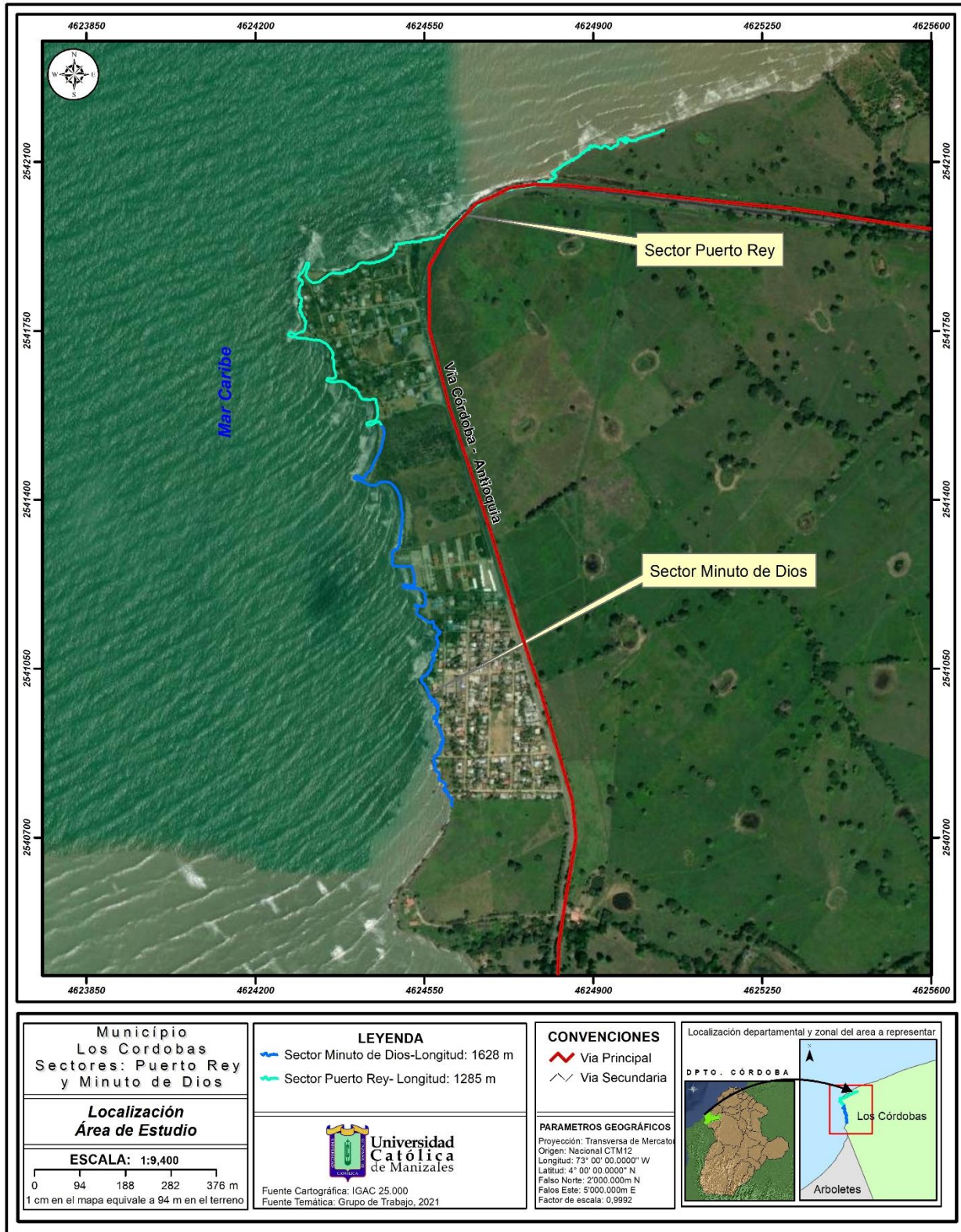
- Realizar un levantamiento fotogramétrico de la línea de costa al año 2021 en los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios.
- Evaluar el cambio de línea de costa (período 2006 - 2021) en los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios en el municipio de Los Córdoba.
- Estimar de acuerdo a los datos obtenidos, una proyección del cambio de línea de costa al año 2031 y 2041 en los sectores Puerto Rey y Minuto de Dios en el municipio de Los Córdoba.

1.6. Contexto Geográfico De Estudio

El área de estudio está conformada por los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios localizados en el municipio de Los Córdoba, departamento de Córdoba, Colombia, hacen parte de la cuenca o área hidrográfica Caribe, Subcuenca del Río Canalete y otros Arroyos Directos al Caribe como lo muestra el Estudio Nacional del Agua, 2015, en la Figura 1 se puede apreciar la localización específica de los sectores.

Los sectores objeto de investigación limitan en la parte nor-este con el municipio de Arboletes, perteneciente al departamento de Antioquia, de igual manera es importante resaltar que por ellos pasa una vía principal que comunica estos dos departamentos (Córdoba - Antioquia); según el departamento Nacional de Planeación - DNP, 2020 el municipio de los Córdoba está en categoría sexta (6) según la ley 616, tiene una población de 19.314 habitantes, con una densidad poblacional de 44,92 hab/km² y una superficie de 430 km² (43.000 ha).

Figura 1.
Localización de los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios.



1.7. Marco Teórico

Para el desarrollo de este presente capítulo se contextualizan las diferentes teorías, métodos, herramientas y técnicas utilizadas para la evaluación del cambio de la línea de costa producida por el fenómeno natural de la erosión costera, partiendo del hecho de definir que este fenómeno es el retroceso de la línea de costa con pérdidas importantes de playas y terrenos que albergan ecosistemas aptos para las actividades humanas (Merlotto y Bertola, 2007), producida por causas naturales como el aumento del nivel del mar, aumento de los eventos climáticos extremos a causa del incremento del aumento de la temperatura global, características naturales geotécnicas de las rocas y sedimentos, diapirismo de lodo, tectónica y la subsidencia del terreno, entre otras.

Como también debido a causas antrópicas causantes del aumento de la tasa de erosión por mala gestión de las zonas costeras derivadas del inadecuado ordenamiento y planificación territorial, extracción de arenas y guijos en playas o en el lecho de los ríos, construcción de obras fijas, que perturban los procesos de transporte litoral de arenas, tala indiscriminada de manglares y daño a los arrecifes de coral los cuales son ecosistemas que cumplen la función principal de ser protección natural a la línea de costa, puesto que según estudios del INVEMAR, 2015: “Sin la protección natural de los ecosistemas marino costeros (manglares y corales), la vulnerabilidad costera regional a la erosión y marejadas provocadas por tempestades incrementadas sustancialmente, 49% de las costas de la región caribe colombiana tendría la categorización como altamente o muy altamente vulnerable, mientras solo 31.7% de las costas tendría muy baja o baja vulnerabilidad a erosión costera y marejadas.

Partiendo del conocimiento del riesgo como un proceso construido en el tiempo por la sociedad en el que se contextualiza que los desastres no son naturales, y que por el contrario existen factores políticos, sociales y culturales que inciden en el grado de vulnerabilidad de los individuos al momento de enfrentar y recuperarse de la ocurrencia de un evento físico. En consecuencia, no siendo los desastres una mera causa de la naturaleza, puesto que la erosión costera es producida por procesos propios de la dinámica natural de los ecosistemas, cuyo desarrollo o avance genera conflictos cuando hay presencia de comunidades o elementos expuestos que generan situaciones de riesgo ante la población, se reconoce que el riesgo y por tanto los desastres son una construcción social que está determinada por la relación entre los ecosistemas naturales y la cultura de la sociedad, que a su vez está claramente definida por el modelo de desarrollo adoptado.

Por lo anteriormente mencionado, es necesario pensar en la importancia de la ordenación territorial marítima, más aún cuando el 45 % de total del territorio colombiano es marino, por ello en miras de poseer instrumentos de planificación que fortalezcan la gobernanza y la capacidad de las comunidades por parte del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo sostenible tiene a disposición un Plan Maestro de Erosión Costera (MADS, 2017), el cual tiene como objetivo desarrollar una visión y una estrategia nacional a largo plazo, integral, sostenible y con un adecuado respaldo técnico, financiero e institucional, a fin de prevenir, mitigar y controlar la erosión y sus consecuencias en las costas de Colombia; tiene como propósito principal implementar un modelo de gobernanza que permite la coordinación efectiva de las acciones interinstitucionales y sectoriales a nivel del Estado, así como el empoderamiento de las poblaciones locales para la implementación de los acuerdos sobre el manejo de los recursos y las estrategias de prevención y mitigación del riesgo asociado.

La erosión costera puede evaluarse desde dos aspectos, en el tiempo y el espacio, de esta forma se puede analizar si una costa se está erosionando, en qué grado, y debido a qué. Su estudio se define desde tres elementos básicos: el balance sedimentario que nos dirá a dónde va el sedimento, la forma de medir la erosión, cómo debe estudiarse y las medidas que deben tomarse. La erosión costera producida por el tiempo puede entenderse desde los dos estados extremos de la playa, bonanza y temporal, en donde coexisten cíclicamente en el tiempo: de un estado de bonanza, se pasa a otro de temporales que hacen variar la playa para transformarse en un elemento disipativo de la energía más eficaz, lo que provoca una reducción de anchura de playa seca y un aumento de su zona mojada, con plataformas en la playa sumergida de pequeño calado que provoca las típicas roturas sucesivas de oleaje; finalizado el período de temporales, el mar va devolviendo lentamente la arena depositada en los fondos de la playa sumergida a la playa seca para conformar una playa típica de período de bonanza.

En cambio, la erosión producida por el espacio el cual puede ser entendida desde dos tipos de erosiones: Generalizada el cual se produce cuando todo un tramo de costa, amplio y que ocupa todo o prácticamente todo el sistema litoral, se encuentra en erosión. y parcial de un tramo de costa, el cual afecta solamente a una zona de la playa, no transmitiéndose al resto, aunque a veces ésta indica el inicio de una erosión generalizada; por tanto, la erosión parcial puede ser de dos tipos: debido a un desequilibrio del sistema o como inicio de una erosión generalizada (SNET,2018).

La erosión costera se puede medir a través del tiempo mediante la comparación del estado de un tramo de costa en dos tiempos distintos y determinando a partir de este las variaciones que se

han producido en él a lo largo del tiempo. El plano de análisis y evaluación estaría formado por una serie de imágenes fotogramétricas que indicarían las zonas de erosión y las zonas de aumento. Compensando unas con otras, se determinaría si ese tramo se ha perdido, está en erosión o ha ganado sedimento, está en aumento, o no ha variado. Entonces se recurre a determinar los cambios que se producen en un tramo de costa mediante Planos de Evolución de la Línea de Costa, que son restituciones fotogramétricas de la línea de orilla en un instante determinado, determinadas a través de vuelos fotogramétricos o fotografías espaciales de satélite, mediante esta técnica se puede conocer de forma sencilla y práctica como ha ido variando la línea de costa a lo largo del tiempo (SNET,2018). Es de resaltar que es fundamental determinar las líneas de playa que se erosionaron en determinados tiempos (10, 30, 50 o 100 años). Una vez determinadas estas líneas y realizar los demás estudios pertinentes, se tendrá un criterio adecuado para la toma de decisiones relativas a la planificación y ordenamiento de un territorio.

El análisis de la peligrosidad natural de la erosión costera determinada como “tasas de erosión” es expresado en metros de retroceso/año, para determinar su cálculo es totalmente importante tener en cuenta estas dos fases: (I) La obtención de datos o fuentes de información (cartografía, fotografía aérea, teledetección espacial, GPS, altimetría láser aerotransportada) que permitan “reconstruir” la posición de la línea de costa en fechas pasadas y esto hace referencia a la posibilidad de localizar con una determinada precisión métrica antiguas líneas de costa y (II) La utilización de técnicas adecuadas para medir geográficamente los cambios, así como procedimientos analíticos para calcular la tasa de erosión.

En cualquiera de los casos la fotografía aérea constituye el documento más utilizado para el cálculo de tasas de erosión, como de igual manera es necesario subrayar la especial importancia de definir la línea de costa a utilizar, siendo su definición un criterio que no viene totalmente establecido si no que es “interpretado” por el investigador o técnico; y también siendo de importancia evaluar la precisión de las fuentes de información ya que, en parte, condicionan las escalas espaciales a las que se puede trabajar, siendo la fotogrametría digital en combinación con GPS y la altimetría láser aerotransportada las mejores adaptadas a la evaluación del riesgo por erosión costera ya que permiten obtener cualquier tipo de tasa de erosión y no pierden continuidad espacial, proporcionando información altimétrica de precisión (J. Zújar, 2001).

En la actualidad se utilizan dos enfoques metodológicos para la evaluación completa del riesgo de la peligrosidad natural por riesgo calculado en tasas de erosión: el análisis de tendencias históricas y la modelización numérica. El primer enfoque se sustenta en el cálculo de las tasas de erosión pasadas y en proyectar estas hacia el futuro, es decir calcular la posición de la costa en 20, 30 ó 60 años haciendo retroceder la costa la distancia correspondiente a la tasa multiplicada por el número de años a proyectar; este método parte de la hipótesis de que el comportamiento de la costa será igual en el futuro que el constatado en el pasado y, por lo tanto, no se necesita más que proyectar la posición de la costa linealmente.

El segundo enfoque metodológico se sustenta básicamente desde dos aproximaciones las cuales son los modelos de líneas que predicen la evolución de una o N líneas a largo plazo, este método modeliza fundamentalmente el transporte transversal en áreas de pequeñas dimensiones, es decir para la predicción de la evaluación de playas arenosas y en la incidencia de obras de infraestructura

costera. También utilizados los modelos de malla, es decir que sobre una malla definida sobre el espacio a modelizar y con los resultados de los modelos de propagación, corrientes y transporte, se calcula la variación del fondo en cada punto de la malla para un intervalo de tiempo determinado; los resultados de este análisis pueden servir como “input” para modelizar un nuevo período y así sucesivamente. posteriormente se podría pedir al sistema la posición de la línea de costa para una fecha determinada y utilizar en un entorno SIG la evaluación del riesgo por erosión costera (J. Zújar, 2001).

1.8. Marco Normativo

Para el desarrollo de la presente investigación se abordan las siguientes normas, decretos y resoluciones en relación a la evaluación de la erosión costera en los sectores Puerto Rey y Minuto de Dios del municipio de Los Córdoba, en materia de gestión del riesgo, gestión ambiental, ordenamiento territorial, planificación territorial entre otras:

- **Política nacional ambiental para el desarrollo sostenible de los espacios oceánicos y las zonas costeras e insulares de Colombia (PNAOCI).**
- **Política nacional del océano y los espacios costeros (PNOEC).**
- **Proyecto de Ley No. 008-14 Senado.** “Por medio de la cual se expiden normas para la protección y utilización de la zona costera del territorio marino costero de la nación y se dictan otras disposiciones - Ley de Costas.”
- **Conpes 3700 de 2011.** “Estrategia institucional para la articulación de políticas y acciones en materia de cambio climático en Colombia”.

- **Ley 629 de 2000.** Por medio de la cual se aprueba el “Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático” y que cobra relevancia en la zona costera en cuanto a investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro del dióxido de carbono y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales.
- **Ley 1523 de 2012:** “Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones”.
- **Ley 99 de 1993: Ley General Ambiental de Colombia** “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones”.
- **Ley 388 de 1997: ley orgánica de ordenamiento territorial** “Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, y la Ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones”.
- **Decreto 2811 de 1974** “Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente”.

1.9. Marco Conceptual

Para el desarrollo del tema investigativo, se hace necesario abordar los principales conceptos en relación a la evaluación de la erosión costera en los sectores Puerto Rey y Minuto de Dios del municipio de Los Córdoba, entendiéndose en primera instancia que el riesgo es un proceso construido por la sociedad y cuando se dan escenarios propicios en los que se combinan vulnerabilidad y amenaza en una comunidad, se puede presentar exactamente una situación de

desastres es por lo cual que al ser la erosión costera un proceso propio de la dinámica natural de los ecosistemas, se convierte en un conflicto cuando hay presencia de comunidades o elementos expuestos que generan situaciones de riesgo ante la población, por lo tanto con el fin de comprender e interpretar la presente investigación se establece la siguiente terminología:

- **Amenaza natural:** Peligro latente asociado con la posible manifestación de un fenómeno físico cuya génesis se encuentra totalmente en los procesos naturales de transformación y modificación de la tierra y el ambiente- por ejemplo, un terremoto, una erupción volcánica, un tsunami o un huracán y que puede resultar en la muerte o lesiones a seres vivos, daños materiales o interrupción de la actividad social y económica en general (UNGRD,2017).
- **Amenaza socio-natural:** Peligro latente asociado con la probable ocurrencia de fenómenos físicos cuya existencia, intensidad o recurrencia se relaciona con procesos de degradación o transformación ambiental y/o de intervención humana en los ecosistemas. Ejemplos de estos pueden encontrarse en inundaciones y deslizamientos resultantes de, o incrementados o influenciados en su intensidad, por procesos de deforestación y deterioro de cuencas; erosión costera por la destrucción de manglares; inundaciones urbanas por falta de adecuados sistemas de drenaje de aguas pluviales (UNGRD,2017).
- **Ciclón tropical:** Es un sistema meteorológico que se genera sobre aguas marítimas de zonas tropicales y subtropicales, asociados a bajas presiones atmosféricas con circulación cerrada de los vientos de superficie alrededor de un centro bien definido (INVEMAR, 2012).
- **Erosión costera:** La erosión costera es el avance del mar sobre la tierra, medido en un período de tiempo suficientemente amplio para eliminar las fluctuaciones del clima, de las tormentas y de los procesos sedimentarios a nivel local (INVEMAR, 2012).

- **Acreción Costera:** La acreción costera es definida como la acumulación de sedimentos (sedimentación) y la consolidación de terrenos por encima del nivel de las mareas, usualmente la sedimentación se consolida como espigas en los extremos de las islas, gracias a la acción de la deriva litoral o se consolidan nuevas tierras a partir del crecimiento de bajos formados por las corrientes mareales, entre otros (Posada et al., 2009).
- **Tsunami:** Serie de olas producidas por perturbaciones fuertes e inesperadas de una masa de agua, generalmente del océano. En su gran mayoría es producida por sismos en el lecho marino, aunque también se puede producir por erupciones volcánicas, deslizamientos en el lecho de los cuerpos de agua o en sus orillas y menos frecuentemente por la caída de un meteorito (INVEMAR, 2012).
- **Sistema de Información Geográfica:** Es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión (n/a, 2020).
- **Levantamiento fotogramétrico:** es la elaboración de un plano que indica con mucha precisión la forma, dimensiones y posición de un objeto (Sur CIESAS,2020)
- **Línea de costa:** Es una línea doble, compuesta por la línea de la pleamar y la línea de la bajamar, de forma que delimita, en sentido horizontal, la zona de transición entre la tierra y el mar allí donde las mareas son apreciables y que se confunden en una sola donde no lo son o, aun siéndolo, no exista zona de transición debido a la verticalidad del terreno o construcción artificial permanente (Armada Española, 2017).
- **Fotografía aérea:** Es una proyección perspectiva de un área del terreno desde un centro de proyección elevado, de manera que los puntos están desplazados y tiene una escala

decreciente desde el nadir. Según la relación entre la estación de cámara y la escena, la fotografía aérea puede ser vertical, oblicua u horizontal (Instituto Geológico Cartográfico de Cataluña, 2008).

- **Gestión del Riesgo:** proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible (Art.1: Ley 1523 de 2012).
- **Construcción social del riesgo:** Se refiere a los procesos a través de los cuales la sociedad y los distintos agentes sociales contribuyen a la creación de contextos y entornos de riesgo. Esto ocurre o por la transformación de eventos naturales en amenazas debido a la inadecuada ubicación de edificaciones e infraestructuras, producción y satisfactores de la vida etc.; por la transformación de recursos naturales en amenazas a través de procesos de degradación ambiental; o por la creación y consolidación de condiciones diversas de vulnerabilidad, las cuales potencian la acción negativa de las amenazas y eventos peligrosos (UNGRD,2017).
- **Comunidad:** Grupo de personas que se localiza en un espacio determinado y establecen vínculos espontáneos de solidaridad construidos en el tiempo. Esta interacción hace posible que se generen elementos de identidad que favorecen la cohesión y el auto reconocimiento del grupo. Por su parte, una comunidad vulnerable es aquella que, ante un evento extremo, puede recibir mayor afectación, debido a factores como la localización y a la incapacidad para implementar acciones de prevención y adaptación orientadas a la recuperación de sus medios de subsistencia en el corto plazo (UNGRD,2017).

- **Infraestructura indispensable:** Las estructuras físicas, instalaciones redes y otros bienes que proveen servicios que son esenciales para el funcionamiento socioeconómico de una comunidad (UNGRD,2017).
- **Plan de gestión del riesgo de desastres:** Es el instrumento que define los objetivos, programas, acciones, responsables y presupuestos, mediante las cuales se ejecutan los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y de manejo de desastres, en el marco de la planificación del desarrollo (UNGRD,2017).
- **Prevención de riesgo:** Medidas y acciones de intervención restrictiva o prospectiva dispuestas con anticipación con el fin de evitar que se genere riesgo. Puede enfocarse a evitar o neutralizar la amenaza o la exposición y la vulnerabilidad ante la misma en forma definitiva para impedir que se genere nuevo riesgo (Ley 1523 de 2012).
- **Riesgo de desastres:** Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad (Ley 1523 de 2012)
- **Amenaza:** Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (Ley 1523 de 2012).

- **Análisis y evaluación del riesgo:** Implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y la recuperación (Ley 1523 de 2012).
- **Evaluación de riesgos:** Proceso de comparación de los resultados de análisis de riesgos con criterios de riesgo para determinar si el riesgo y/o su magnitud es aceptable, el cual ayuda a la decisión sobre las medidas de reducción del riesgo a implementar (UNGRD,2017).
- **Comunicación del riesgo:** Es el proceso constante y transversal que se realiza para proveer, compartir y obtener información y comprometer tanto a la comunidad, las instituciones y el sector privado en la gestión del riesgo de desastres (UNGRD,2017).
- **Conocimiento del riesgo:** Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre (Ley 1523 de 2012).
- **Escenario de riesgo:** Son fragmentos o campos delimitados de las condiciones de riesgo del territorio presentes o futuras, que facilitan tanto la comprensión y priorización de los

problemas como la formulación y ejecución de las acciones de intervención requeridas (UNGRD,2017).

- **Exposición (elementos expuestos):** Se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza (Ley 1523 de 2012).
- **Grado de exposición:** Estado o valor que puede tener la población, las propiedades, los sistemas u otros elementos presentes en las zonas donde existen amenazas, y por consiguiente, están expuestos a experimentar pérdidas potenciales.
- **Monitoreo del riesgo:** Es el proceso orientado a generar datos e información sobre el comportamiento de los fenómenos amenazantes, la vulnerabilidad y la dinámica de las condiciones de riesgo en el territorio (UNGRD,2017).
- **Nivel de riesgo:** Magnitud de uno o varios riesgos expresada mediante la combinación de las consecuencias y la probabilidad de ocurrencia. En Colombia, el nivel de riesgo se expresa comúnmente en tres categorías: Alto, Medio y Bajo mediante tres colores Rojo, Amarillo y Verde respectivamente. Su utilidad radica en que se convierte en la base para la estimación del costo/beneficio de las medidas de intervención territorial como la intervención correctiva y prospectiva del riesgo y la protección financiera (UNGRD,2017).
- **Vulnerabilidad:** Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus

sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos (Ley 1523 de 2012).

- **Cambio climático:** Importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). El cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras (Ley 1523 de 2012).
- **Capacidad de adaptación:** Capacidad de un sistema y de sus partes de anticipar absorber, acomodar o recuperarse de los efectos de un disturbio de una forma oportuna y eficiente. Esto incluye la capacidad para preservar, restaurar y mejorar sus funciones y estructuras básicas (UNGRD,2017).
- **Código de construcción:** Una serie de ordenamientos o reglamentos relacionados con estándares que buscan controlar aspectos de diseño, construcción, materiales, modificaciones y ocupación de cualquier estructura, los cuales son necesarios para velar por la seguridad y el bienestar de los seres humanos, incluida la resistencia a los colapsos y a los daños (UNGRD,2017).
- **Desarrollo sostenible:** Desarrollo que satisface las necesidades de la presente generación, promueve el desarrollo económico, la equidad social, la modificación constructiva de los ecosistemas y el mantenimiento de la base de los recursos naturales, sin deteriorar el medio ambiente y sin afectar el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para satisfacer sus propias necesidades (UNGRD,2017).
- **Riesgo aceptable:** Posibles consecuencias sociales y económicas que, implícita o explícitamente, una sociedad o un segmento de la misma asume o tolera en forma

consciente por considerar innecesaria, inoportuna o imposible una intervención para su reducción dado el contexto económico, social, político, cultural y técnico existente (UNGRD,2017).

- **Seguridad territorial:** La seguridad territorial se refiere a la sostenibilidad de las relaciones entre la dinámica de la naturaleza y la dinámica de las comunidades en un territorio en particular. Este concepto incluye las nociones de seguridad alimentaria, seguridad jurídica o institucional, seguridad económica, seguridad ecológica y seguridad social (Ley 1523 de 2012).
- **Variabilidad del clima:** La variabilidad del clima se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos (variabilidad externa) (IPCC, 2013).
- **Digital Shoreline Analysis System (Sistema de análisis de línea costera digital (DSAS):** El software Digital Shoreline Analysis System (DSAS) v5.0 es un complemento de Esri ArcGis Desktop 10.4-10.6 que permite al usuario calcular estadísticas de tasa de cambio a partir de múltiples posiciones históricas de la costa, se utiliza para calcular la línea de costa o el cambio de límites a lo largo del tiempo (Emily A. Himmelstoss *et. al*, 2018). DSAS ha sido un componente central del proyecto Coastal Change Hazards del Servicio Geológico de EE. UU.
- **Transecto:** en términos de las ciencias geográficas hace referencia a un corte transversal de un terreno (RAE, 2021).

1.10 Metodología

El desarrollo metodológico de la presente investigación se inicia definiendo el tipo de investigación, las fuentes de la información requerida, las técnicas e instrumentos que se utilizan, y por último las fases de la investigación. a continuación, se detalla en cada una.

1.10.1. *Tipo De Investigación*

Teniendo en cuenta el ciclo holístico de la investigación propuesto por Jacqueline Hurtado (2000), el método de la siguiente investigación es de tipo analítico, debido a que el objetivo general es realizar una evaluación de variación espacio-temporal de línea de costa (período 2006-2021) en los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios en el municipio de Los Córdoba del departamento de Córdoba, a través de imágenes de satélite y fotografías aéreas, período 2006 al 2021, para determinar el cambio de línea de costa y sus afectaciones en la población, como contribución al conocimiento del riesgo, determinando las causas, con el fin de darle profundidad al análisis.

Del mismo modo, esta investigación se realiza teniendo en cuenta el método de investigación mixto que permite integrar enfoques cuantitativo y cualitativo, pretendiendo analizar en el primero, variables como las expuestas en los 3 primeros objetivos (levantamiento fotogramétrico, cuantificación de cambio de línea de costa); a su vez, en el tercer objetivo se tienen un pronóstico del cambio de línea de costa.

1.10.2. Fuentes De Información

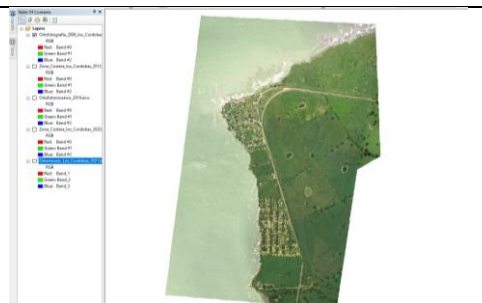
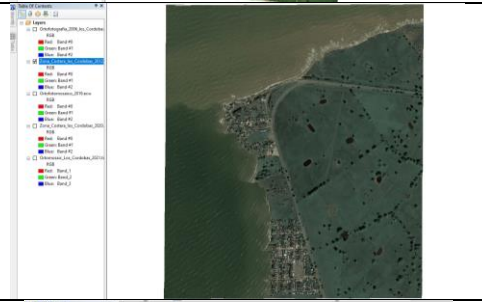
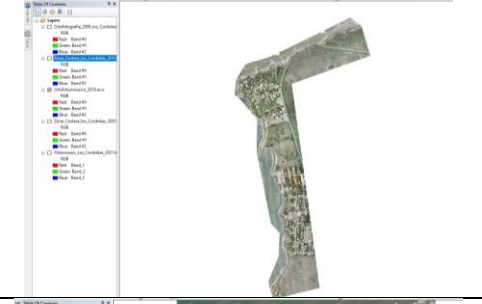
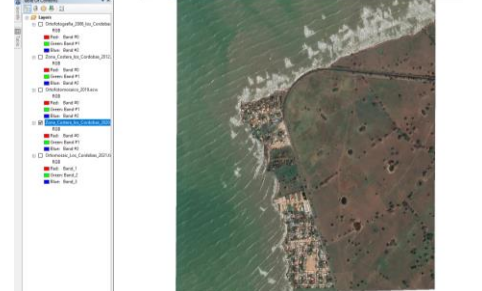
En el desarrollo de este estudio se tiene en cuenta información primaria obtenida mediante reconocimiento en campo en la cual se realizó un levantamiento fotogramétrico el 10 de mayo del 2021 para contextualizar la problemática de erosión costera y recolectar información.

En cuanto a la información secundaria se revisaron estudios realizados, abordando esta temática, y así se determinaron, los aportes que hacen a esta investigación para analizar con mayor facilidad. También se obtuvo información secundaria del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2015) como capas de datos espaciales de límites municipales, vías; de igual modo; se utiliza la fotografía aérea perteneciente a la Faja 2N, foto de la 702 – 721 del año 2006 proveniente del estudio: Diagnóstico Ambiental de las cuencas de los ríos Los Córdoba, Mangle y Cedro, quebradas Yuca y Broqueles y áreas de escorrentía directa al mar, en el departamento de Córdoba realizado por la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge- CVS, versión del 28/12/2006; también se descargaron y georreferenciaron las imágenes satelitales de Google Earth con disponibilidad de las escenas desde el año 2012 y 2020 con una resolución espacial que no supera un (1) metro.

Por último, se utilizaron los levantamientos fotogramétricos realizados con dron para el año 2019, proveniente de la subdirección de gestión ambiental de la CAR-CVS, mientras que para el año 2021 la información fue levantada en campo por el presente equipo de trabajo, a continuación, en la tabla 2 se muestra detalladamente las características de la información utilizada.

Tabla 2

Fotografías aéreas e imágenes satelitales empleadas para el análisis de cambio de la línea de costa

AÑO DE LA IMAGEN (DD/MM/AA)	FUENTE DE INFORMACIÓN	RESOLUCIÓN ESPACIAL	VISUALIZACIÓN DE LA IMAGEN
28-06-2006	Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge- CVS	50 cm	
02-12-2012	Google Earth	70 cm	
22-08-2019	Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge- CVS	3 cm	
09-02-2020	Google Earth	1 m (100 cm)	

10-05-2021	Fuente Propia	2.8 cm
------------	---------------	--------

1.10.3. Técnicas E Instrumentos

Entre las técnicas o procedimientos que se emplearon está la observación, para identificar las zonas erosionadas y el comportamiento de esta en la zona de estudio, así mismo fue necesario la utilización de un vehículo Aéreo no tripulado o dron para realizar el levantamiento fotogramétrico de los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios. En la tabla 3 se muestra las características del equipo.

Por otro lado, también fue necesario el empleo de los sistemas de información geográfica para el procesamiento y análisis de los datos obtenidos, softwares de procesamiento de fotografías aéreas: Pix4D Capture, Pix4D Mapper, ArcGIS, entre otros.

Tabla 3

Características Dron DJI Phantom 4 Pro

	
Peso (batería y hélices incluidas):	1388 g
Velocidad Máxima (modo P):	31 m/s
Velocidad de ascenso Máx.:	6 m/s (Modo Sport)
Velocidad de descenso Máx:	4 m/s (Modo Sport)

Modo GPS:	GPS/GLONASS
Sensor:	1" CMOS Effective pixels: 20M
Lente:	FOV 84 ° 8.8 mm / 24 mm (equivalente en formato de 35 mm) f / 2.8 - f / 11 enfoque automático a 1 m - ∞
Rango de ISO:	100-3200 (video) 100-3200 (video).
Velocidad de Obturación:	8 1 /8000s
Gimbal Rango controlable:	paso 90° a +30°
Batería Controlador Remoto:	6000 mAh LiPo 2S
Radiocontrol:	2.400 GHz (alcance de 2km)
Rango de detección obstáculo:	0.6 - 23 pies (0.2 - 7 m)

Fuente: Elaboración propia con base en manual del usuario V1.2 Phantom 4 PRO/PRO (2017).

1.10.4. Fases O Etapas De La Investigación

El desarrollo de esta investigación se realizó en 4 momentos, el primero fue una fase de recolección de información, para posteriormente en la segunda fase tratar la información, en la tercera fase se analizaron e interpretaron los resultados, para finalmente en la última etapa elaborar el informe final, a continuación, se describen cada una de ellas.

1.10.4.1. Fase De Recolección De La Información.

En esta fase de investigación se inicia realizando una revisión en la literatura de la temática de erosión costera, se revisa la información disponible artículos de periódico, informes de la Corporación Autónoma Regional de Los Valles del Sinú y San Jorge - CVS, fotografías Aéreas, ortofotomosaicos, levantamientos fotogramétricos con dron de años anteriores, se revisaron los

instrumentos de planificación como Plan Municipal de Gestión de Riesgos - PMGRD, Plan Básico de Ordenamiento Territorial, entre otros.

Teniendo en cuenta que se tiene conocimiento que en la CAR - CVS, cuentan con levantamientos fotogramétricos del año 2019, se realizó una salida a campo en el mes de mayo del año 2021 que permitió analizar el panorama actual de la problemática hasta la fecha, para realizar el análisis correspondiente. En cuanto a la información de años anteriores a 2019 se utilizaron imágenes de satélite disponibles en Google Earth años 2012 y 2020 y fotografías aéreas del año 2006.

1.10.4.2. Fase De Tratamiento De La Información.

Para el tratamiento de la información se utilizaron los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con el fin de organizar la información recopilada, evaluándose las capas de datos espaciales referente a línea de costa para cada año correspondiente; después de tener toda la información geográfica recolectada (línea de costa por año, puntos de recolección de información en campo etc.), se procesó mediante el software ArcGis 10.3.

Es de mencionar, la utilización de los planteamientos realizados por diferentes autores como Posada y Rangel-Buitrago, 2009, Navarrete-Ramírez, S. M. 2014 en documento (protocolo indicador -Variación de línea de costa: Perfiles de Playa) realizado por el INVEMAR, donde se reitera la utilización de los SIG para cuantificar la erosión costera.

1.10.4.3. Técnicas De Análisis Espacial Empleadas.

El procesamiento de los datos geográficos a partir softwares especializados se ha marcado como una tendencia dentro de la investigación de la disciplina de las ciencias básicas y las herramientas o técnicas de análisis espacial, es un insumo que tienen los profesionales para inferir la distribución de un fenómeno en el espacio geográfico, variación espaciotemporal, determinar y cuantificar fenómenos como la erosión costera. En tanto, estas técnicas son empleadas en el análisis, se relaciona el efecto que una variable pueda tener sobre el territorio. En este sentido, la presente investigación analiza el comportamiento o variación espaciotemporal de la línea de costa en dos sectores del municipio de los Córdoba, departamento de Córdoba.

La Variación espaciotemporal de la línea de costa se realizó teniendo en cuenta diferentes autores como Posada y Rangel-Buitrago, 2009, Navarrete-Ramírez, S. M. 2014 en el protocolo indicador -Variación de línea de costa: Perfiles de Playa publicado por el INVEMAR, donde se reitera la utilización de los SIG para cuantificar la erosión costera. Es así que el análisis de pérdida o ganancia de la línea de costa puede realizarse, a partir del cálculo de extensión de los ecosistemas costeros, mediante la comparación simple entre la zona continental actual y la zona continental de referencia (INVEMAR, 2003).

Los cálculos de la línea de costa se llevan a cabo realizando una interpretación de las imágenes satelitales y levantamientos fotogramétricos con dron, donde se tiene como resultado diferentes capas de información geográfica, una vez generado el shape file (archivo vector) correspondiente a la línea de costa de cada foto o imagen empleada, se miden las variaciones empleando la herramienta o complemento de ArcGis denominada Digital Shoreline Analysis System (DSAS).

En lo referente al pronóstico de cambio de línea de costa se utilizó el método de regresión lineal que incluye las siguientes características (1) se utilizan todos los datos, independientemente de los cambios en la tendencia o la precisión, (2) el método es puramente computacional, (3) el cálculo se basa en conceptos estadísticos aceptados, y (4) el método es fácil de emplear (Dolan y otros, 1991; Crowell y otros, 1997). Y se puede determinar ajustando una línea de regresión de mínimos cuadrados a todos los puntos de la costa para un transecto. La línea de regresión se coloca de manera que la suma de los residuos al cuadrado (determinada al elevar al cuadrado la distancia de desplazamiento de cada punto de datos desde la línea de regresión y sumar los residuos al cuadrado) se minimiza (Emily A. Himmelstoss *et. al*, 2018).

Una vez determinado los valores de la tasa de regresión lineal (TRL), se debe tener en cuenta el error de medición y se estima a partir del intervalo de confianza (IC) y el error estándar de la regresión lineal (ERL) calculada por la herramienta DSAS en el software ArcGis en la interfaz de ArcMap. El error estándar de la medición (ERL) mide los valores predichos o estimados de Y (distancia desde la línea de base) y el cálculo para cada punto de la línea costera usando los valores de X (la fecha de la línea costera); resolviendo la siguiente ecuación para la línea de regresión:

$$y = mx + b$$

Dónde,

y : es la distancia prevista desde la línea de base,

m : es pendiente (la tasa de cambio), y

b : es la intersección con el eje y (donde la línea cruza el eje y).

El error estándar de la estimación mide la precisión de los valores predichos y comparándolos con los valores conocidos de los datos del punto de la costa. Se define como ERL para regresión lineal:

$$ERL = \sqrt{\frac{\Sigma (y - y')^2}{n - 2}}$$

Dónde,

y : es la distancia conocida desde la línea de base para un punto de datos de la costa,

y' : es el valor predicho basado en la ecuación de la línea de regresión de mejor ajuste, y

n : es el número de costas utilizadas.

El número total de puntos de la línea costera (n) se reduce en 2 porque se están estimando dos de los parámetros en la línea de regresión (la pendiente y la intersección). Los valores predichos se restan de los valores conocidos para calcular los residuos ($y - y'$). El residuo se eleva al cuadrado, y luego se añaden los residuos al cuadrado (para cada punto de la costa) (a lo largo del transecto DSAS) para obtener la suma de los cuadrados de los residuos. Esta suma se divide por el número de grados de libertad y luego se toma la raíz cuadrada del cociente para calcular el error estándar de la estimación.

1.10.4.4. Fase De Análisis E Interpretación De Resultados.

En esta fase se analizaron los resultados de las diferentes temporalidades, es decir se realiza la interpretación y digitalización de la línea de costa para cada imagen empleada que corresponde a

un período de tiempo, posteriormente se comparan y se obtienen las zonas de pérdida (erosión) y ganancia (acreción) para posteriormente evaluar el comportamiento de la erosión costera en los sectores de Puerto Rey y minuto de Dios.

1.10.4.5. Fase De Elaboración De Informe Final.

Después de analizar detalladamente el fenómeno en estudio, el cual es la erosión costera en dos sectores del municipio de Los Córdoba, se procedió a elaborar el informe final, detallado a continuación.

2. Capítulo II: Levantamiento Fotogramétrico De La Línea De Costa Al Año 2021 En Los Sectores De Puerto Rey Y Minuto De Dios

En este presente capítulo se aborda el primer objetivo (Evaluar la variación espacio-temporal de línea de costa (período 2006-2021) en los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios en el municipio de Los Córdoba del departamento de Córdoba.), en el cual se hizo necesario la utilización de un vehículo aéreo no tripulado o dron en campo para luego en oficina procesar las fotografías aéreas tomadas con la ayuda del software Pix4Dmapper y de esta manera obtener la ortofotografía u ortofotomosaico con el cual se digitaliza y cuantifica longitudes de afectación, viviendas destruidas o afectadas y caracterizar el área de estudio para la fecha, siendo este levantamiento un insumo fundamental para comparar con los levantamientos fotogramétricos e imágenes satelitales de los años anteriores (2006, 2012, 2019, 2020).

2.1. Levantamiento Fotogramétrico De La Línea De Costa Al Año 2021 En El Área De Estudio

Como parte del proceso de investigación en esta primera fase se efectuó la recolección de la información primaria, realizando el levantamiento fotogramétrico de las líneas de costa de los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios por parte del grupo investigador de este proyecto con el acompañamiento de la comunidad de los corregimientos y del señor Javier Buelvas coordinador para la Gestión del Riesgo de Desastres del municipio de Los Córdoba (ver figura 2 y 3), dicho levantamiento se realizó con un vehículo Aéreo no tripulado o dron DJI Phantom 4 Pro v2.0 se tomaron 1045 fotografías aéreas para la obtención del ortofotomosaico correspondiente al día que se realizó la visita a la zona de estudio (10 de mayo de 2021), con la ayuda del software Pix4Dmapper se procesó y se obtuvo el producto en mención, necesario para el análisis de cambio de línea de costa, como se muestra en la figura 4.

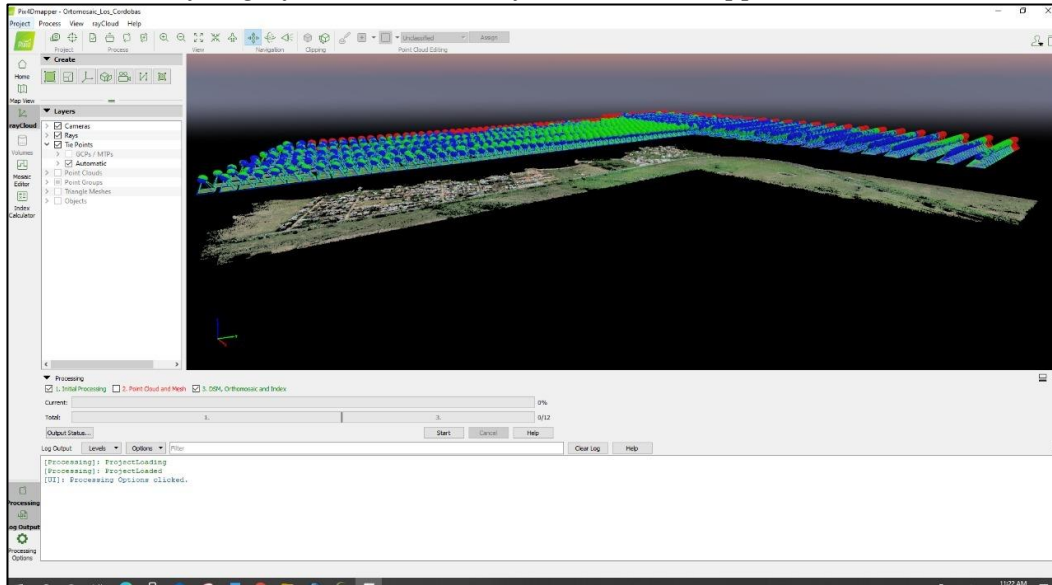
Figura 2 y Figura 3

Levantamiento fotogramétrico con Dron en campo en compañía con el CMGRD, en Los Córdoba



Figura 4

Procesamiento de las fotografías aéreas en el software Pix4Dmapper



A continuación, se muestran algunas de las fotografías aéreas tomadas para la obtención del ortofotomosaico de cada uno de los sectores inspeccionados (ver figura de la 5 a la 10):

- **Fotografías aéreas Panorámicas de los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios**

Figura 5 y Figura 6

Vista aérea panorámica de la vía a Arboletes (Antioquia)- Los Córdoba (Córdoba), la cual se encuentra expuesta a fuertes procesos erosivos, socavación y perdida de su estructura vial

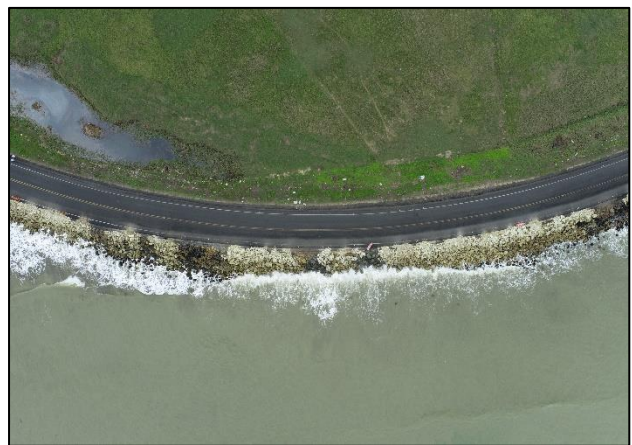


Figura 7 y Figura 8

Vista área panorámica corregimiento de Minuto de Dios, Los Córdoba, se observan viviendas expuestas ante la constante erosión y obras de control de erosión artesanales con llantas que disminuyen la fuerza de las olas contra la costa (figura 7) y el sector turístico y hotelero que ha realizado obras de mitigación para ganancia (acreción) de la costa (figura 8)

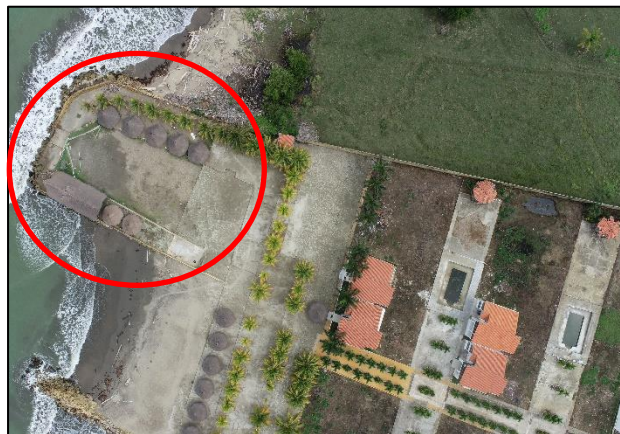


Figura 9 y Figura 10

Vista área panorámica del sector de Puerto Rey se evidencia pequeñas obras de mitigación como espolones artesanales (figura 9) y se observa la fuerza del oleaje que presenta la costa del sector (figura 10)



Por medio de la observación en campo y las fotografías aéreas tomadas se pudo evidenciar los constantes problemas erosivos y las pocas medidas de mitigación realizadas sin planificación alguna que en los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios se han realizado, las siguientes observaciones se presentan a continuación (ver figura de la 11 a la 20):

Figura 11 y Figura 12

Barrera de enrocado dispuesta sobre el talud de la vía. Se evidenciaron algunas socavaciones sobre el talud de la vía y como se puede observar, no existe distancia entre la vía y la barrera de protección, por tanto, la erosión puede afectarla.



Figura 13 y Figura 14

Disposición de rocas y material vegetal para la protección del talud contra la fuerza del oleaje. Proceso erosivo en la línea de costa (figura 13). Palmeras que cedan ante la socavación y desplome de suelo, son arrastradas por la fuerza del oleaje (figura 14)



Figura 15 y Figura 16

Edificaciones abandonadas a menos de cinco (5) metros del acantilado afectadas por el proceso erosivo, desprendimiento y desplome de suelo (15). Estructuras tipo espolón, construidas artesanalmente por la comunidad, sin los estudios técnicos necesarios (16).



Figura 17 y Figura 18

Viviendas en riesgo de desplome, ubicadas sobre el talud del acantilado dos (2) metros de altura aprox.) afectado por la erosión (figura 17). Vertimientos de aguas residuales domésticas y escorrentía de los sectores residenciales aledaños, hacia el mar (figura 18- Sector de Puerto Rey)



Figura 19 y Figura 20

Avance del proceso erosivo, en estos puntos el suelo es muy inestable, se observan desprendimientos del suelo y formación de acantilados de aproximadamente dos (2) metros de altura (figura 19). Obras de protección del talud con pilotes y llantas usadas, disposición inadecuada de residuos sólidos y material vegetal, utilizados para la protección del talud, viviendas a menos de cinco (5) metros del acantilado – sector Minuto de Dios (figura 20)



Como resultado de estas observaciones se obtuvo el el levantamiento fotogramétrico y con este la obtención del ortofotomosaico con el cual se identificó la línea de costa para el año 2021, el cual se puede evidenciar en la figura 21; con una longitud aproximada de 1708 metros en el sector Minuto de Dios y 1291 metros en Puerto Rey. En ambos se identifican acantilados con pendientes pronunciadas de hasta 90°, esto se debe a la fuerza con la cual pegan las olas en las orillas, sumado a falta de vegetación y las obras de protección que son mínimas (se identificaron 5 obras artesanales tipo espolón, solo en el sector de Puerto Rey), hacen que el proceso erosivo sea más acelerado, aumentando las pérdidas de terreno para viviendas y vías de comunicación cada año volviendo así cada vez más vulnerables a los habitantes del municipio de los Córdoba.

Se pudo evidenciar en este levantamiento fotogramétrico que existe un total de 16 viviendas, (7 en el sector de Puerto Rey y 9 en el sector de Minuto de Dios) destruidas o afectadas para la fecha

del 10 de mayo del año 2021, por la erosión costera que afecta el área de estudio, estos resultados son comparados con el levantamiento del año 2019 y la imagen satelital del año 2020 (ver figura 22 y 23). A continuación, en la tabla 4 se muestran el identificador, las coordenadas y el sector donde se encuentran:

Tabla 4

Localización de las viviendas destruidas o afectadas por erosión costera, año 2021

Identificador	Coordenadas Geográficas		Sector
	Norte	Oeste	
1	8° 53' 18.789" N	76° 24' 52.824" W	Puerto Rey
2	8° 53' 17.223" N	76° 24' 55.271" W	Puerto Rey
3	8° 53' 16.377" N	76° 24' 57.481" W	Puerto Rey
4	8° 53' 16.035" N	76° 24' 58.384" W	Puerto Rey
5	8° 53' 15.298" N	76° 24' 58.999" W	Puerto Rey
6	8° 53' 14.764" N	76° 24' 59.086" W	Puerto Rey
7	8° 53' 14.337" N	76° 24' 59.190" W	Puerto Rey
8	8° 52' 53.337" N	76° 24' 49.861" W	Minuto de Dios
9	8° 52' 51.545" N	76° 24' 50.160" W	Minuto de Dios
10	8° 52' 51.481" N	76° 24' 49.826" W	Minuto de Dios
11	8° 52' 48.290" N	76° 24' 49.834" W	Minuto de Dios
12	8° 52' 47.147" N	76° 24' 49.979" W	Minuto de Dios
13	8° 52' 46.498" N	76° 24' 49.895" W	Minuto de Dios
14	8° 52' 45.023" N	76° 24' 49.825" W	Minuto de Dios
15	8° 52' 43.798" N	76° 24' 49.954" W	Minuto de Dios
16	8° 52' 42.133" N	76° 24' 49.128" W	Minuto de Dios

Figura 21
 Levantamiento fotogramétrico del año 2021, costa de los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios.

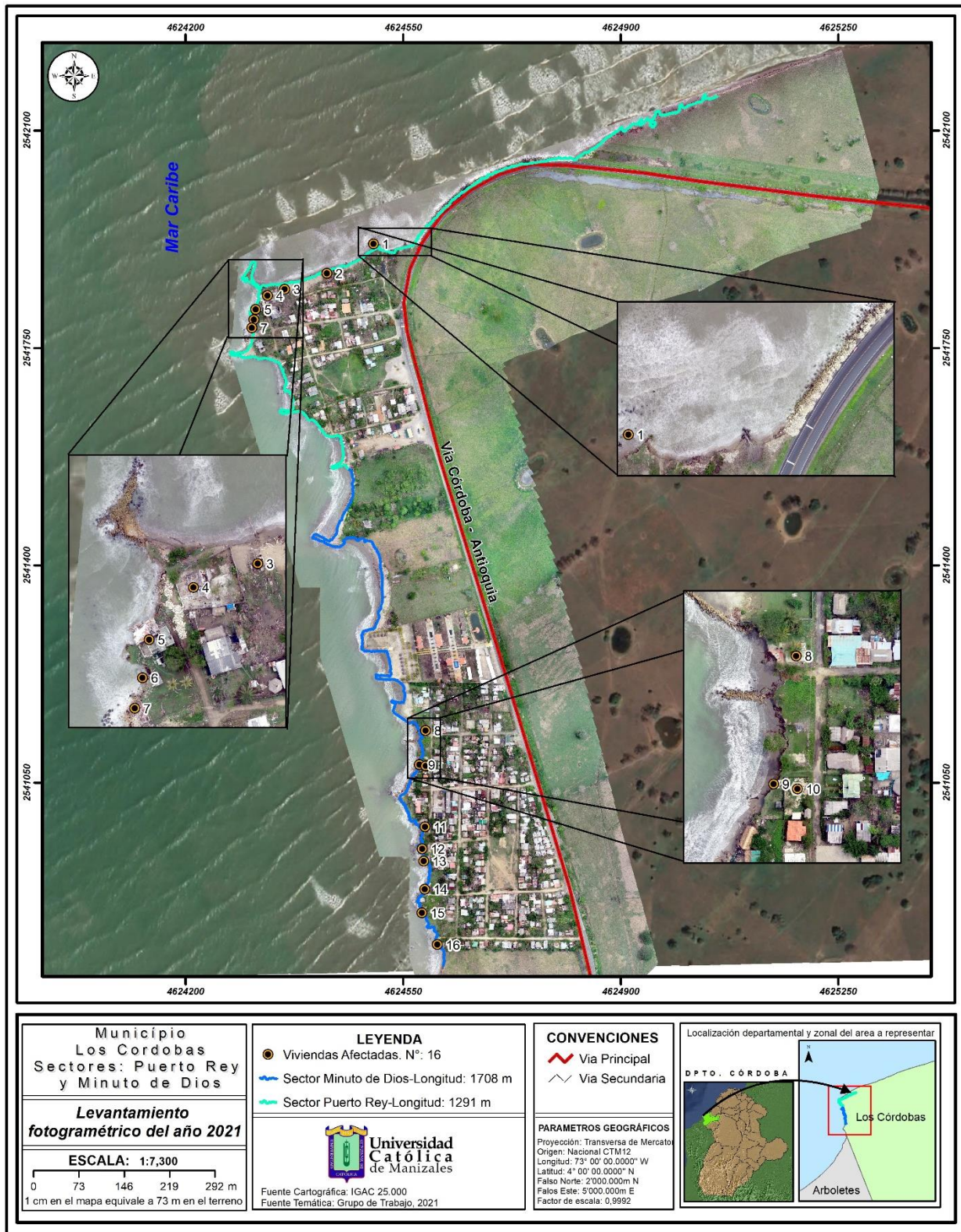


Figura 22
Línea de costa año 2019

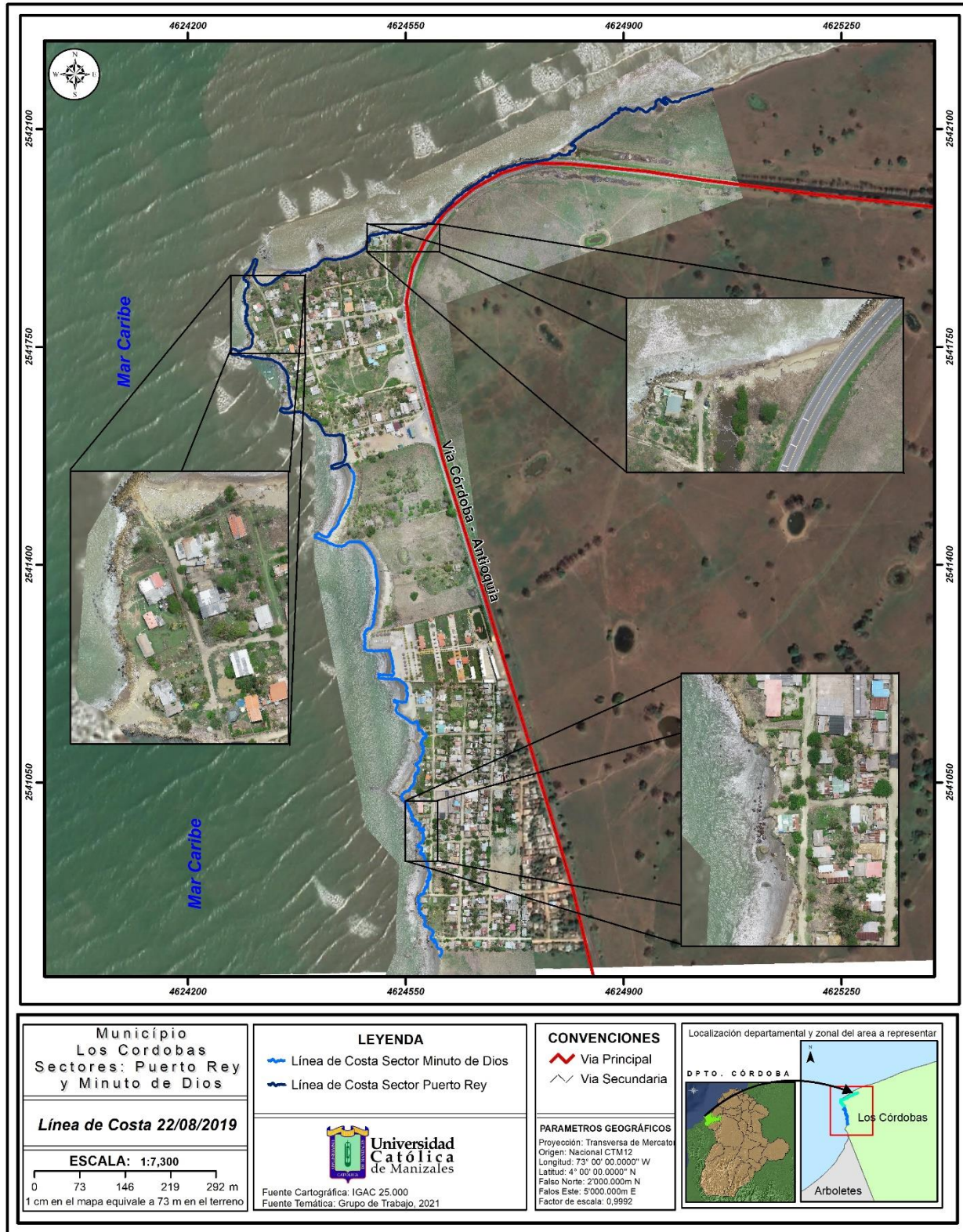
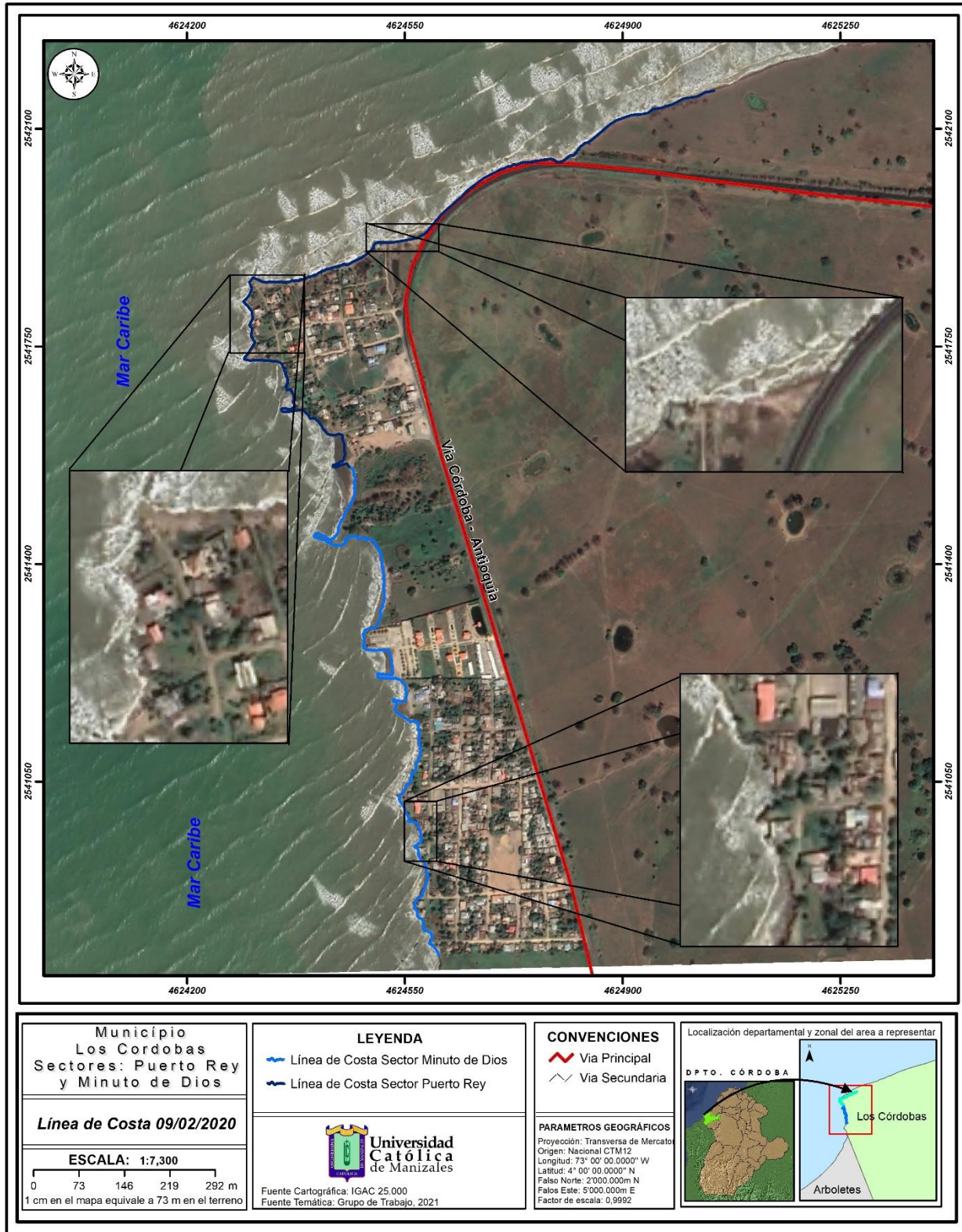


Figura 23
Línea de costa año 2020



Este levantamiento fue de vital importancia para el desarrollo de la presente investigación, lo que permitió en primera instancia dar respuesta a las preguntas de una existencia sobre una erosión costera real y sus posibles causas. De manera similar, permitió generar un análisis contundente para evaluar y comparar la actual erosión costera de los sectores Puerto Rey y Minuto de Dios y establecer un registro del actual proceso erosivo y de acreción en la línea de costa en el municipio de Los Córdoba para el año 2021. Puesto que por medio de la información primaria recolectada en campo se puede concluir que estos sectores presentan grandes procesos erosivos en sus costas, demostrando así las bondades del uso de las fotografías aéreas tomadas con dron y de esta manera se obtuvo un producto de calidad que permitió realizar una comparación en los períodos analizados con la ayuda del software ArcGis.

3. Capítulo III. Evaluación De Cambio De Línea De Costa (Período 2006 - 2021) En Los Sectores De Puerto Rey Y Minuto De Dios

En este presente capítulo se aborda el segundo objetivo (Evaluar el cambio de línea de costa (período 2006 - 2021) en los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios en el municipio de Los Córdoba), que nos permite por medio del levantamiento fotogramétrico realizar la evaluación del cambio de la línea de costa al comparar con imágenes satelitales y ortofotografías pasadas, a partir del uso de la herramienta Digital Shoreline Analysis System (DSAS) v5.0, como extensión o complemento del software ArcGis.

A partir de la digitalización de las diferentes líneas de costa utilizadas para este estudio (28/06/2006, 02/12/2012, 22/08/2019, 09/02/2020, 10/05/2021) y el establecimiento de una línea

base que por medio del cual se generan una serie de transectos (haciendo referencia a un corte transversal de un terreno.), con una separación entre ellos de 15 m, la cual es una distancia que puede representar con fiabilidad la evolución de la misma, una incertidumbre predetermina de 3 metros (m) y un intervalo de confianza del 95%; por medio de estos datos de entrada se generan como resultado una serie de parámetros estadísticos e indicadores para el análisis de la zona de estudio, considerando los índices de mayor representación para el cambio de línea de costa en esta investigación los siguientes:

Net Shoreline Movement (NSM)/ Movimiento Neto de la línea costera (MNL): Es la distancia entre las costas más antiguas y más jóvenes para cada transecto, representa una distancia en metros (Emily A. Himmelstoss *et. al*, 2018).

End Point Rate (EPR) / Tasa de Punto Final (TPF): Muestra el valor del TPF, dividido por el número de años transcurridos en cada período. Es una tasa anual de movimiento en metros/año (Himmelstoss *et. al*, 2018).

3.1. Parámetros Utilizados En El Análisis Del Cambio De La Línea De Costa En El Área De Estudio.

Para el cálculo de la evaluación de la línea de costa además de tener en cuenta los parámetros estadísticos e índices: Movimiento Neto de la línea costera NML y Tasa de Punto Final TPF se tuvo en cuenta estadísticas suplementarias; es así que para la tasa de punto final (TPF) se incluye un cálculo para hallar la incertidumbre asociada a él, denominada EPR_{unc} o conocida también

como la confianza del cálculo de la tasa de punto final (ECI), donde se determina de la siguiente manera:

$$EPR_{unc} = \frac{\sqrt{(uncyA)^2 + (uncyB)^2}}{dateA - dateB}$$

Dónde,

Uncy A: es la incertidumbre del campo de atributo de la costa A,

Uncy B: es la incertidumbre del campo de atributo de la costa B,

La fecha A: es la fecha de la costa A (más reciente), y

La fecha B: es la fecha de la costa B (la más antigua).

Las incertidumbres de la línea de costa para las dos posiciones utilizadas en el cálculo del punto final se elevan al cuadrado y luego se suman (suma de cuadrados). La raíz cuadrada de la suma de cuadrados se divide por el número de años entre las dos líneas costeras para determinar la incertidumbre de la tasa de punto final (EPR_{unc}) (Emily A. Himmelstoss *et. al*, 2018).

A partir de los parámetros estadísticos e índices escogidos para este estudio (MNL, TPF) para evaluar el cambio de la línea de costa, se muestra a continuación de una manera resumida en las tablas 5 y 6 la información descriptiva sobre los cálculos de parámetros seleccionados:

Tabla 5

Informe resumido valores calculados de MNL

DISTANCIA: MNL (Movimiento neto de la línea costera, m)	
<i>PROMEDIOS GLOBALES DE MNL</i>	
Número total de transectos:	283
Distancia promedio:	-71.57 m
Número de transectos con distancia negativa (<i>Erosión</i>):	263
Porcentaje de todos los transectos que tienen una distancia negativa:	92.93%
Distancia negativa máxima:	-191.03 m
Transecto de máxima distancia negativa ID:	278
Promedio de todas las distancias negativas:	-78 m
Número de transectos con distancia positiva (<i>Acreción</i>):	20
Porcentaje de todos los transectos que tienen una distancia positiva:	7.07%
Distancia máxima positiva:	33.93 m
Transectos de máxima distancia positiva ID:	37
Promedio de todas las distancias positivas:	12.98 m

Tabla 6

Informe resumido valores calculados de TPF

TASA: TPF (Tasa de punto final, m / año)	
<i>PROMEDIOS GENERALES DE TPF</i>	
Número total de transectos:	283
Tasa promedio:	-4.81 m/año
Promedio de los intervalos de confianza asociados con las tasas:	0.1
N reducido (número de transectos independientes):	1
Incertidumbre de la tasa media utilizando n reducido:	0.1
Tasa media con n incertidumbre reducida:	-4.81 +/- 0.1 m/año
Número de transectos erosivos:	263
Porcentaje de todos los transectos que son erosivos:	92.93%
Porcentaje de todos los transectos que tienen erosión estadísticamente significativa:	92.23%
Erosión máxima del valor:	-12.85 m/año
Transecto de erosión de valor máximo ID:	278
Promedio de todas las tasas de erosión:	-5.25 m/año
Número de transectos de acreción:	20
Porcentaje de todos los transectos que son acumulativos:	7.07%
Porcentaje de todos los transectos que tienen acreción estadísticamente significativa:	6.71%

Acumulación de valor máximo	2.28 m/año
Transecto de acreción de valor máximo ID:	37
Promedio de todas las tasas de acumulación:	0.87m/año

3.2. Análisis De La Evaluación De Cambio De Línea De Costa En Los Sectores Puerto

Rey Y Minuto De Dios

Teniendo en cuenta los resultados en la digitalización de las líneas costeras en cada de los sectores identificados se analiza el cambio de línea de costa, elaborando la cartografía respectiva por cada período (28/06/2006, 02/12/2012, 22/08/2019, 09/02/2020, 10/05/2021) y comparándolos entre sí. Así mismo, se tienen en cuenta diferentes estadísticas, se calculan y analizan los índices de Movimiento Neto de Línea de Costa (MNL) y Tasa de Punto Final (TPF), también se calcularon las áreas en erosión y acreción en cada uno de los períodos evaluados. Todo esto con la ayuda del software ArcGis y la herramienta Digital Shoreline Analysis System (DSAS) v5.0, para la obtención de los resultados se organizó la información en una base de datos geográfica (GEODATA BASE). A continuación, se detalla los resultados de este apartado.

3.2.1. Cambio De Línea De Costa De Los Años 2006, 2012, 2019, 2020, 2021

De acuerdo a la cartografía resultante y de la digitalización de la información con la ayuda de las fotografías áreas u ortofotomosaicos e imágenes satelitales para cada una de las fechas específicas se elaboró un mapa respectivo para evaluar el cambio de línea de costa y así poder determinar las áreas en erosión y acreción. Posteriormente se muestra desde la figura 24 a la 28 los resultados generados:

En la figura 24 se presenta la ortofotografía correspondiente al año 2006, el cual es el período inicial de esta investigación, en la parte norte - sector Puerto Rey se observa la actual vía principal

al año 2021, resaltada de color rojo y que se encontraba a más de 80 metros de la ubicación actual, así mismo la línea de costa se encontraba aproximadamente a 123 metros de la misma vía en mención; en cuanto al sector de Minuto de Dios la línea costera se encontraba a más de 40 metros de distancia de las calles más cercanas, a esta fecha en mención, las calles no habían sufrido ninguna afectación por procesos erosivos en el sector más al sur del área de estudio.

Después de analizar la ortofotografía del año 2006 se procede con la imagen satelital del 2 de diciembre de 2012 (figura 25), de donde se resalta que en el sector Puerto Rey, la actual vía principal paso de encontrarse a más de 80 metros de distancia teniendo en cuenta por donde pasaba la vía para el 2006, a menos de 30 metros lo que representa una diferencia en promedio de 50 metros, dando a conocer estos resultados el avance que ha tenido la erosión costera en un período de 6 años.

En cambio, en el sector Minuto de Dios los cambios no son tan significativos en comparación con el sector anterior, para este año todavía no se ven afectadas las principales calles de este sector sin embargo las carreras comenzaban a sufrir afectaciones por los procesos erosivos. Es de mencionar también que entre ambos sectores se encontraban divididos por un sector de pastos y árboles, haciendo comparación entre las viviendas de los dos sectores, las cuales se encontraban a una distancia aproximada de 420 metros.

Hasta la fecha (2012) la densidad en viviendas construidas del sector Puerto Rey era menor a la del sector Minuto de Dios, como se puede observar en las ortofotos e imágenes satelitales año 2006 y 2012. Otro aspecto muy importante a resaltar es el desarrollo de cabañas, hoteles con enfoque turístico las cuales en el momento no tenían un auge, es decir, que el desarrollo turístico que se ve para el año 2021 aún no se evidenciaba.

Figura 24
Línea de costa 28/06/2006

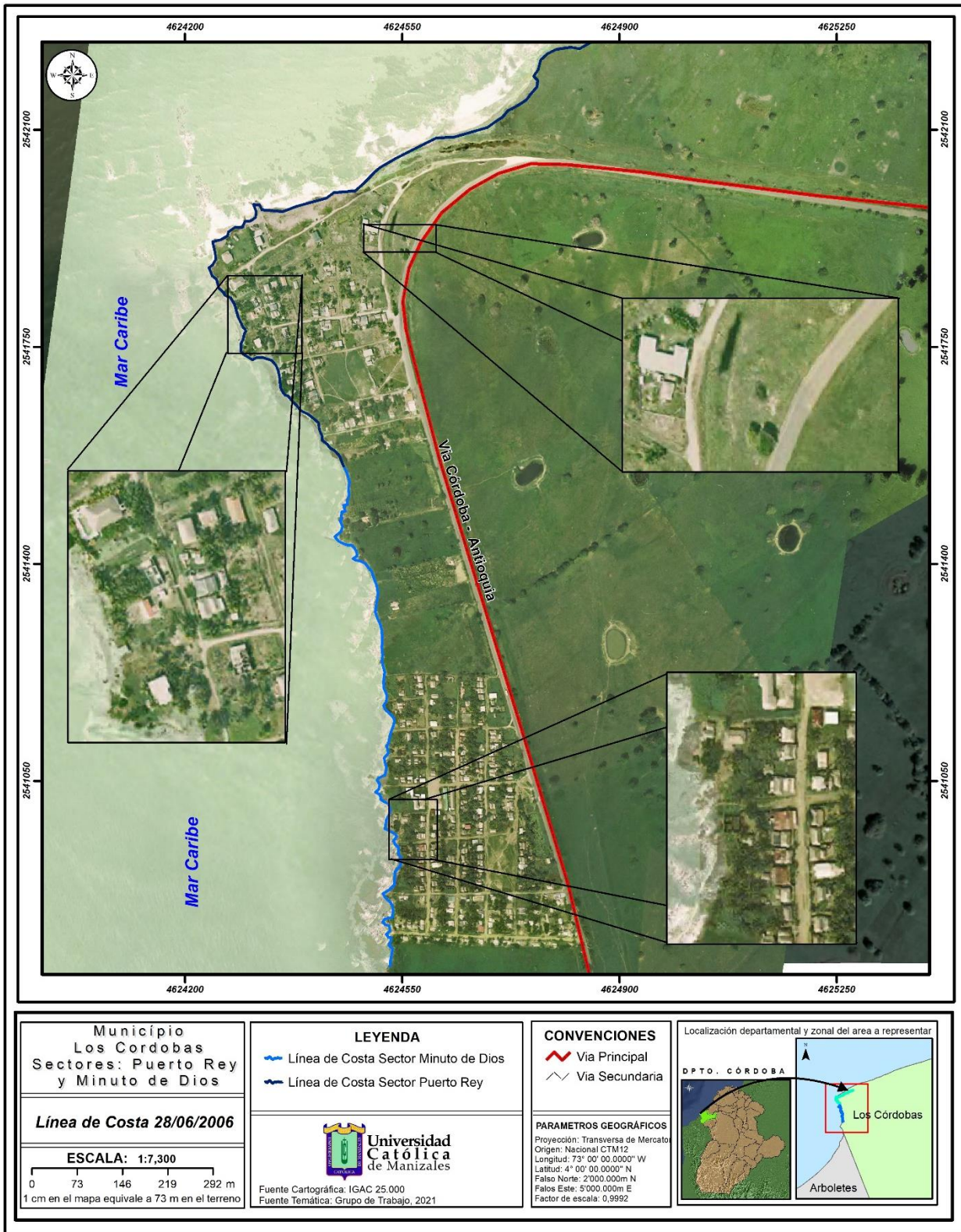
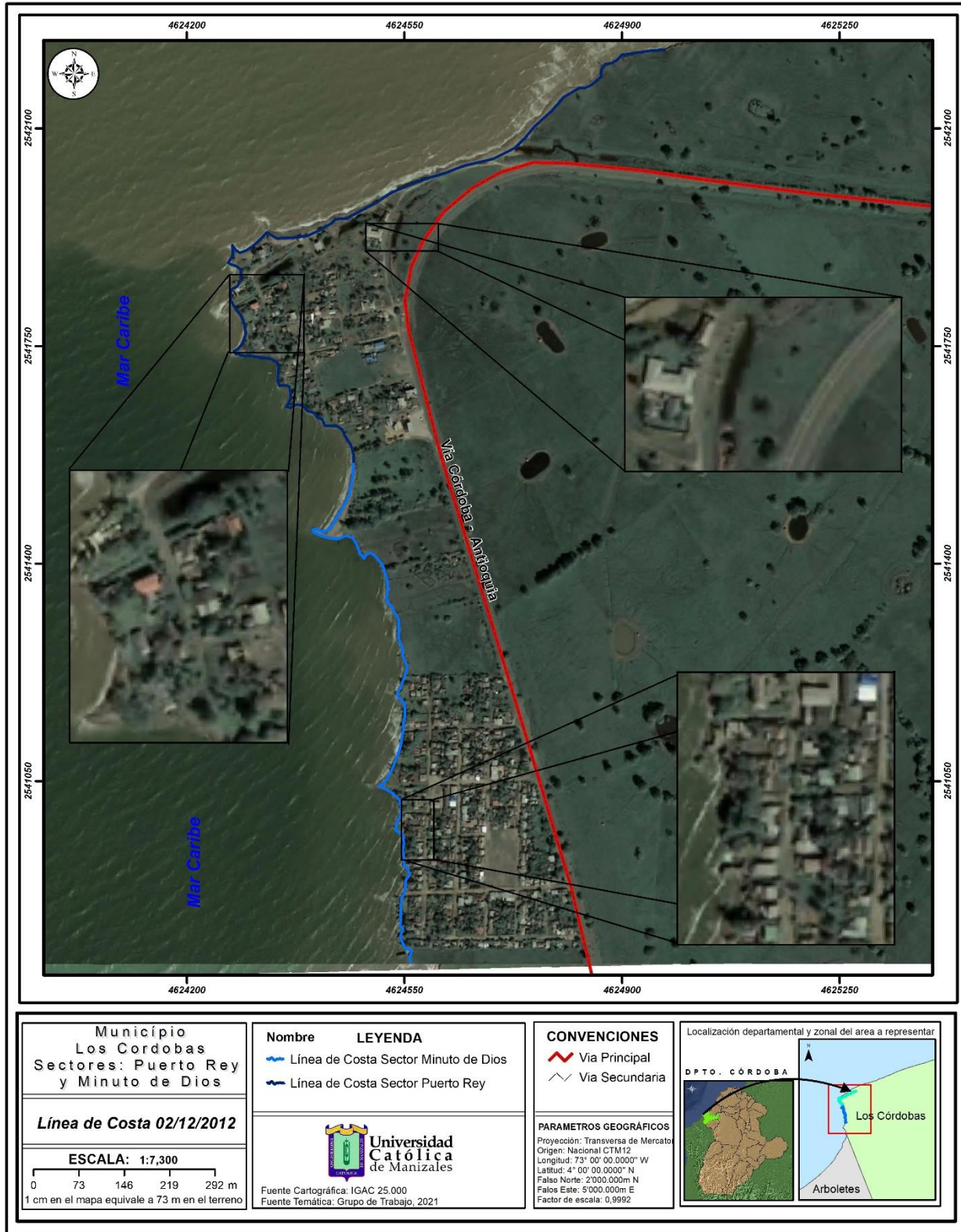


Figura 25
Cambio de línea de costa 02/12/2012



El segundo período a analizar que corresponde al 22 de agosto de 2019 para el cual se realizó levantamiento fotogramétrico con dron y al 9 de febrero de 2020, donde se usó una imagen satelital de Google Earth, período en el que se reflejan las afectaciones mayores que se siguen evidenciando en el sector norte (Puerto Rey) del área de estudio en donde la vía principal que conecta al departamento de Córdoba con Antioquia ya se encontraba casi o al borde de la línea de costa aproximadamente unos 5 metros de distancia, existiendo una diferencia de 25 metros de distancia con respecto al año 2012.

En cuanto al sector Minuto de Dios, comparando desde el año 2020 con los años anteriores, ya se lograban evidenciar afectaciones en las calles y carreras principales más cercanas al mar, desapareciendo así diferentes áreas construidas como viviendas y algunas calles en específico, en estos sectores los acantilados ya presentaban ángulos de inclinación de hasta 90°. Por otro lado, se ha aumentado la construcción de nuevas viviendas ya que, en esta fecha ha aparecido el sector turístico y hotelero; así mismo se destaca la construcción de espolones que han ayudado a que se presenten acreciones o ganancias, siendo este prácticamente el único sector del área de estudio con ganancias notables (ver figura 26 y 27).

Para el año 2021 el cual corresponde a un levantamiento fotogramétrico realizado el 10 de mayo, en donde se evidencia plenamente la diferencia que existe con respecto al año inicial 2006, siendo sin duda alguna el sector Puerto Rey el más afectado, evidenciándose en mayor medida las afectaciones a la vía principal, encontrándose la línea costera totalmente pegada a esta, así mismo, se han visto afectadas un total de 7 viviendas en el sector de Puerto Rey y 9 en el sector Minuto de Dios. En cuanto a las calles y carreras principales de Minuto de Dios al aumentar más la erosión estas se han visto afectadas en mayor medida, a excepción del sector hotelero que continúa teniendo ganancias con respecto a los años anteriores (ver figura 28).

Figura 26
Cambio de línea de costa 22/08/2019

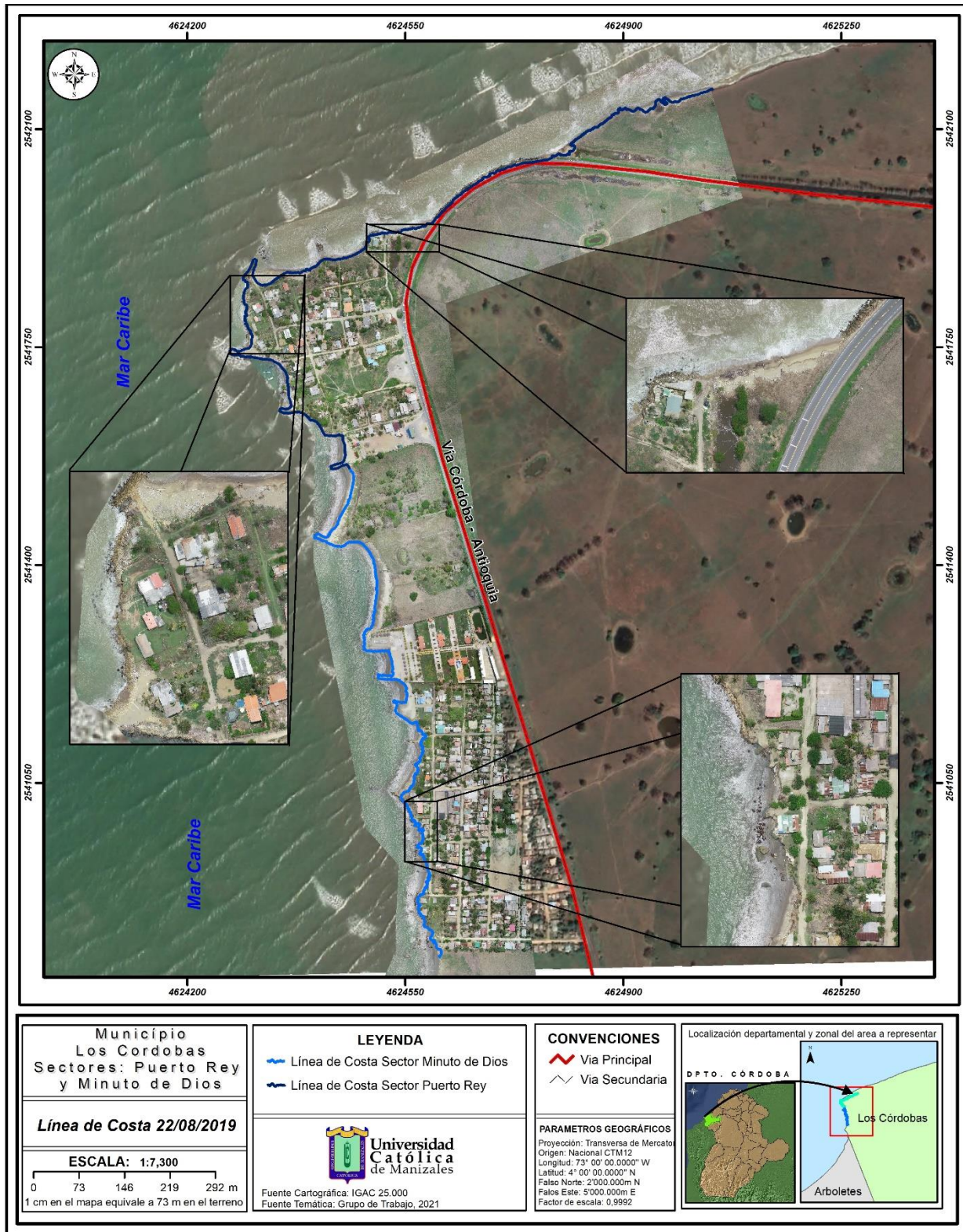


Figura 27
Cambio de línea de costa 09/02/2020

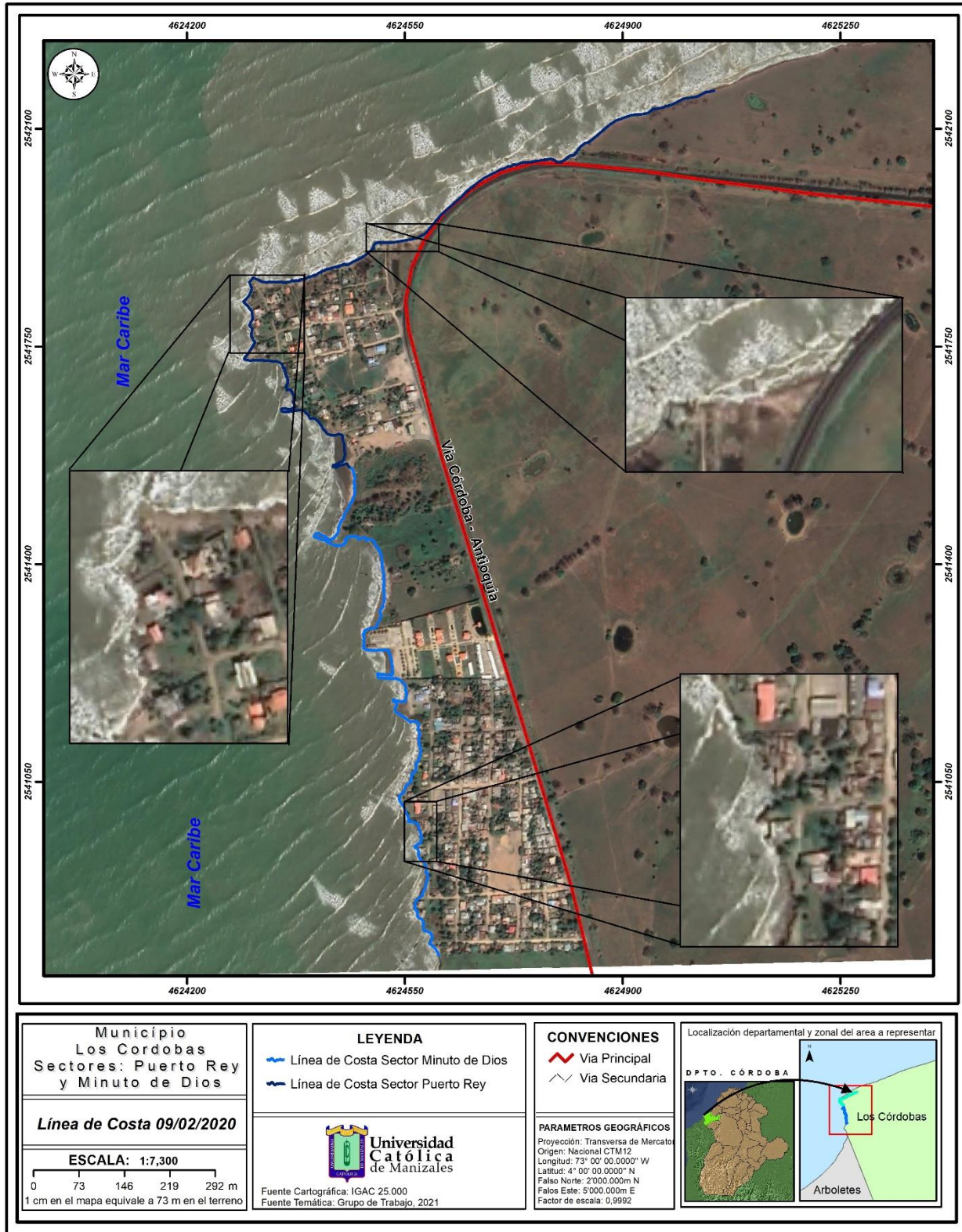
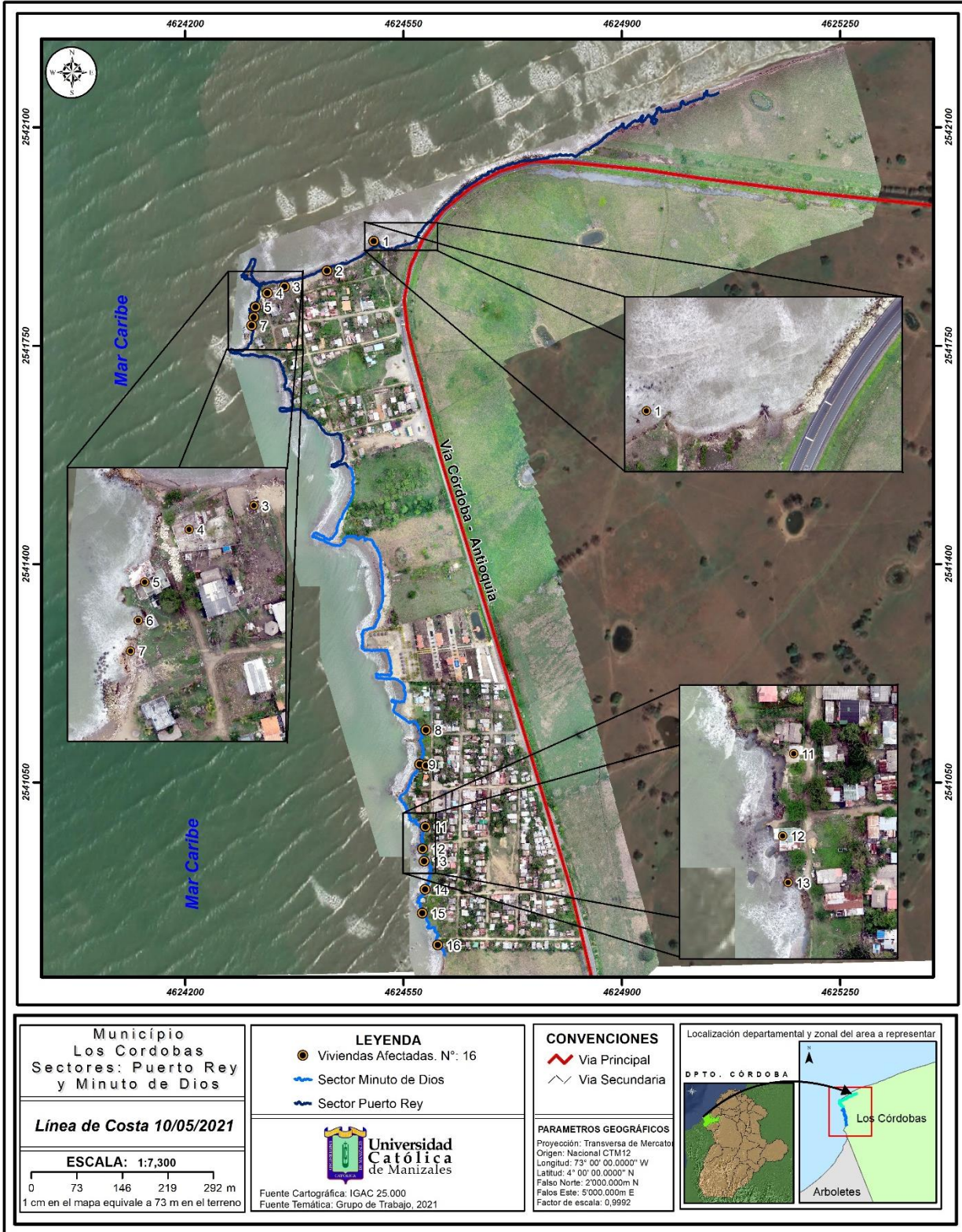


Figura 28
Cambio de línea de costa 10/05/2021



El cambio de línea de costa se evidencia en la figura 29, en el cual se representan las líneas costeras en una gama de colores azules y marrón, debajo de estas como base, se observa la ortofotografía correspondiente al año 2006 y de manera similar en la figura 30 se coloca como base el ortofotomosaico del levantamiento realizado el 10 de mayo del 2021, para evidenciar los cambios ocurridos en los últimos 15 años.

Después de analizar cada uno de los períodos tenidos en cuenta para este estudio (28/06/2006, 02/12/2012, 22/08/2019, 09/02/2020, 10/05/2021), se realiza una comparación del cambio de línea de costa (ver figura 29 y 30), identificándose el sector de Puerto Rey como el mayor afectado por los procesos erosivos en cuanto al desplazamiento de la línea de costa desde el año 2006 al año 2021 con distancias mayores a 100 metros, afectándose así vías principales y secundarias, viviendas; en cambio, en el sector de Minuto de Dios aunque es menos el desplazamiento de la línea de costa de hasta 50 metros también es de destacarse las afectaciones a las infraestructuras mencionadas anteriormente. Por otro lado, es en este sector en mención el único en el cual se presentan valores positivos de ganancias en las costas, influenciado por la parte turística debido a las construcciones de espolones o rompeolas artesanales.

Las localidades de Minuto de Dios y Puerto Rey están definidas por una línea de costa que se encuentran caracterizadas por acantilados verticales o subverticales que superan los 2 metros para el sector de Minuto de Dios y de 0.5 a 1 metros para el sector de Puerto Rey, así mismo estos suelos están conformados principalmente por arcillolitas y lodolitas hacia la parte baja y suelo no consolidado en la parte alta formando terrazas, destacándose el uso principal la ocupación humana (viviendas) y actividades de sobrepastoreo.

Figura 29
 Cambios de líneas de costa año 2006 al 2021- imagen de base ortofotografía 2006

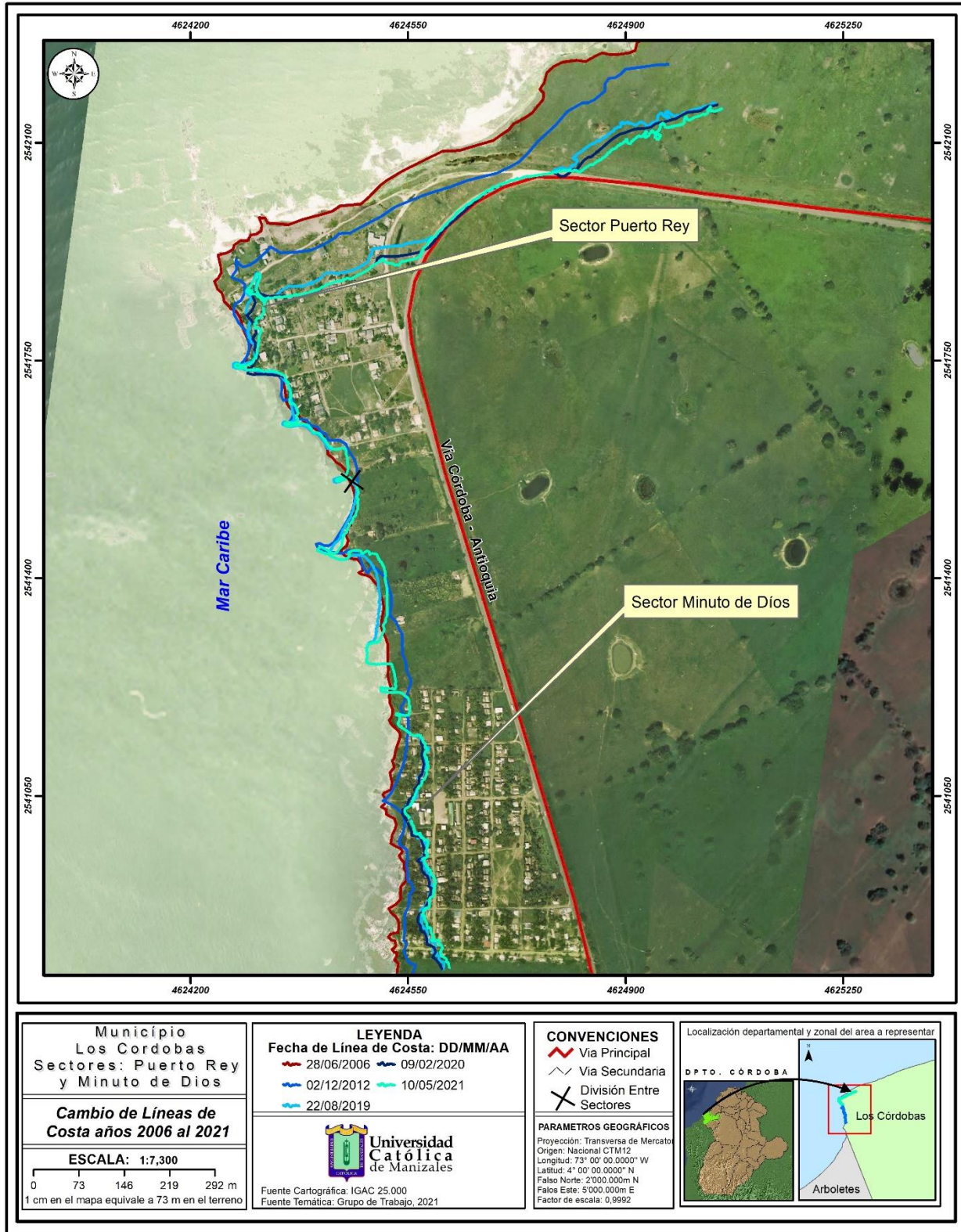
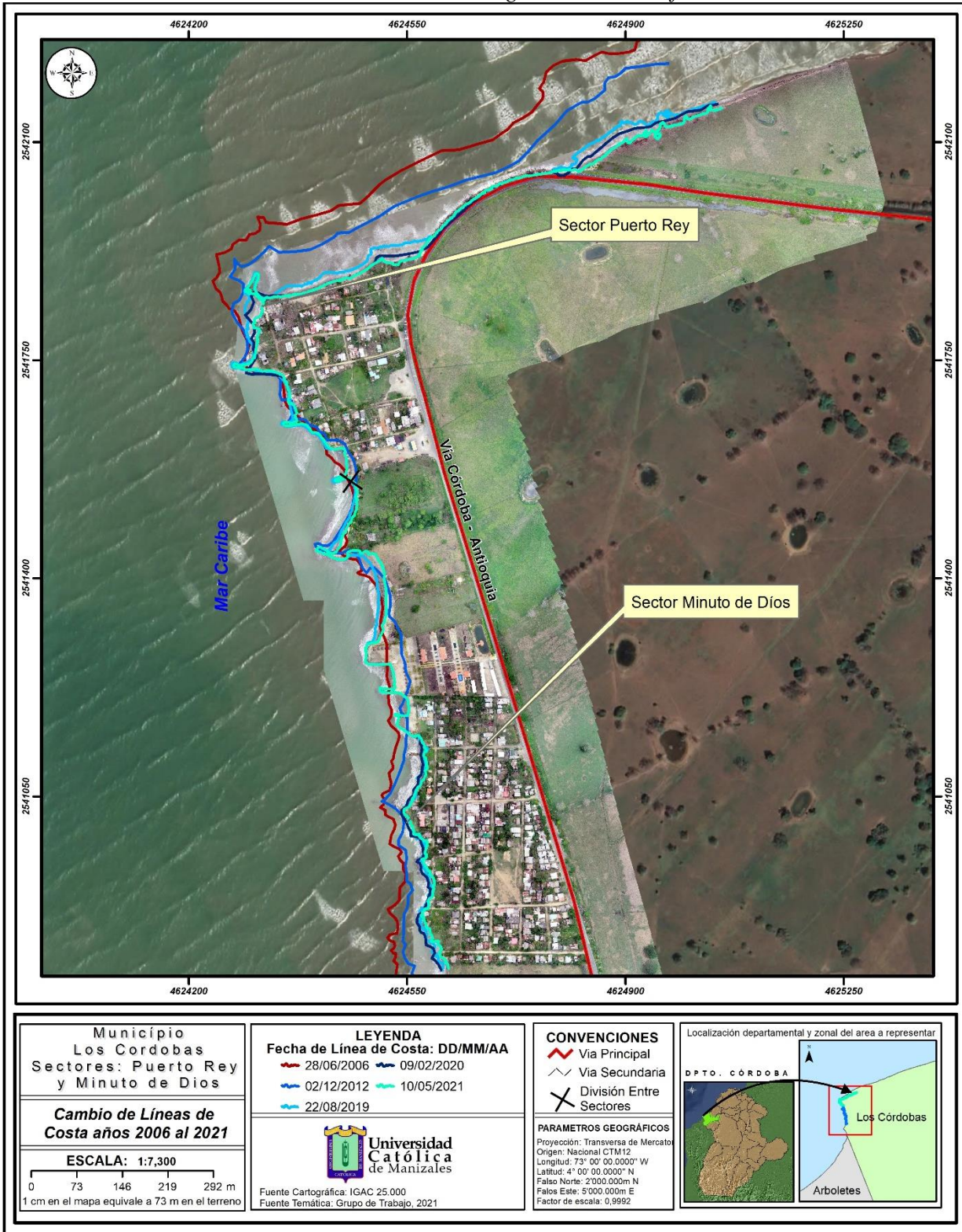


Figura 30
Cambios de líneas de costa año 2006 al 2021- imagen de base ortofotomosaico 2021



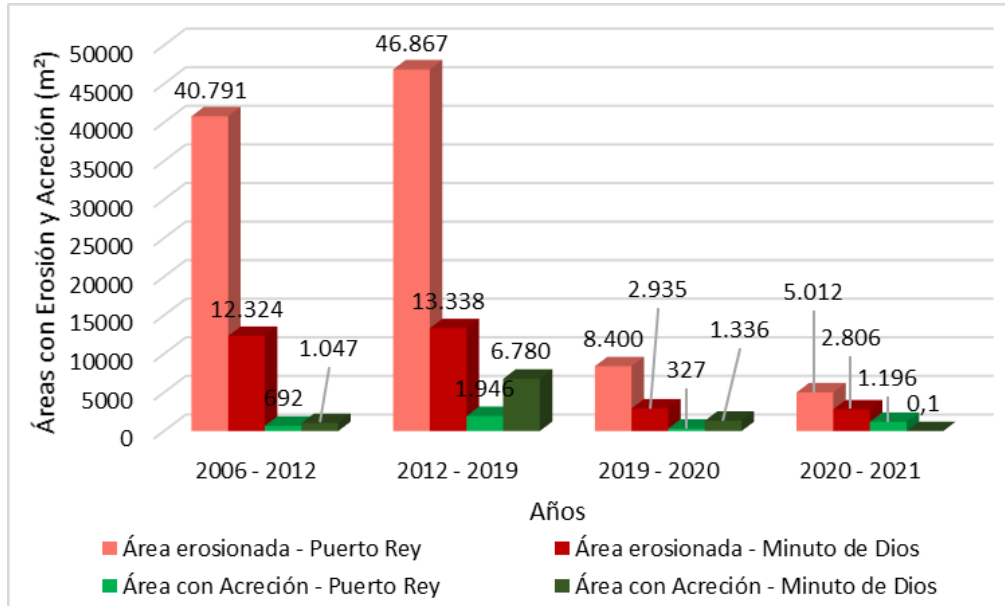
Existe una pérdida total de 66 viviendas en un período de 15 años desde al año 2006 hasta el año actual 2021; realizando una comparación en la pérdida o afectación en los sectores, el sector de Minuto de Dios es el más afectado al desaparecer 49 viviendas aproximadamente, mientras que en el sector de Puerto Rey desaparecieron 17 viviendas a causa del avance de la erosión costera sobre el litoral en el municipio de Los Córdoba. Estadísticas que son preocupantes y hacen un llamado a tomar medidas necesarias para darle solución a una problemática latente.

En términos cuantitativos y haciendo referencia a las áreas que presentan erosión o acreción, tenemos que en todos los períodos (2006-2012, 2012-2019, 2019-2020, 2020-2021) el sector de Puerto Rey presenta una mayor tasa de erosión, siendo los valores más elevados: 40.791 m² y 46.867 m² en los dos primeros períodos (2006-2012, 2012-2019), y en menor cantidad de área erosionada el resto de los años. En cuanto a las áreas en acreción o ganancia estas son mínimas en comparación con las áreas erosionadas, siendo el período que mayor presenta ganancia los años 2012 a 2019 en el sector Minuto de Dios, con 6.780 m² explicándose este valor atípico por la aparición del sector turístico y construcción de espolones artesanales en el área de estudio (ver figura 31).

Los resultados mostrados hasta este apartado y con esto el uso de las Sistemas de Información Geográfica - SIG, además de imágenes de satélite y ortofotomosaicos elaborados con Drones, demuestran la utilidad de las herramientas y la tecnología para analizar y comprender un problema actual que ha afectado a numerosas familias y lo continúa haciendo, al ser este una problemática que necesita acciones inmediatas, para mejorar la calidad de vida de las personas que viven en estos lugares.

Figura 31

Áreas (m²) con erosión y acreción en los sectores Puerto Rey y Minuto de Dios.



La digitalización de las líneas de costa y con esto lo expuesto en los resultados de este apartado constituyen la base de la presente investigación y los insumos para la elaboración de diferentes índices de erosión costera, así como la elaboración de un pronóstico de línea de costa a 10 y 20 años, lo cual se detallará en los dos capítulos siguientes.

A continuación, se abordarán los índices de Movimiento Neto de Línea de Costa (MNL) la cual está representada por la distancia en metros entre las costas más antiguas y más jóvenes y la Tasa de Punto Final (TPF) que se representa por el valor de MNL, dividido por el número de años transcurridos en cada período en metros /año.

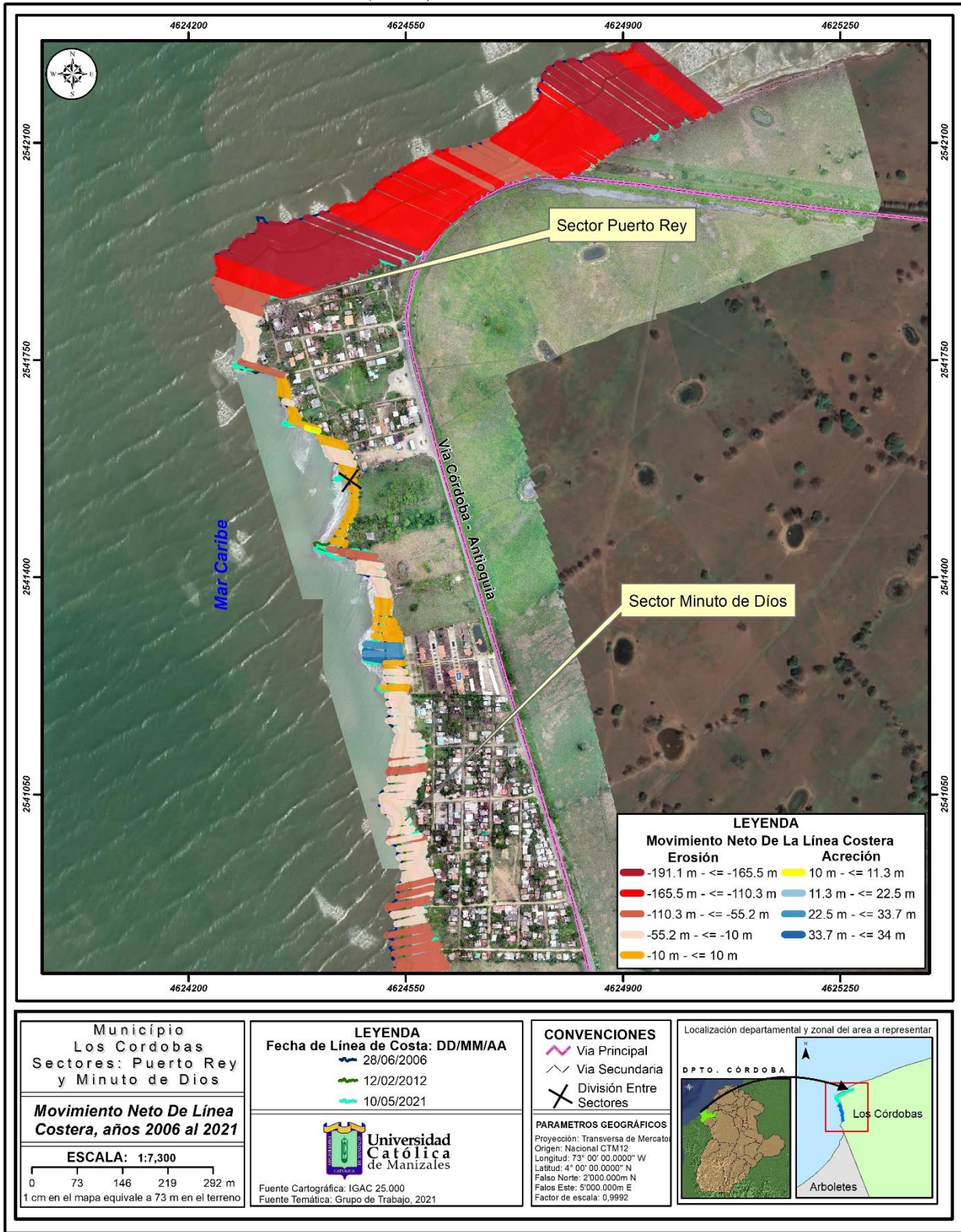
3.2.2. *Net Shoreline Movement (NSM)/ Movimiento Neto De La Línea Costera (MNL)*

En el índice de movimiento neto de línea de costa detalla que en la parte norte (Puerto Rey) del área de estudio es la que se ha visto mayormente afectada por los procesos erosivos, con un índice en el cual se presentan valores extremos con un desplazamiento de línea de costa que va desde -55.2 metros hasta -195.1 metros representada en una gama de colores rojos y con menores valores negativos en el resto de la superficie de este sector. En cambio, en el sector de Minuto de Dios el desplazamiento neto de línea de costa es menor, teniéndose pérdidas que van desde los -10 metros hasta -55.2 metros sobre todo en la parte sur del área objeto de esta investigación (ver figura 32).

En general se tiene en cuenta que la mayoría de ambos sectores presentan procesos erosivos sin embargo se cuenta con algunas excepciones como lo es un pequeño sector en la parte sur de Puerto Rey con ganancias positivas de 10 a 11.3 metros el cual se representa en color amarillo, esto debido a la construcción de espolones artesanales, de manera similar, al norte de Minuto de Dios se presentan ganancias positivas que van desde los 11.3 metros hasta 34 metros, siendo la parte que presenta mayor acreción en el área de estudio debido a la construcción de obras artesanales por parte de particulares en el sector turístico del área (ver figura 32).

Este índice de Movimiento Neto De La Línea Costera analizado es de gran utilidad, de acuerdo a que permite comprender cual a sido el desplazamiento total de la línea de costa desde el período inicial (2006), hasta el período o año final (2021), permitiendo esto entender la magnitud de la problemática de la erosión costera que afecta el territorio de Los Córdoba y en específico los sectores de Puerto rey y Minuto de Dios. Sin embargo, para profundizar en la temática es necesario entender el comportamiento por año de la erosión, por lo cual en el siguiente apartado (3.2.3) se tratará el índice o tasa de punto final.

Figura 32
 Movimiento neto de línea de costera (MNL) años 2006 al 2021



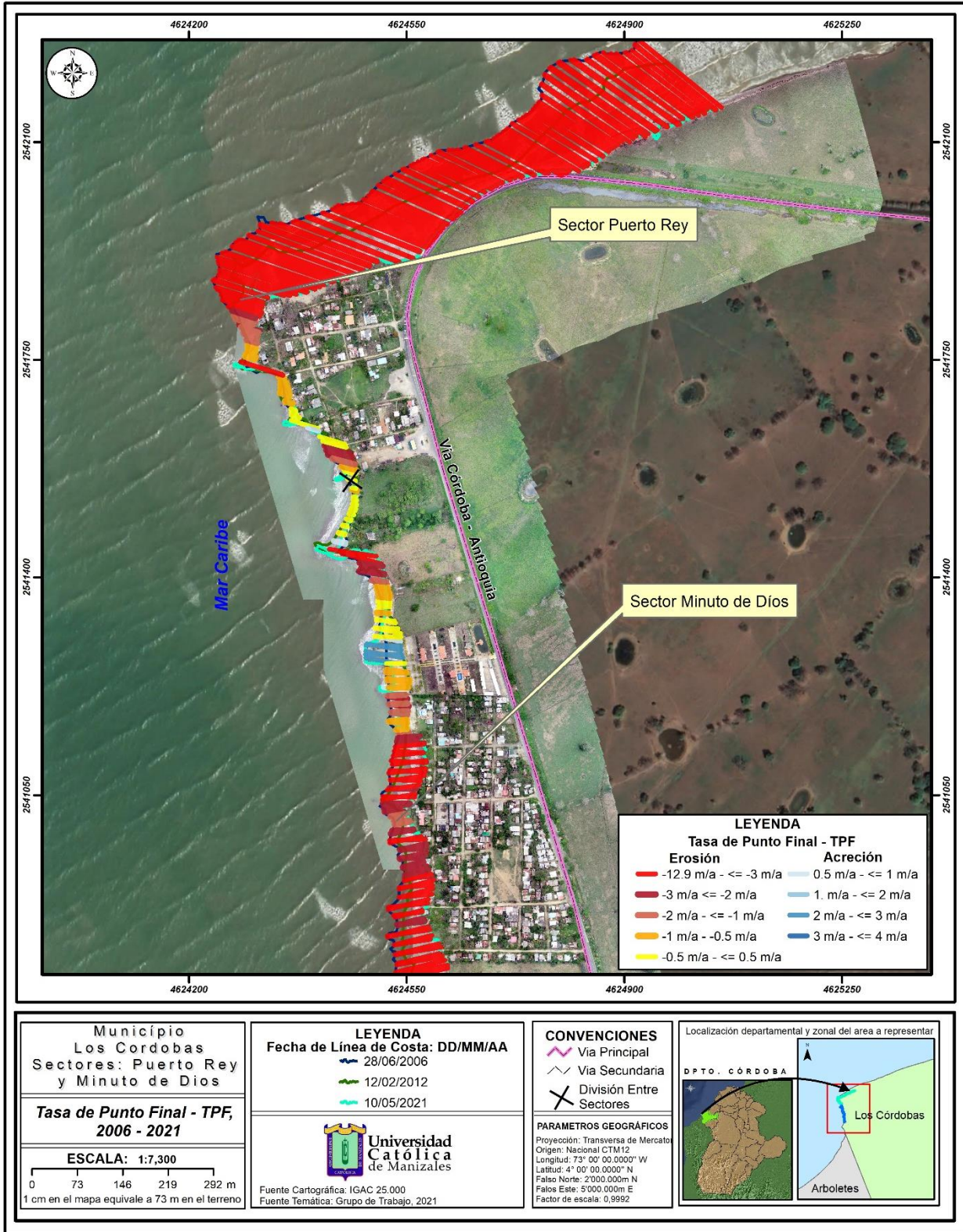
3.2.3. End Point Rate (EPR) / Tasa De Punto Final (TPF)

En el índice de Tasa de Punto Final (TPF) se refleja que el sector con mayores valores de erosión se representa en el sector de Puerto Rey con valores negativos en su mayoría de -3 a -12.9 metros al año (m/a) representada en color rojo, sin embargo, en la parte sur del sector se encuentra menores pérdidas con cifras que van desde los -0.5 a -3 m/a. Este comportamiento de áreas que presentan pérdidas o erosionadas tienen una excepción en la parte sur del área anteriormente mencionada con una ganancia que va desde 0.5 a 1 m/a por la construcción de espolones realizados por la comunidad sin estudios previos o especificaciones técnicas para su elaboración.

En cuanto al sector de Minuto de Dios en comparación con el sector anteriormente descrito, presenta valores no tan homogéneos y si un poco variados con pérdidas negativas desde -3 a 0.5 m/a, aunque también se tienen valores extremos (-12.9 m/a \leq -3 m/a) en la parte norte y centro, pero sobre todo en la parte sur de esta localidad. Paralelamente se cuentan con valores atípicos en dos áreas, en la primera localizada en un sector de espolones debajo del punto de división entre ambos sectores se tienen ganancias de 0.5 a 1 m/a. Mientras la segunda área identificada con ganancias se localiza al norte del sector de vivienda en la localidad de Minuto de Dios con valores que llegan a los 4 metros de ganancia de línea de costa al año (ver figura 33).

Los índices Movimiento Neto de Línea de Costa y Tasa de Punto Final reflejaron que en su mayoría el área de estudio presenta pérdidas netas que van desde los -10 a -191.1 m desde el año 2006 al año 2021, pero también que se presentan una tasa de erosión que va desde -2 a -12.9 m de desplazamiento de la línea de costa de cada año a excepción de algunos sectores, lo cual evidencia las afectaciones sufridas por este proceso tanto en viviendas como en vías de comunicación, así como en la forma en que las personas habitan en este territorio, ya que los procesos erosivos han acabado con mucha infraestructura obligando a desplazarse hacia otros sitios en muchas ocasiones.

Figura 33
Tasa de punto de final (TPF) años 2006 a 2021



Los resultados de este apartado muestran el aumento significativo de los procesos erosivos en toda el área de estudio, afectando notoriamente en mayor medida al sector de Puerto Rey, sin embargo, en la localidad de Minuto de Dios las afectaciones también son significativas perturbando la infraestructura vial y muchas de las viviendas, tanto así que aproximadamente 16 de estas han desaparecido al año 2021.

La erosión costera en el área de estudio es producida por procesos propios de la dinámica natural de los ecosistemas, cuyo desarrollo o avance genera conflictos cuando hay presencia de comunidades o elementos expuestos que generan situaciones de riesgo ante la población, el cual es el caso en el área de estudio, además, es de reconocerse que el riesgo y por tanto los desastres son una construcción social que está determinada por la relación entre los ecosistemas naturales y la cultura de la sociedad, que a su vez está claramente definida por el modelo de desarrollo adoptado, por eso es necesario pensar en la importancia de la ordenación territorial marítima. Además de lo dicho, el fenómeno de la erosión en las costas se puede ver agravado por la construcción indiscriminada y sin estudios técnicos de espolones, sitios de disposición de llantas y obras en cemento, así mismo por la tala de manglares y especies nativas que puedan actuar como protectoras de las costas.

Además de lo expuesto hasta este apartado es importante que se realicen estudios de batimetría con el propósito de estudiar los cambios sedimentológicos bajo la acción de los tiempos de oleaje en temporada seca y de lluvias, realizando mediciones por lo menos dos veces al año, esto debido a que se identificó en campo que las playas poseen poca arena y además, se desconoce dónde van a parar los sedimentos erosionados en el área de estudio. así mismo se hace fundamental conocer cuál es la prospectiva o proyección de cambio de línea de costa para poder tomar las medidas de planificación territorial necesarias, lo cual se detalla a continuación.

4. Capítulo IV. Proyección Del Cambio De Línea De Costa Al Año 2031 Y 2041 En Los Sectores Puerto Rey Y Minuto De Dios En El Municipio De Los Córdoba.

En este presente capítulo se aborda el tercer objetivo (Estimar de acuerdo a los datos obtenidos, una proyección del cambio de línea de costa al año 2031 y 2041 en los sectores Puerto Rey y Minuto de Dios en el municipio de Los Córdoba). Por medio de la herramienta Digital Shoreline Analysis System (DSAS) v5.0 que tiene entre unas de sus funciones calcular un pronóstico de la costa a 10 y 20 años en el futuro, en función de los datos históricos de la posición de la costa (Emily A. Himmelstoss *et. al*, 2018). Este cálculo se realiza mediante el uso del filtro de Kalman (Kalman, 1960) y el uso de diferentes estadísticas e índices detallados en el anexo 1. Para objeto de este estudio se realizó y analizó las proyecciones de cambio de línea de costa y la observación del proceso erosivo para pronosticar una posición futura de la costa al año 2031 y al año 2041.

4.1. Parámetros Estadísticos Y Metodológicos Para Abordar El Análisis De La Proyección Del Cambio De Línea De Costa Al Año 2031 y 2041 En El Área de Estudio

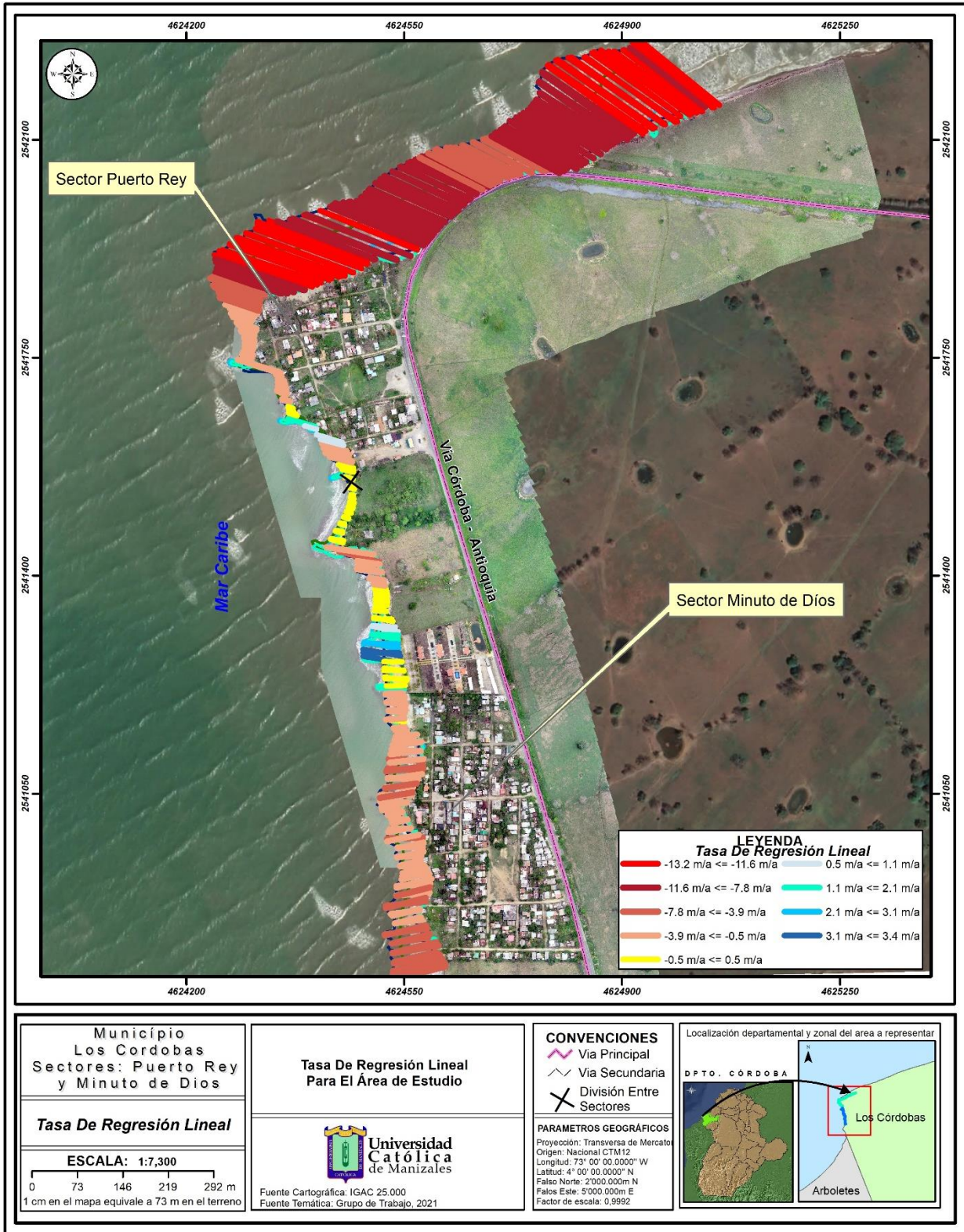
Para realizar la proyección de cambio de línea de costa a 10 años y 20 años (2031 y 2041), se realiza teniendo en cuenta el modelo de filtro de Kalman, con la ayuda de la herramienta Digital Shoreline Analysis System (DSAS) v5.0, el cual comienza con la fecha del año actual (2021) y predice o pronostica la posición de la costa para cada paso de tiempo sucesivo hasta que se encuentra otra observación de la costa, 2031 y 2041 respectivamente. Es de tener en cuenta que al mostrar los resultados de pronóstico de línea de costa se debe mostrar con la banda de incertidumbre, la cual es una clase de entidad poligonal transparente que está diseñada para trabajar

simultáneamente con el pronóstico de la línea costera, con el fin de visualizar de manera responsable la incertidumbre relacionada con la predicción (Emily A. Himmelstoss *et. al*, 2018).

A partir del cálculo de incertidumbre de la línea costera, se hace necesario calcular la tasa de regresión lineal (TRL), como se muestra en la figura 34 los resultados de este índice, esta tasa se determinó trazando las posiciones de intersección de la línea costera (distancia desde la línea de base) con respecto al tiempo (años), en el cual el resultado es la pendiente de la línea.

Los resultados del índice de regresión lineal (TRL), muestran unas estadísticas con valores mínimos de -13,16 m/a, máximos de 3,33 m/a, y medias de -3,68 m/a. En la figura 31 se muestran que los valores mínimos entre -13.2 m/a \leq -11.6 m/a y las tres categorías siguientes 11.6 m/a \leq -7.8 m/a, -7.8 m/a \leq -3.9 m/a, -3.9 m/a \leq -0.5 m/a representados en las franjas de colores rojo a un degradado de marrón son los valores que más predominan en toda el área de estudio, sobre todo en la parte norte sector de Puerto Rey. En cambio, en el sector de Minuto de Dios, localizado en la parte sur también predominan los valores bajos, pero también existen valores máximo positivos desde 0.5 m/a hasta 3.4 m/a. El comportamiento anterior es explicado debido en que la parte norte del área de estudio es donde existe una mayor erosión cada año, perdiéndose hasta -13.2 metros de costas al año, mientras que en la parte sur son menores las pérdidas y existen sectores de ganancia de playa (ver figura 34).

Figura 34
Tasa de regresión línea (TRL)



El error estándar de la pendiente con intervalo de confianza (IC) evalúan la precisión de la línea de regresión de mejor ajuste, al predecir la posición de una línea costera para un momento dado (Himmelstoss, E.A *et. al*, 2018). Este describe la incertidumbre de la tasa informada, para fines de esta investigación se escogió un porcentaje de nivel de confianza predeterminado del 95%. Los resultados de estas estadísticas se espacializan y muestra en dos mapas (ver figura 35 y 36) así como en el anexo 1.

En la tabla 7 se representan los valores estadísticos máximos, mínimos y medios del error estándar de la regresión lineal (ERL) y del intervalo de confianza (IC)

Tabla 7

Valores máximos, mínimos y mediana de error estándar de la regresión lineal y el intervalo de confianza

ERL		IC	
MIN	0,92	MIN	0,23
MAX	35,12	MAX	8,87
MEDIANA	8,56	MEDIANA	2,165

Estas estadísticas son fundamentales para los cálculos algorítmicos del software en el pronóstico de la línea de costa a 10 y 20 años en el futuro lo cual se detalla en el siguiente apartado de este estudio.

Figura 35
 Error estándar de la regresión lineal en el área de estudio

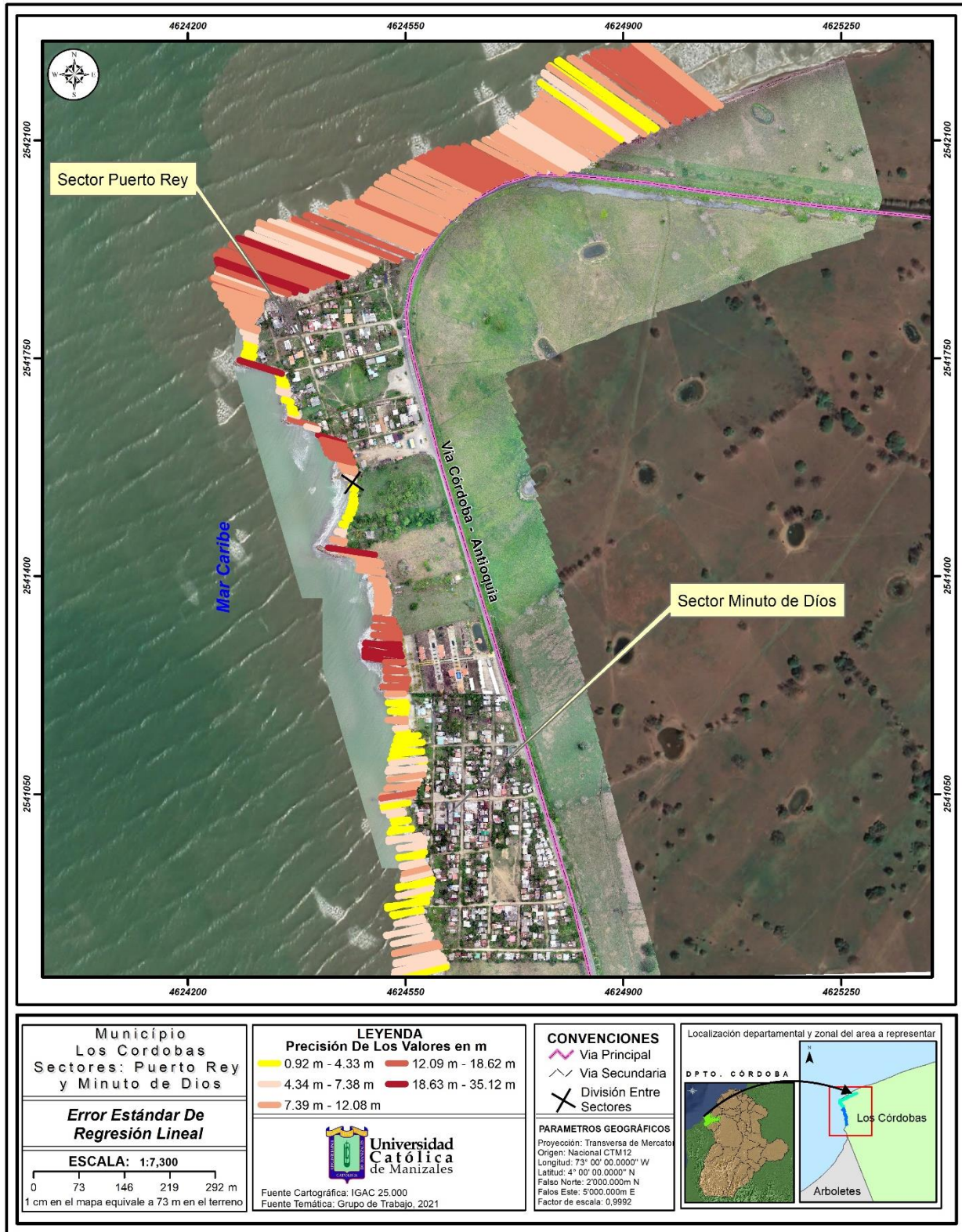
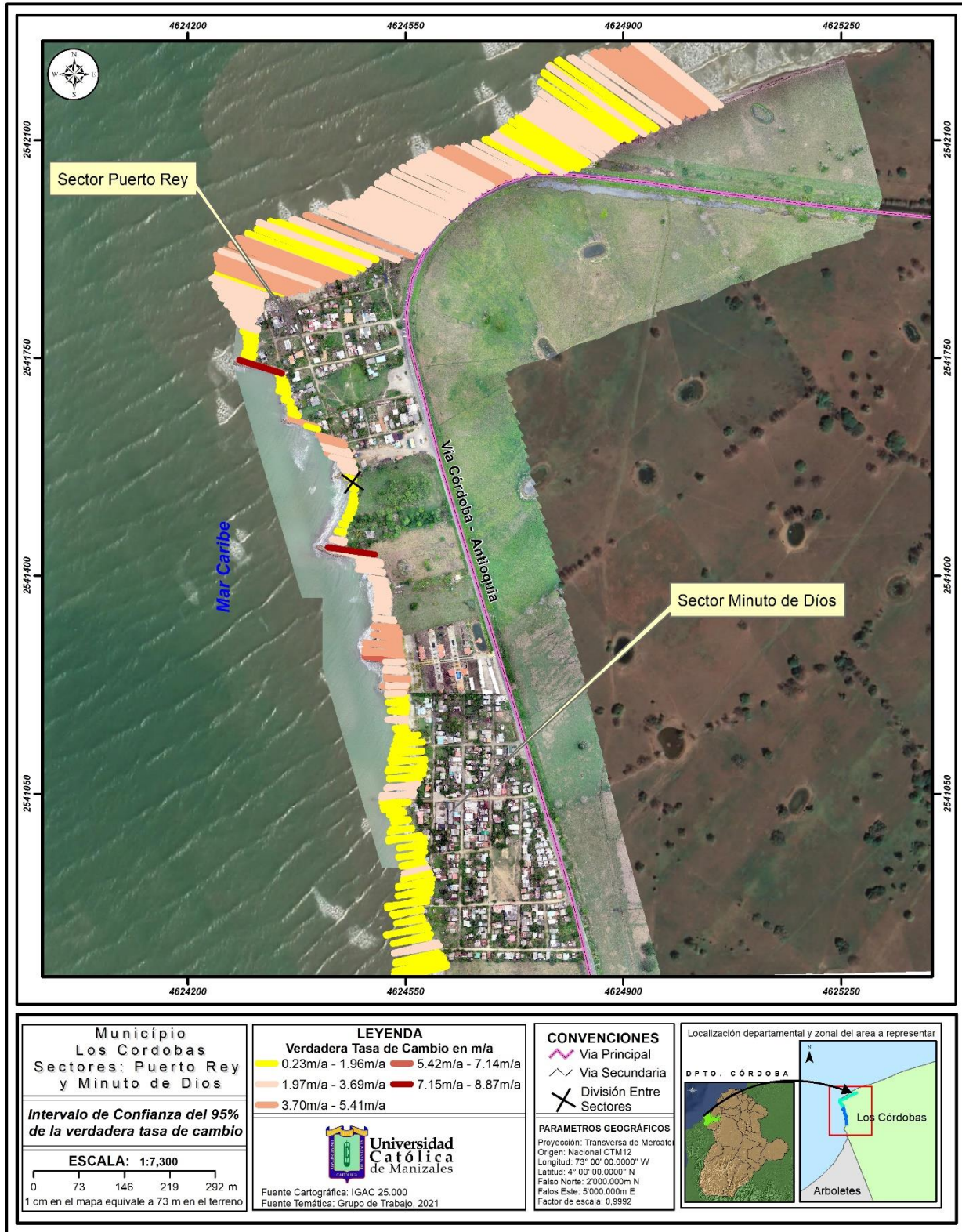


Figura 36
Intervalo de confianza del 95% de la verdadera tasa de cambio de la regresión lineal



4.2. Pronóstico De Línea De Costa A 10 Años (2031) En El Área de Estudio

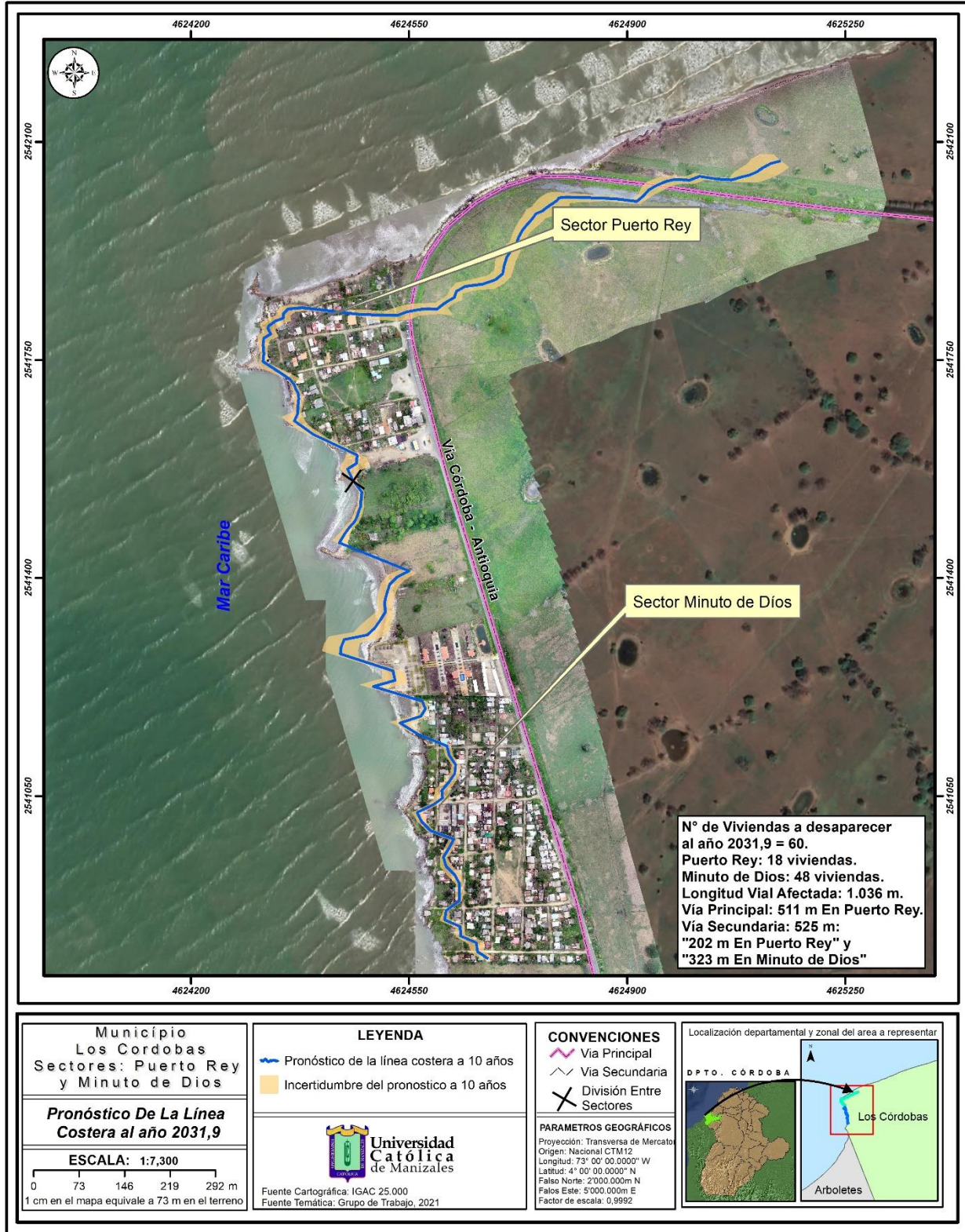
Los resultados con un intervalo de confianza de un 95% en el cálculo del pronóstico de cambio de línea de costa muestran que para el año 2031 el área de estudio tendrá un cambio muy significativo. De manera general como se muestra en la tabla 8 del pronóstico de los elementos expuestos en el sector de Puerto Rey y Minuto de Dios se espera que desaparezcan un total de 60 viviendas y una longitud vial de 1036 metros en vías primarias y secundarias. Afectando en mayor medida la parte norte en el sector de Puerto Rey, desapareciendo una longitud vial de 511 metros (m) de vía principal (vía que comunica a los departamentos de Córdoba y Antioquia) y 202 metros en vías secundarias y en viviendas se verán destruidas o afectadas 18; en comparación con el sector de Minuto de Dios siendo este el sector más afectado por la cantidad de elementos que se encuentran expuestos ante la pérdida de costa, en el cual no existirán pérdidas en vías primarias, pero si en vías secundarias, con una longitud de 323 metros y una afectación en infraestructuras en viviendas de 48 (ver tabla 8 y figura 37).

Tabla 8

Pronóstico de los elementos expuestos de los sectores Minuto de Dios y Puerto Rey para el año 2031

<i>Puerto Rey</i>		<i>Minuto de Dios</i>	
<i>Elementos expuestos</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Elementos expuestos</i>	<i>Cantidad</i>
Viviendas	18	Viviendas	48
Total viviendas afectadas : 60 viviendas			
Vía principal		511 metros	
Vías secundarias	202 metros	Vías secundarias	323 metros
Total longitud vial afectada: 1036 metros			

Figura 37
Pronóstico de la línea costera al año 2031



Otro de los aspectos a resaltar es el desplazamiento que se pronostica desde el año actual (2021) hasta el pronóstico de línea de costa al año 2031, en el cual para el sector Puerto Rey se tienen desplazamientos de hasta 120 m que corresponden a la parte norte del área de estudio donde se encuentra la vía primaria y de carácter nacional que comunica el departamento de Córdoba con Antioquia específicamente con el municipio de Arboletes; en comparación con el sector Minuto de Dios en el cual se esperan desplazamientos mayores a 50 m desde la línea costera actual hasta lo pronosticado a 10 años, este sector se caracteriza por presentar acantilados más pronunciados que el sector mencionado anteriormente.

A manera de síntesis se resalta que si el comportamiento espacio-temporal de la erosión costera en los sectores objeto de estudio continúan de manera acelerada, como ha venido ocurriendo en los últimos 15 años tal como lo demuestran los resultados de los anteriores apartes de esta investigación en donde cada año se pierden o desplazan hasta 12 m de la línea costera lo cual es preocupante y hace un llamado a tomar medidas de mitigación y prevención para contrarrestar la problemática y así evitar pérdidas en infraestructura vial y en viviendas, para así contribuir de esta manera para que los habitantes de estos sectores sufran menos afectaciones y evitar desplazamientos de un lugar a otro a causa de la erosión costera.

4.2.1. Pronóstico De Línea De Costa A 20 Años (2041) En El Área de Estudio

Los resultados con un intervalo de confianza de un 95% en el cálculo del pronóstico de línea de costa, muestran que para el año 2041 el área de estudio tendrá un cambio aún más significativo. Como se puede detallar en la tabla 9 y la figura 38, del pronóstico de los elementos expuestos en el sector de Puerto Rey y Minuto de Dios se espera que desaparezcan un total de 123 viviendas y un total de vías entre primarias y secundarias de 1944 metros de longitud. Afectando en mayor

medida a la parte norte del sector de Puerto Rey donde se perderán 838 metros de la vía principal que comunica al departamento de Córdoba con Antioquia, 417 metros de vías secundarias y un total de 29 viviendas afectadas. En comparación con el sector de Minuto de Dios que es la zona que se encuentra más vulnerable ante la pérdida de costa se espera que de ella se afecten 689 metros de vías secundarias y un total de 94 viviendas, es decir 65 más que el primer sector en mención (ver tabla 9 y figura 38).

Tabla 9

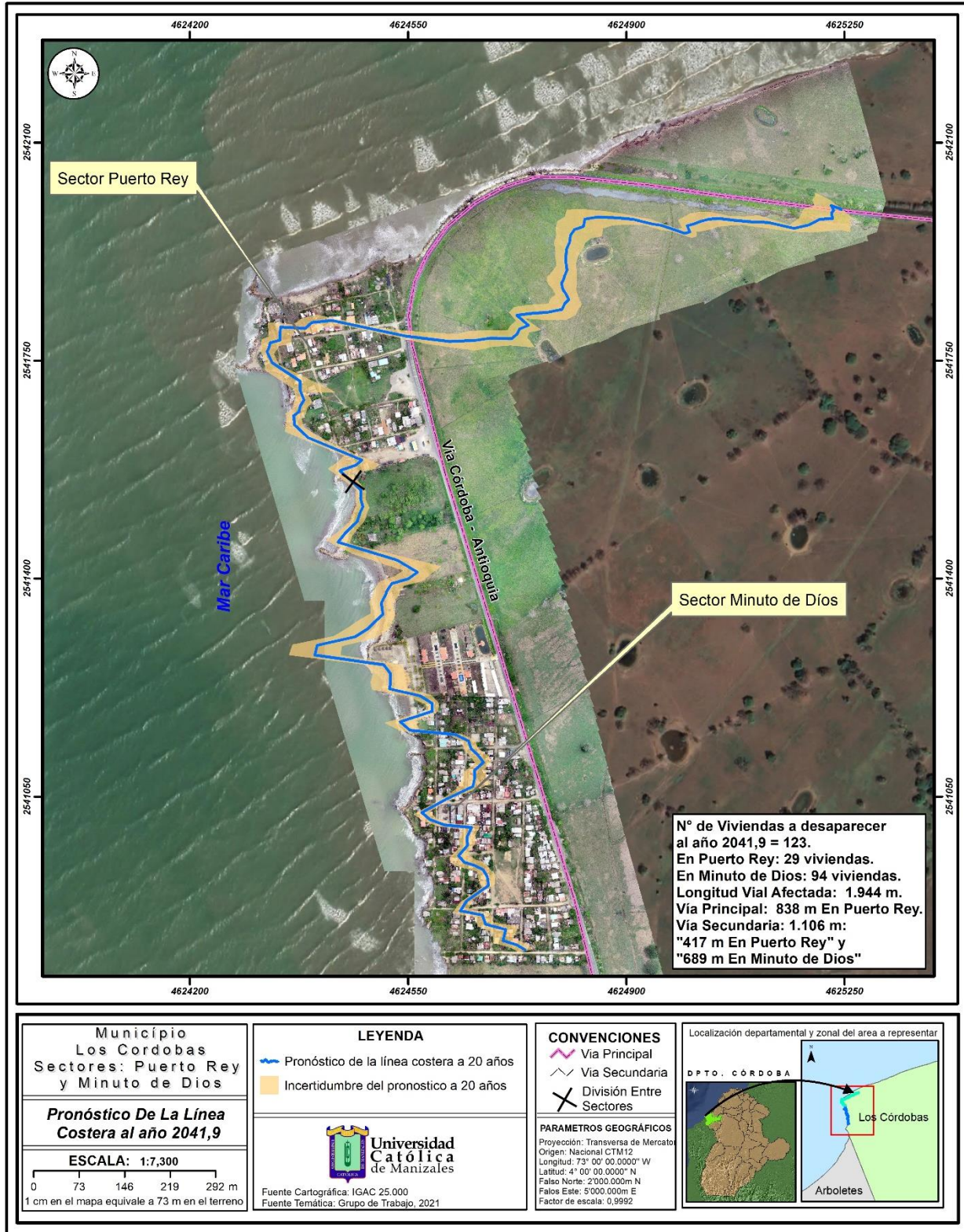
Pronóstico de los elementos expuestos de los sectores Minuto de Dios y Puerto Rey para el año 2041

<i>Puerto Rey</i>		<i>Minuto de Dios</i>	
<i>Elementos expuestos</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Elementos expuestos</i>	<i>Cantidad</i>
Viviendas	29	Viviendas	94
Total, viviendas afectadas: 123 viviendas			
Vía principal	838 metros		
Vías secundarias	417 metros	Vías secundarias	689 metros
Total longitud vial afectada: 1944 metros			

En este orden de ideas otro punto a resaltar es el desplazamiento que se pronostica desde el año actual (2021) hasta el pronóstico de línea de costa al año 2041, en el cual para el sector Puerto Rey se tienen desplazamientos de hasta 220 m que corresponden a la parte norte del área de estudio donde se encuentra la vía primaria y de carácter nacional; en comparación con el sector Minuto de Dios en el cual se esperan desplazamientos mayores a 102 m desde la línea de costa actual hasta lo pronosticado a 20 años.

A manera de resumen se resalta que si el comportamiento espacio-temporal de la erosión continua de manera acelerada, como ha venido ocurriendo en las últimas décadas y como lo demuestran los resultados, así mismo teniendo en cuenta los pronósticos a 10 y 20 años en los cuales se esperan perdidas mayores a 120 viviendas, y casi 2 km de infraestructura vial lo que equivalen a pérdidas económicas significativas para el municipio de Los Córdoba en específico en los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios.

Figura 38
Pronóstico de la línea costera al año 2041



Los resultados de este capítulo en el cual se analizó el pronóstico de línea de costa con un nivel de confianza del 95%, obteniéndose de esta manera una confiabilidad de los mismos y reflejando una problemática grave, en la cual se esperan pérdidas en muchos elementos que se encuentran expuestos a la erosión costera como los son vías, viviendas y así mismo, puede conllevar al desplazamiento dentro y fuera del municipio de personas que se pueden ver afectadas. Con lo cual es importante que las autoridades municipales, departamentales y del orden nacional tomen las medidas necesarias para contrarrestar una problemática que viene afectando decenas de familias cada año.

Por último, es importante resaltar que se debe tener cuidado con la resolución espacial a la hora de realizar estudios multitemporales con imágenes satelitales, ya que pueden afectar la calidad de los datos, sin embargo, en la presente investigación las resoluciones espaciales, aunque varían de 2.8 cm a 100 cm no fue un problema ya que los resultados de las capas espaciales o shape file de la cartografía se generaron a escala 1:500 y en esta escala la unidad mínima cartografiada es de 4 m². por otro lado, al tener imágenes producto de diferentes sensores como lo son levantamientos fotogramétricos con dron, fotografías aéreas e imágenes satelitales se maneja un error espacial de 1 a 3 metros, lo cual es mínimo al realizarse un proceso de georreferenciación entre estas teniendo en cuenta objetos o elementos comunes presentes en el área de estudio para ajustar las imágenes.

En lo referente a las resoluciones temporales de las imágenes este es un limitante de las investigaciones debido a que de manera gratuita es difícil conseguir información de calidad para un período de tiempo largo por ejemplo 30 o 40 años, es así que en la presente investigación solo fue posible conseguir imágenes desde el año 2006 en adelante, pudiéndose analizar solo 15 años

de datos, sin embargo estos fueron suficientes para analizar la problemática costera en los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios.

5. Conclusiones

Una vez abordados los objetivos de la presente investigación se generan las siguientes conclusiones:

- Los procesos erosivos evidenciados en el análisis espacio-temporal realizado para los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios, demuestran que más del 70% del sector costero ha sufrido un desplazamiento neto (del año 2006 al 2021) que va entre -10 metros y -191.1 metros, desplazándose por año entre -2 y -12.9 m/a, lo que evidencia aumento acelerado de los procesos erosivos sobre todo en el sector norte (Puerto Rey) y al sur del área de estudio.
- Los procesos de ganancias o acreción en el área de estudio son pocos, solo presentándose ganancias positivas netas en pequeñas zonas de la parte norte del sector Minuto de Dios con valores netos (del año 2006 al 2021) que están entre 11.3 y 34 metros, mientras que por año se pierden entre 2 y 3 m/a. De la misma manera se presentan ganancias netas en la zona sur de Puerto Rey, con valores que van entre 10 y 11.3 metros netos de acreción, y pérdidas al año entre 0.5 y 1 m/a, esto debido a la construcción artesanal de espolones en diferentes áreas de los sectores y de cabañas turísticas en la parte norte de la localidad de Minuto de Dios.
- Las áreas que presentan mayores valores de erosión o acreción, en todos los períodos (2006-2012, 2012-2019, 2019-2020, 2020-2021) es el sector de Puerto Rey con los valores más altos (40.791 m² y 46.867 m²) en los dos primeros períodos (2006-2012, 2012-2019), y en

menor cantidad no superando los 13,338 m² de áreas erosionadas en ambos sectores el resto de los años. En cuanto a las áreas en acreción o ganancia estas son mínimas en comparación con las áreas erosionadas, siendo el período que presenta mayor ganancia en los años 2012 a 2019 en el sector Minuto de Dios, con 6.780 m² explicándose este valor atípico por la aparición (Cabañas y espolones que no estaban años anteriores) del sector turístico en el área de estudio.

- Los sectores objeto de esta investigación “Puerto Rey y Minuto de Dios”, en el municipio de Los Córdoba, presentan un alto grado de erosión costera, lo que ha genera deterioro en la infraestructura física de algunas viviendas, cabañas y establecimientos comerciales en la zona y algunas calles de los mencionados sectores, dado que, por ser una zona costera, está expuesta a fenómenos naturales como mar de leva, huracanes y depresiones tropicales, entre otros, que contribuyen a la aceleración de los procesos erosivos en la línea de costa.
- Existe una pérdida en total de 66 viviendas en un período de 15 años (2006 -2021), de las cuales el sector de Minuto de Dios es el más afectado al desaparecer 49 viviendas aproximadamente, mientras que en el sector de Puerto Rey desaparecieron 17 viviendas a causa del avance de la erosión costera sobre el litoral en el municipio de Los Córdoba.
- Que en los últimos 3 años (2019, 2020, 2021) se han visto afectadas por la erosión costera en total 16 estructuras tipo viviendas cercanas a la línea de costa, siete (7) en el sector de Puerto Rey y nueve (9) en el sector de Minuto de Dios, de las cuales al menos 7 han colapsado.
- Los procesos erosivos y la dinámica natural o fenómenos naturales asociados a ella como la misma fluctuación del mar, han generado la formación de acantilados con alturas entre

dos (2) y cinco (5) metros, que representan un alto riesgo para la población que habita en estos sectores.

- La erosión costera en los sectores de Puerto Rey y minuto de Dios es producida por procesos propios de la dinámica natural de los ecosistemas, cuyo desarrollo o avance genera conflictos por la presencia de comunidades o elementos expuestos que generan situaciones de riesgo ante la población, por lo que se puede afirmar que el riesgo y por tanto los desastres son una construcción social que está determinada por la relación entre los ecosistemas naturales y la cultura de la sociedad, que a su vez está claramente definida por el modelo de desarrollo adoptado, por eso es necesario pensar en la importancia de la ordenación territorial marítima.
- Se han construido, de manera artesanal y sin estudios técnicos, algunas obras de protección tipo espolones, 5 en el sector Puerto Rey y 4 en el Sector de Minuto de Dios, así mismo algunos pilotes de madera y llantas usadas, con la intención de generar protección del talud, y mitigar con ello el proceso erosivo que afecta a las viviendas aledañas; sin embargo, y aunque se han realizado acciones para controlar la problemática la erosión es acelerada y constante y sigue afectando en gran medida las costas y su población circundante.
- El fenómeno de la erosión en las costas se puede ver agravado por la construcción indiscriminada de obras duras y sin estudios técnicos, así mismo por la tala de manglares y especies nativas que puedan actuar como protectoras de las costas.
- La vía que conecta al departamento de Córdoba y gran parte de la región Caribe con el departamento de Antioquia y la zona del Urabá, es de gran importancia para la región; actualmente cuenta con una barrera de protección tipo enrocado, sin embargo, debido a la gravedad de los procesos erosivos, y a su exposición a fenómenos como mar de leva,

continúa en riesgo a causa de la erosión y socavación, dado que, el talud de la barrera de enrocado se encuentra sobre la misma carretera y puede verse afectado.

- El pronóstico de la línea de costa a 10 años, es decir a 2031, elaborado con un intervalo de confianza del 95% muestran que el área de estudio se espera que desaparezcan un total de 60 viviendas y una longitud vial total de 1036 metros en vías primarias y secundarias. Afectando en mayor medida su infraestructura vial en el sector de Puerto Rey donde se espera que desaparezca una longitud vial de 511 m de vía principal (vía que comunica a los departamentos de Córdoba y Antioquia) y 202 metros en vías secundarias; y así mismo 18 viviendas se verán afectadas. En cuanto al sector de Minuto de Dios siendo este el sector más afectado en cuanto a viviendas por la cantidad de elementos que se encuentran expuestos ante la pérdida de costa, en el cual no existirán pérdidas en vías primarias, pero si en vías secundarias, con una longitud de 323 metros y una afectación en infraestructuras de viviendas de 48.
- Según el pronóstico de línea de costa al año 2031, se espera que para el sector de Puerto Rey se desplacen hasta 120 m de línea costera, correspondientes a la parte norte del área de estudio donde se encuentra la vía primaria y de carácter nacional que comunica el departamento de Córdoba con Antioquia específicamente con el municipio de Arboletes; en comparación con el sector de Minuto de Dios en el cual se esperan desplazamientos no mayores a 50 m desde la línea costera actual hasta lo pronosticado a 10 años, este sector se caracteriza por presentar acantilados más pronunciados que el sector mencionado anteriormente.
- El pronóstico de la línea de costa a 20 años, es decir a 2041, elaborado con un intervalo de confianza del 95%, se espera que el área de estudio tendrá un cambio aún más significativo

que en el pronóstico a 10 años, se espera que desaparezcan un total de 123 viviendas y un total de vías entre primarias y secundarias de 1944 metros de longitud. Afectando en mayor medida a la parte norte del sector de Puerto Rey donde se perderán 838 metros de la vía principal que comunica al departamento de Córdoba con Antioquia, 417 metros de vías secundarias y un total de 29 viviendas afectadas. En comparación con el sector de Minuto de Dios que es la zona que se encuentra más vulnerable ante la pérdida de costa se espera que de ella se afecten 689 metros de vías secundarias y un total de 94 viviendas.

- Según el pronóstico de línea de costa al año 2041, se espera que para el sector Puerto Rey se desplacen hasta 220 m que corresponden a la parte norte del área de estudio donde se encuentra la vía primaria y de carácter nacional; en comparación con el sector Minuto de Dios en el cual se esperan desplazamientos no mayores a 102 m desde la línea de costa actual hasta lo pronosticado a 20 años.
- Que los cambios que se esperan en el pronóstico de línea de costa son alarmantes, al esperarse perdidas en viviendas de 129, y aproximadamente 2 kilómetros de vías primarias y secundarias desaparecerían de seguir teniendo el mismo comportamiento que ha tenido la erosión costera durante los últimos 15 años, y si no se realizan ningún tipo de obra con los respectivos estudios de detalle que permitan prevenir o mitigar esta problemática que afecta a los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios.
- Se debe tener cuidado con la resolución espacial a la hora de realizar estudios multitemporales con imágenes satelitales, ya que pueden afectar la calidad de los datos, sin embargo, en la presente investigación las resoluciones espaciales, aunque varían de 2.8 cm a 100 cm no fue un problema ya que los resultados de las capas espaciales o shape file de la cartografía se generaron a escala 1:500 y en esta escala la unidad mínima cartografiada

es de 4 m², en este sentido, al tener imágenes producto de diferentes sensores como lo son levantamientos fotogramétricos con dron, fotografías aéreas e imágenes satelitales se maneja un error espacial de 1 a 2 metros, lo cual es mínimo al realizarse un proceso de georreferenciación entre estas teniendo en cuenta objetos o elementos comunes presentes en el área de estudio para ajustar las imágenes.

6. Recomendaciones

Después de realizar un análisis exhaustivo de la problemática de erosión costera en los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios, se realiza las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda que no se deben realizar ningún tipo de obras duras sin los estudios de detalle necesarios y sin cumplir los requisitos y/o permisos ambientales requeridos, debido a que estas obras pueden generar alteraciones en la dinámica litoral o transporte de sedimentos, afectando así otros sectores.
- Se recomienda que cualquier actividad u obra a realizar (con los debidos estudios y permisos ambientales) sea socializada y desarrollada de manera conjunta con la comunidad de los sectores Puerto Rey y Minuto de Dios, bajo parámetros de ordenamiento territorial, de manera que se permita conservar los ecosistemas presentes, mitigar los procesos de erosión costera para generar comunidades más resilientes ante esta problemática.
- Es recomendable que se realicen estudios de batimetría con el propósito de estudiar los cambios sedimentológicos bajo la acción de los tiempos de oleaje en temporada seca y

de lluvias, realizando mediciones por lo menos dos veces al año, esto debido a que se identificó en campo que las playas poseen poca arena y, además, se desconoce dónde van a parar los sedimentos erosionados en el área de estudio.

- Se recomienda realizar estudios hidrológicos y del comportamiento del Oleaje, para comprender a fondo el proceso erosivo en el área de estudio.
- Se recomienda la promoción y protección de los ecosistemas marino costeros (manglares y corales), ya que la vulnerabilidad costera regional a la erosión puede aumentar sin la presencia de estos.
- Se recomienda la gestión, planificación y ejecución de acciones pertinentes e inmediatas que conlleven a medidas de reducción, mitigación y prevención de la problemática de erosión costera, por parte de las administraciones municipal y departamental, para que permitan implementar soluciones definitivas a la problemática de erosión costera que se presenta en los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios, en el municipio de Los Córdoba, departamento de Córdoba.
- Se recomienda que el Consejo municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres – CMGRD, la administración municipal de Los Córdoba y las autoridades ambientales respectivas en este caso la Corporación Autónoma del Valle del Sinú y del San Jorge (CVS), deben realizar actividades de monitoreo constante de la evolución de los fenómenos asociados a la erosión costera, especialmente en los sectores de Puerto Rey y Minuto de Dios, de manera que, las comunidades expuestas puedan recibir alertas oportunas o estar atentos ante la ocurrencia de cualquier evento de riesgo.
- Teniendo en cuenta el principio de concurrencia estipulado en la ley 1523 de 2012, se recomienda que se deben aunar esfuerzos (institucionales, económicos) por parte de la

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), Oficina de Gestión de Riesgo de desastres del departamento de Córdoba, autoridad ambiental del departamento (CVS) y la administración municipal de Los Córdoba, que contribuyan con la solución de dicha problemática de erosión costera.

- Se recomienda que los monitoreos y estudios realizados por parte de Corporación Autónoma del Valle del Sinú y del San Jorge (CVS) y el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andréis (INVERMAR), involucren el uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT) o drones en los levantamientos fotogramétricos y topográficos de la evolución de la línea de costa.
- Se recomienda que se continúen elaborando estudios de cambio y pronóstico de línea de costa en todo el litoral del departamento de Córdoba, que permitan tomar decisiones y planificar el territorio con base a estudios científico – técnicos.

7. Anexos

Anexo 1:

Parámetros Estadísticos Utilizados en el pronóstico de Línea de Costa a 10 y 20 años

Transecto ID	Azimuth	Incertidumbre de la tasa de punto final	Tasa de regresión lineal (LRR)	Error estándar de regresión lineal	Intervalo de confianza de regresión lineal con 95%
157	80,31	0,1	-2,72	0,92	0,23
199	100,63	0,1	-0,24	1,15	0,29
56	107,11	0,1	-0,49	1,25	0,31
200	101,12	0,1	-0,4	1,29	0,33
9	84	0,1	-4,37	1,33	0,33
8	83,27	0,1	-3,19	1,74	0,44
168	86,84	0,1	-1,87	2,14	0,54
55	107,11	0,1	-0,35	2,18	0,55
278	125,23	0,1	-13,01	2,23	0,56



Transecto ID	Azimuth	Incertidumbre de la tasa de punto final	Tasa de regresión lineal (LRR)	Error estándar de regresión lineal	Intervalo de confianza de regresión lineal con 95%
70	107,11	0,1	-0,61	2,28	0,58
165	84,99	0,1	-2,53	2,37	0,6
31	97,11	0,1	-2,16	2,43	0,61
128	125,02	0,1	-13,05	2,6	0,66
17	88,61	0,1	-2,25	2,65	0,67
147	75,84	0,1	-3,82	2,71	0,68
69	107,11	0,1	-0,7	2,73	0,69
154	78,77	0,1	-2,44	2,83	0,72
73	107,11	0,1	-0,92	2,89	0,73
28	95,14	0,1	-1,12	2,99	0,76
14	87,19	0,1	-2,63	2,99	0,76
11	85,44	0,1	-3,68	3,09	0,78
195	99,1	0,1	-0,33	3,13	0,79
155	79,34	0,1	-1,58	3,16	0,8
198	100,2	0,1	-0,37	3,18	0,8
54	107,11	0,1	-0,36	3,22	0,81
127	124,47	0,1	-12,55	3,26	0,82
164	84,38	0,1	-3,26	3,3	0,83
137	75,9	0,1	-6,1	3,3	0,83
197	99,78	0,1	-0,25	3,33	0,84
194	98,86	0,1	-0,15	3,49	0,88
169	87,42	0,1	-1,94	3,5	0,89
18	89,12	0,1	-1,59	3,51	0,89
145	75,48	0,1	-4,65	3,54	0,89
51	106,83	0,1	-0,29	3,55	0,9
50	106,51	0,1	-0,08	3,56	0,9
53	107,11	0,1	-0,23	3,56	0,9
144	75,54	0,1	-3,26	3,57	0,9
163	83,81	0,1	-3,48	3,57	0,9
27	94,49	0,1	-3,03	3,65	0,92
26	93,83	0,1	-3,36	3,65	0,92
219	107,22	0,1	-0,75	3,67	0,93
72	107,11	0,1	-1,08	3,69	0,93
64	107,11	0,1	-0,67	3,72	0,94
217	106,67	0,1	-0,7	3,74	0,94
222	107,63	0,1	-0,76	3,75	0,95
68	107,11	0,1	-0,74	3,76	0,95
52	107,11	0,1	-0,24	3,84	0,97



Transecto ID	Azimuth	Incertidumbre de la tasa de punto final	Tasa de regresión lineal (LRR)	Error estándar de regresión lineal	Intervalo de confianza de regresión lineal con 95%
25	93,17	0,1	-3,95	3,85	0,97
67	107,11	0,1	-0,73	3,9	0,99
196	99,42	0,1	-0,24	3,98	1
221	107,61	0,1	-1,15	3,98	1,01
216	106,67	0,1	-0,24	4,02	1,01
215	106,67	0,1	0,21	4,06	1,03
30	96,45	0,1	-1,71	4,06	1,03
10	84,71	0,1	-3,71	4,24	1,07
275	125,22	0,1	-10,62	4,31	1,09
151	77,01	0,1	-3,03	4,33	1,09
63	107,11	0,1	0,01	4,39	1,11
142	75,85	0,1	-4,36	4,49	1,13
162	83,2	0,1	-3,83	4,6	1,16
6	81,78	0,1	-4,51	4,61	1,17
24	92,53	0,1	-3,98	4,72	1,19
5	81,08	0,1	-4,12	4,74	1,2
20	90,17	0,1	-3,09	4,76	1,2
66	107,11	0,1	-0,84	4,76	1,2
138	76,4	0,1	-5,57	4,77	1,21
118	119,06	0,1	-9,32	4,78	1,21
193	98,74	0,1	0,13	4,79	1,21
141	76,05	0,1	-4,16	4,79	1,21
212	106,28	0,1	0,34	4,81	1,22
211	105,84	0,1	0,33	4,83	1,22
161	82,57	0,1	-4,23	4,84	1,22
74	107,11	0,1	-0,9	4,92	1,24
15	87,56	0,1	-2,99	4,97	1,25
156	79,95	0,1	-1,43	5	1,26
239	111,15	0,1	-11,49	5,06	1,28
269	121,57	0,1	-9,31	5,08	1,28
49	106,14	0,1	0,15	5,08	1,28
143	75,67	0,1	-2,85	5,08	1,28
268	120,82	0,1	-9,22	5,1	1,29
223	107,89	0,1	-0,99	5,12	1,29
201	101,62	0,1	-0,13	5,13	1,3
152	77,53	0,1	-2,99	5,19	1,31
16	88,1	0,1	-3,95	5,19	1,31
119	119,7	0,1	-9,36	5,2	1,31



Transecto ID	Azimuth	Incertidumbre de la tasa de punto final	Tasa de regresión lineal (LRR)	Error estándar de regresión lineal	Intervalo de confianza de regresión lineal con 95%
7	82,51	0,1	-2,9	5,32	1,34
146	75,58	0,1	-4,03	5,39	1,36
153	78,12	0,1	-3,71	5,43	1,37
57	107,11	0,1	-0,14	5,48	1,38
214	106,67	0,1	0,38	5,48	1,38
2	78,85	0,1	-5,9	5,5	1,39
218	106,88	0,1	-0,85	5,54	1,4
19	89,62	0,1	-1,86	5,59	1,41
213	106,67	0,1	0,39	5,65	1,43
276	125,38	0,1	-11,41	5,69	1,44
65	107,11	0,1	-0,86	5,73	1,45
32	97,7	0,1	-1,98	5,77	1,46
210	105,46	0,1	1,03	5,82	1,47
150	76,61	0,1	-2,49	5,85	1,48
166	85,62	0,1	-0,61	5,95	1,5
224	108,16	0,1	-1,16	6,11	1,54
84	107,47	0,1	-7,8	6,2	1,57
267	120,06	0,1	-8,7	6,26	1,58
13	86,73	0,1	-2,64	6,38	1,61
126	124,03	0,1	-11,56	6,41	1,62
93	110,36	0,1	-12,65	6,67	1,68
237	110,44	0,1	-12,63	6,7	1,69
139	76,77	0,1	-4,83	6,79	1,72
23	91,91	0,1	-3,6	6,81	1,72
3	79,61	0,1	-5,08	6,84	1,73
125	123,67	0,1	-11,06	6,88	1,74
75	107,11	0,1	-1,22	6,89	1,74
116	118,13	0,1	-7,62	6,98	1,76
95	110,57	0,1	-12,29	7,14	1,8
270	122,33	0,1	-8,91	7,3	1,84
236	110,22	0,1	-12,9	7,31	1,85
148	76,24	0,1	-3,18	7,38	1,87
160	81,93	0,1	-3,72	7,57	1,91
264	117,82	0,1	-7,54	7,71	1,95
149	76,34	0,1	-2,65	7,74	1,96
103	113,48	0,1	-9,36	7,76	1,96
92	110,21	0,1	-12,87	7,77	1,96
252	114,15	0,1	-9,32	7,78	1,97



Transecto ID	Azimuth	Incertidumbre de la tasa de punto final	Tasa de regresión lineal (LRR)	Error estándar de regresión lineal	Intervalo de confianza de regresión lineal con 95%
253	114,63	0,1	-9,09	7,81	1,97
229	109,16	0,1	-4,5	7,98	2,01
22	91,32	0,1	-3,22	8	2,02
170	88,05	0,1	-1,46	8,01	2,02
181	93,78	0,1	0,05	8,04	2,03
81	107,11	0,1	-3,98	8,04	2,03
12	86,12	0,1	-3,08	8,04	2,03
254	115,03	0,1	-8,87	8,08	2,04
104	114,13	0,1	-8,97	8,1	2,05
279	124,87	0,1	-13,01	8,33	2,1
255	115,67	0,1	-8,56	8,35	2,11
225	108,47	0,1	-1,74	8,36	2,11
42	102,92	0,1	-0,04	8,37	2,11
274	124,89	0,1	-9,67	8,37	2,11
192	98,58	0,1	0,48	8,38	2,12
124	123,03	0,1	-9,88	8,39	2,12
266	119,32	0,1	-8,33	8,42	2,13
183	94,89	0,1	-0,14	8,46	2,14
94	110,44	0,1	-12,91	8,54	2,16
117	118,55	0,1	-8,35	8,58	2,17
77	107,11	0,1	-1,79	8,58	2,17
105	114,26	0,1	-8,63	8,63	2,18
202	102,12	0,1	0,21	8,69	2,2
204	103	0,1	0,22	8,72	2,2
184	95,48	0,1	-0,24	8,73	2,21
228	108,93	0,1	-3,9	8,73	2,21
203	102,55	0,1	0,17	8,75	2,21
182	94,31	0,1	0,04	8,76	2,21
123	122,48	0,1	-9,43	8,81	2,23
226	108,68	0,1	-1,84	8,81	2,22
205	103,49	0,1	0,13	8,82	2,23
180	93,26	0,1	-0,04	8,82	2,23
43	103,27	0,1	0,02	8,87	2,24
4	80,35	0,1	-5,12	8,9	2,25
48	105,67	0,1	0,47	8,9	2,25
277	125,41	0,1	-12,05	8,93	2,26
159	81,32	0,1	-3,9	8,95	2,26
120	120,44	0,1	-9,1	9	2,27



Transecto ID	Azimuth	Incertidumbre de la tasa de punto final	Tasa de regresión lineal (LRR)	Error estándar de regresión lineal	Intervalo de confianza de regresión lineal con 95%
185	96,03	0,1	-0,34	9	2,27
271	123,08	0,1	-8,93	9,02	2,28
273	124,39	0,1	-9,24	9,06	2,29
80	107,11	0,1	-3,9	9,14	2,31
187	97,11	0,1	-0,52	9,14	2,31
251	113,65	0,1	-9,43	9,16	2,31
122	121,81	0,1	-9,29	9,16	2,32
47	105,16	0,1	-4,25	9,18	2,32
140	76,39	0,1	-5,05	9,2	2,32
82	107,11	0,1	-4,58	9,24	2,33
76	107,11	0,1	-1,9	9,28	2,34
188	97,52	0,1	-0,9	9,29	2,35
186	96,58	0,1	-0,39	9,3	2,35
21	90,74	0,1	-3,68	9,45	2,39
238	110,66	0,1	-12,99	9,47	2,39
58	107,11	0,1	-0,07	9,48	2,39
102	112,92	0,1	-9,5	9,56	2,41
129	125,56	0,1	-12,87	9,58	2,42
44	103,73	0,1	-0,35	9,59	2,42
265	118,58	0,1	-8,09	9,67	2,44
78	107,11	0,1	-1,95	9,7	2,45
272	123,78	0,1	-9,02	9,79	2,47
190	98,33	0,1	-2,54	9,82	2,48
256	116,24	0,1	-8,2	9,85	2,49
79	107,11	0,1	-3,08	9,89	2,5
206	103,94	0,1	-0,27	9,89	2,5
45	104,19	0,1	-0,91	9,9	2,5
46	104,65	0,1	-2,11	9,95	2,51
244	112,16	0,1	-11,22	9,96	2,52
121	121,2	0,1	-9,08	10,03	2,53
227	108,75	0,1	-2,08	10,08	2,55
99	111,98	0,1	-11,29	10,2	2,58
106	114,19	0,1	-8,39	10,22	2,58
115	117,41	0,1	-7,25	10,37	2,62
263	117,52	0,1	-7,21	10,48	2,65
250	113,37	0,1	-9,54	10,74	2,71
189	97,88	0,1	-2,24	10,83	2,74
245	112,16	0,1	-10,69	10,83	2,74



Transecto ID	Azimuth	Incertidumbre de la tasa de punto final	Tasa de regresión lineal (LRR)	Error estándar de regresión lineal	Intervalo de confianza de regresión lineal con 95%
243	112,12	0,1	-11,26	10,86	2,74
242	111,95	0,1	-11,6	10,91	2,76
257	116,7	0,1	-7,92	11,03	2,79
167	86,25	0,1	-0,53	11,27	2,85
98	111,51	0,1	-11,6	11,42	2,89
107	114,19	0,1	-8,16	11,43	2,89
246	112,28	0,1	-10,33	11,48	2,9
101	112,5	0,1	-9,67	11,54	2,91
29	95,79	0,1	-0,45	11,54	2,92
100	112,2	0,1	-10,35	11,56	2,92
249	112,95	0,1	-9,63	11,61	2,93
286	128,89	0,1	-11,89	11,68	2,95
286	128,89	0,1	-11,89	11,68	2,95
247	112,41	0,1	-10,26	11,72	2,96
96	110,77	0,1	-11,55	11,98	3,03
230	109,27	0,1	-5,6	12,08	3,05
248	112,45	0,1	-9,88	12,34	3,12
258	117,06	0,1	-7,55	12,39	3,13
108	114,31	0,1	-7,89	12,55	3,17
179	92,73	0,1	0,22	12,56	3,17
134	129,03	0,1	-11,76	12,59	3,18
83	107,25	0,1	-5,72	12,64	3,19
262	117,71	0,1	-6,8	12,9	3,26
60	107,11	0,1	-1,86	12,92	3,26
240	111,54	0,1	-11,35	12,96	3,27
207	104,28	0,1	-1,11	13,02	3,29
114	116,75	0,1	-6,87	13,04	3,29
174	90,08	0,1	0,12	13,06	3,3
158	80,77	0,1	-3,95	13,09	3,31
171	88,67	0,1	-0,05	13,16	3,32
173	89,59	0,1	-0,19	13,23	3,34
109	114,48	0,1	-7,89	13,29	3,36
41	102,44	0,1	0,25	13,41	3,39
35	99,24	0,1	-0,11	13,66	3,45
208	104,69	0,1	-1,69	13,84	3,5
130	126,13	0,1	-12,6	14,02	3,54
259	117,38	0,1	-7,34	14,44	3,65
233	109,03	0,1	-12	14,49	3,66



Transecto ID	Azimuth	Incertidumbre de la tasa de punto final	Tasa de regresión lineal (LRR)	Error estándar de regresión lineal	Intervalo de confianza de regresión lineal con 95%
280	124,51	0,1	-12,65	14,54	3,67
113	116,14	0,1	-6,8	14,56	3,68
59	107,11	0,1	-1,58	14,85	3,75
281	125,34	0,1	-12,72	15,03	3,8
34	98,74	0,1	-0,2	15,06	3,81
172	89,12	0,1	-0,15	15,07	3,81
110	114,83	0,1	-7,73	15,13	3,82
241	111,81	0,1	-11,57	15,16	3,83
97	111,07	0,1	-11,81	15,19	3,84
88	108,48	0,1	-12,08	15,21	3,84
131	126,79	0,1	-12,58	15,26	3,86
178	92,2	0,1	0,55	15,47	3,91
261	117,74	0,1	-6,78	15,53	3,92
87	108,15	0,1	-11,98	15,77	3,98
260	117,64	0,1	-7,4	15,99	4,04
285	128,17	0,1	-11,28	16,26	4,11
62	107,11	0,1	1,33	16,3	4,12
177	91,67	0,1	1,29	16,37	4,13
39	101,26	0,1	1,42	16,42	4,15
234	109,42	0,1	-12,29	16,42	4,15
33	98,2	0,1	1,31	16,47	4,16
112	115,59	0,1	-7,25	16,71	4,22
89	108,91	0,1	-12,51	16,79	4,24
111	115,19	0,1	-7,61	16,86	4,26
282	126,1	0,1	-12,67	17,19	4,34
133	128,18	0,1	-11,56	17,44	4,41
231	109,24	0,1	-8,79	17,56	4,44
284	127,37	0,1	-11,68	17,6	4,45
40	101,88	0,1	0,71	17,67	4,46
132	127,44	0,1	-12,04	17,83	4,5
283	126,77	0,1	-11,96	18,07	4,57
90	109,28	0,1	-12,87	18,43	4,66
209	105,09	0,1	0,67	18,62	4,7
176	91,13	0,1	3,1	19,14	4,84
235	109,87	0,1	-13	19,24	4,86
61	107,11	0,1	0,96	19,24	4,86
38	100,69	0,1	3,05	19,27	4,87
85	107,69	0,1	-9,44	19,64	4,96

Transecto ID	Azimuth	Incertidumbre de la tasa de punto final	Tasa de regresión lineal (LRR)	Error estándar de regresión lineal	Intervalo de confianza de regresión lineal con 95%
175	90,61	0,1	3,21	19,99	5,05
91	109,7	0,1	-13,16	20,48	5,17
37	100,12	0,1	3,27	21,21	5,36
232	109,06	0,1	-10,94	21,27	5,37
86	107,91	0,1	-10,64	21,29	5,38
36	99,68	0,1	3,33	22,7	5,73
71	107,11	0,1	-2,44	27,62	6,98
220	107,47	0,1	-2,48	28,66	7,24
191	98,48	0,1	-2,56	35,12	8,87

8. Referencias Bibliográficas

Armada Española, INSTITUTO HIDROGRÁFICO DE LA MARINA (2017). Línea de Costa. Recuperado de: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/cienciahm1/prefLang-es/02ProductosServicios--08InfoInteres>

Banco Mundial (2017) *Costas Resilientes*. Obtenido de: <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/12/01/resilient-coasts>

BARNARD, Patrick L., HANSEN, Jeff E. y ERIKSON, Li H. Synthesis study of an erosion hot spot. . Extraído de: <URL: <http://search.proquest.com/docview/1030730610/D9F90D2C910D4BB8PQ/1?accountid=45660>>

BARBARA PROENCA, Filipa S.B.F, Oliveira y SANCHO, Francisco. Coastal erosion management in Algarve (Portugal): a beach nourishment case study. En: Journal of Coastal Research, special issue No. 61 2011. Extraído de: URL:

http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_06_07/io7/public_html/bat1.html>.

Caracol Radio, 17 de Mayo de 2018. La erosión costera fenómeno que amenaza a Córdoba,
Caracol Radio. Recuperado de:
https://caracol.com.co/emisora/2018/05/17/monteria/1526576717_332115.html

Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS), 2019.

DNP. (noviembre 2020) ficha de caracterización territorial municipio de los Córdoba,
departamento de Córdoba. Recuperado de: <https://terridata.dnp.gov.co/#/diccionario>

Encolombia (2015). Compromiso de Colombia de Conservar el 13% de las zonas marinas.
Recuperado de: <https://encolombia.com/medio-ambiente/noticiasmedioambiente/colombia-conservar-zonas-marinas/>

Georgan Sierra Howard (2015). “Estrategias para el control y prevención de la Erosión en la Playa de South West en la Isla de Providencia”. Universidad Católica de Colombia.

Hurtado de Barrera, Jacqueline. 2000. Metodología de la investigación. Caracas, Venezuela. Ediciones Quirón – Sypal. recuperado de: <http://es.scribd.com/doc/20829191/Principales-tipos-de-investigacion>

Himmelstoss, E.A., Henderson, R.E., Kratzmann, M.G., and Farris, A.S., 2018, Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide: U.S. Geological Survey Open-File Report 2018–1179, 110 p., <https://doi.org/10.3133/ofr20181179>.

INVEMAR (2012). Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia. Santa Marta.

INVEMAR, CVS (2019) Informe técnico final Convenio No. 014-19 CVS- INVEMAR
“AVANCES EN EL CONOCIMIENTO Y LINEAMIENTOS PARA EL CONTROL DE
LA EROSIÓN EN LA ZONA COSTERA DEL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA”

INVEMAR, CVS (2018) Informe técnico final Convenio No. 022-18 CVS- INVEMAR

INVEMAR, CVS (2017) Informe técnico final Convenio No. 022-17 CVS- INVEMAR

INVEMAR, CVS (2016) Informe técnico final Convenio No. 027-16 CVS- INVEMAR

INVEMAR, CVS (2015) Informe técnico final Convenio No. 020-15 CVS- INVEMAR

IPCC, 2013: Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo Ial Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

Iván D. Correa, Georges Vernet (2004). Introducción al Problema de la Erosión Litoral en Urabá (Sector Arboletes - Turbo) Costa Caribe Colombiana

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (Mayo de 2015).

Estudio Nacional Del Agua. Obtenido de

http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf

Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP).

Invemar, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales del Invemar No. 73, Santa Marta. 36 p.

INVEMAR, 2013, Informe Técnico Final - Monitoreo de la erosión de los entes territoriales de la UAC Costera del departamento de Córdoba. CAR –CVS.

INVEMAR, 2014, Informe Técnico Final - Monitoreo de la calidad de las aguas marino costeras y perfiles de playa y campos de línea de costa del departamento de Córdoba.

INVEMAR, 2015, Informe Técnico Final – monitoreo de calidad de las aguas de la REDCAM departamento de Córdoba y el Monitoreo de la Erosión Costera.

INVEMAR, 2016, Informe Técnico Final - Avances en el conocimiento de la erosión costera y el riesgo ecológico y ambiental por amenazas físicas en la zona costera del departamento de Córdoba.

INVEMAR, 2017, Informe Técnico Final - Avances en el conocimiento y lineamientos para el control de la erosión costera en el departamento de Córdoba.

INVEMAR, 2018, Informe Técnico Final - Avances en el conocimiento y lineamientos para el control de la erosión en la zona costera del departamento de Córdoba.

INVEMAR, 2019, Informe Técnico Final - avances en el conocimiento y lineamientos para el control de la erosión costera en el departamento de Córdoba.

José Ojeda Zújar (2001). “Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuesta”. Departamento de Geografía física y AGR. Universidad de Sevilla.

Laboratorio Unidad Pacífico Sur CIESAS (2020). SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. recuperado de: <https://langleruben.wordpress.com/%C2%BFque-es-un-sig/>

LIUO, Jin-Cheng, CHANG, Hsien-Kuo, CHEN, Wei-Wei; LIAW, Shyne-Ruey. Beach erosion and preventive countermeasure at Kangnan Coast, Taiwan. En: Journal of Coastal Research (Mar 2009); vol. 25, no.2; p. 405. Extraído de URL: http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_06_07/107/public_html/bat1.html>.

Ley 1523 de 2012 “*Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones*”.

La Razón. (febrero del 2020) por décadas se ha subestimado la erosión costera en Córdoba: recuperado de:

<https://larazon.co/cordoba/por-decadas-se-ha-subestimado-la-erosion-costera-en-cordoba-gobernador/>

La Razón. (febrero del 2020). Córdoba pide apoyo al Gobierno para combatir la erosión en sus costas. recuperado de: <https://larazon.co/cordoba/cordoba-pide-apoyo-al-gobierno-para-combatir-erosion-en-sus-costas/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (MinAmbiente). (3 de Noviembre de 2017). *Plan Maestro de Erosión Costera Colombia*. Obtenido de https://www.arcadis.com/media/3/2/1/%7B3218C2E2-50C7-49CB-8A38-2FF72606CB23%7DMasterplan%20kusterosie%20Colombia_PMEC_Informe%20Principal_final_20171103_FINAL_ESENG%20-%20summary.pdf

Navarrete-Ramírez, S. M. 2014. Protocolo Indicador Variación línea de costa: perfiles de playa.

Real Academia de la Lengua española -RAE, 2021. Obtenido de: <https://dle.rae.es/transecto>

Otalvaro. E. (24 de julio de 2018) Por la erosión, el mar se está ‘comiendo’ la costa de Urabá.

Revista Semana, Recuperado de: <https://semanarural.com/web/articulo/erosion-en-uraba-587>

Posada, B. O., y N. Rangel-Buitrago. 2009. Metodología para el levantamiento de perfiles de playa (p: 55–63). En: Alcántara-Carrió, J., I.D. Correa-Arango, F. I. Mendy, M. Alvarado-Ortega, A.H.F. Klein, A. Cabrera-Hernández y Sandoval-Barlow, R. (Eds.). Métodos en Teledetección aplicada a la prevención de riesgos naturales en el litoral. Servicio de Publicaciones del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Madrid. 297 p.

QUÉ ES UN LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO. (2020). Recuperado 15 de octubre de 2020, de Perfil Topografía website: <https://perfiltopografia.es/levantamiento-fotogrametrico/#:~:text=Un%20levantamiento%20fotogram%C3%A9trico%20es%20la,im%C3%A1genes%20recogidas%20a%20tal%20efecto> .

Servicio Nacional de Estudios Territoriales Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales Gobierno de El Salvador (2018). Erosión Costera. Recuperado de: <http://mapas.snet.gob.sv/oceanografia/erosionCostera.pdf>

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (2017). Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenómenos Amenazantes.