

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO
PROGRAMA DE MAESTRÍA DE INGENIERÍA



**“Análisis del Calentamiento Global y Erosión en las Costas de Punta Chame,
2023”**

RICARDO AUGUSTO DOMÍNGUEZ ÁLVAREZ

**PRESENTADO COMO UNO DE LOS
REQUISITOS PARA OBTENER EL
GRADO DE MAESTRÍA EN
INGENIERÍA EN AUDITORIA Y
GESTIÓN DE PROCESOS**

PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ

2023

BCC

JUL 18 2024

Dedicatoria

Este trabajo de investigación no habría sido posible sin el apoyo inquebrantable y el compromiso excepcional de mi madre, esposa, hijos, nietos y hermano. Cada uno de ustedes han contribuido de manera significativa a este proyecto, aportando su amor y dedicación.

Dedico este logro a cada uno de mis estudiantes, por ser individuos excepcionales que han dejado una marca indeleble en mi carrera como docente universitario. Qué este trabajo sirva como testimonio de nuestra colaboración y como inspiración para futuras generaciones de estudiantes.

Ricardo Augusto Domínguez Álvarez

Ricardo Augusto Domínguez Álvarez

Agradecimiento

Agradezco a la empresa de servicios cartograficos Esri Panamá por su asistencia técnica y experticia en el uso de la plataforma ArcGIS Pro. A sus colaboradores por su contribución que permitió mejorar significativamente la calidad del presente trabajo.

Mi gratitud se extiende a los profesores de esta maestría, por habernos instruidos para la puesta en práctica de metodologías de la investigación, en especial a mi tutor el Doctor Jorge Marrtínez Ramírez por su orientación, apoyo constante y valiosos aportes que fueron fundamentales para el desarrollo y éxito de este trabajo.

Ricardo Augusto Domínguez Álvarez

INDICE GENERAL

PÁGINA

RESUMEN EN ESPAÑOL	i
RESUMEN EN INGLÉS	ii
INTRODUCCIÓN	iii

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.

1 El planteamiento del problema.....	2
2 Formulación del problema.....	3
3 Justificación del problema.....	3
4 Objetivos de la investigación	
4.1 Objetivo General.....	4
4.1.1 Objetivos específicos.....	5
5 Alcances y limitaciones de la investigación.....	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

1 Antecedentes.....	11
1.1 Antecedentes a nivel internacional.....	11
1.1 Antecedentes a nivel regional.....	16
1.2 Antecedentes a nivel nacional.....	21
2 Base teóricas: Definición de las variables de estudio.....	24
3 Las bases en que se basa la investigación.....	25
4 Importancia de las bases teóricas.....	25

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1 Tipo de investigación Cuantitativa.....	28
2 Diseño y nivel de investigación Exploratoria, descriptiva.....	28
3 Unidad de Análisis.....	29

4 Procesamiento y análisis de datos.....	29
5 Técnica e instrumento.....	30

CAPÍTULO IV

RESULTADOS, CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

1 Presentar los resultados y porcentajes.....	32
2 Presentar los resultados respecto a los objetivos.....	32
3.1 Conclusiones.....	34
3.2 Discusión de los resultados.....	35

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	36
--	-----------

ANEXOS

Mapas digitales y fotos.....	42
Figura 1: Imagen satelital en coordenadas de Punta Chame en el año 2003.....	42
Figura 2: Imágen satelital en coordenadas de Punta Chame en el año 2013.....	43
Figura 3: Imagen satelital en coordenadas de Punta Chame en el año 2018.....	44
Figura 4: Imagen satelital del impacto erosivo al año 2023 y resumen de las dos últimas décadas	45
Figura 5: Imagen con la formula para calcular el porcentaje de la transgresión marina desde 2003.....	46
Figura 6: Imagen con los resultados al calcular el porcentaje de erosión en las líneas costeras.....	47
Figura 7: Imágenes sobre puestas de los mapas digates del 2003 sobre 2023.....	48
Figura 8: Ortofoto de los manglares de Chame y sus alrededores.....	49
Figura 9: Foto de escollera construida para proteger el poblado.....	50
Figura 10: Foto donde se puede apreciar la construcción de escollera para proteger recodo del río.....	51
Figura 11: Foto de espigones que protegen un tramo de la carretera de acceso a la población.....	52
Figura 12: Imágen de construcciones impactadas por la dinamica litoral.....	53
Glosario.....	54

RESUMEN EN ESPAÑOL

El aumento del nivel de los mares es el problema más grave que enfrenta la humanidad actualmente, ello cambiará la morfología en las líneas de costas que poseen bajo relieve como es el caso en nuestro país. Se eligió una región determinada en el golfo de Panamá que es vulnerable a este fenómeno para realizar la investigación, y revisar las posibles consecuencias en las poblaciones y el impacto en los ecosistemas. El objetivo de esta investigación es analizar el impacto del calentamiento global, la erosión en las costas y los riesgos en las poblaciones en Punta Chame. La metodología empleada en esta investigación es de carácter descriptiva con enfoque cuantitativo y experimental por la obtención de datos prospectivos de forma transversal, al medir las áreas afectadas a través de diferentes mapas digitales comparativos en la región con temporalidad de cada 5 años. Para ello se empleó el software de ArcGIS Pro, a fin de digitalizar los cambios en las líneas costeras y para calcular el área de erosión se empleó la herramienta de Symmetrical Difference (Analysis). Se complementó la investigación con un estudio bibliográfico, y visitas exploratorias documentadas a diferentes sitios en Punta Chame. El resultado de la investigación basada en el análisis del impacto del calentamiento global nos indica que se provocó una erosión del 16% al norte y 84% al sur en las costas de Punta Chame en el período, en las dos últimas décadas. Conclusión de esta investigación es contribuir a crear conciencia sobre los riesgos de la erosión costera y el eminente aumento del nivel de los mares, entre los responsables en la toma de decisiones y en la comunidad en general, crear un modelo para estudiar el impacto erosivo en otras costas del país.

Palabras clave: Morfología, línea de costa, vulnerable, mapa digital y erosión.

ABSTRACT

The rise in sea level is the most serious problem facing humanity today, this will change the morphology of the coastlines that have low relief, as is the case in our country. A certain region in the Gulf of Panama that is vulnerable to this phenomenon was chosen to carry out the research and review the possible consequences on populations and the impact on ecosystems. The objective of this research is to analyze the impact of global warming, beach erosion and infrastructure risks on the coasts of Punta Chame. The methodology used in this research is descriptive with a quantitative and experimental approach to obtain cross-sectional prospective data by measuring the affected areas through different comparisons, maps with a temporality of every 5 years. For this, the ESRI ArcGIS Pro software was used, to digitize the changes in the coastlines and to calculate the erosion area, the Symmetrical Difference (Analysis) tool was used. The investigation was complemented with a bibliographical study and documented exploratory visits to different sites in Punta Chame. The result of the investigation based on the analysis of the impact of global warming indicates that an erosion of 16% to the north and 84% to the south was caused on the coasts of Punta Chame in a period in the last two decades. The conclusion of this research is to contribute to raising awareness about the risks of coastal erosion and the imminent rise in sea level, among decision makers and in the community in general, create a model to study the erosive impact on other coasts of the country.

Keywords: Morphology, coastline, vulnerable, digital map, and marine transgression.

INTRODUCCIÓN

La concentración de la población mundial se ubica en las desembocaduras de ríos y en áreas litorales, pero debido al aumento de los niveles en los mares no permiten el libre tránsito de los ríos hacia sus desembocaduras creándose con ello que los niveles de los ríos asciendan y se desborden de sus causas. Esta situación está obligando a comunidades enteras tener que ser reubicadas. Se prevé que en el futuro aumente el número de refugiados climáticos.

Nuestro estudio se enfoca en el aumento del nivel del mar como resultado del aumento de calentamiento global debido a las emisiones de gases de efecto invernadero en las costas de Punta Chame ubicada en el litoral Pacífico de Panamá.

Este es un problema de emergencia para el estado panameño por las consecuencias debido al calentamiento global que requieren de una atención urgente, ya que afecta la biodiversidad, la economía y la calidad de vida de las personas que se ubican en las áreas costeras, en el caso de este estudio con énfasis en Punta Chame. Se debe analizar las causas y consecuencias del calentamiento global y la erosión que ocasiona en las costas de Punta Chame; así como los eventos que impactan a las comunidades y los ecosistemas marítimos.

La Academia de Ciencias de Estados Unidos prevé para el año 2050 que unas 570 ciudades costeras se encuentren en peligro debido al aumento del nivel del mar, lo que afectaría alrededor de 800 millones de personas.

En el istmo de Panamá presenta la primera migración territorial como consecuencia del aumento del nivel del mar en el Caribe panameño, se alerta a las autoridades y sociedad en general que la mayoría de las personas que viven Guna Yala, Changuinola y Colón, todas comunidades caribeñas, las cuales son de las poblaciones más vulnerables del país y sin recursos para compensar su migración lo que conlleva a que Estado deberá encontrar las alternativas para el sosiego de estas comunidades.

La investigación debe cubrir un área geográfica específica, en el caso nuestro se seleccionó una de las estaciones de monitoreo prevista por el Ministerio de Ambiente y el Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia” sobre erosión de playa en el país. Punta Chame es una llanura costera que corresponde a la formación de una flecha litoral ubicada frente a la desembocadura del río Chame, constituida en gran parte por la acumulación de sedimentos marinos.

El marco metodológico aplicado es de carácter descriptiva con un enfoque cuantitativo y empírico al obtenerse datos prospectivos de forma transversal el estudio se dividió en dos partes: la primera sección trata de analizar las áreas impactadas a través del estudio espacial empleando para ellos imágenes satelitales de los últimos 20 años para conocer el nivel de transgresión marina en las costas, mientras que la segunda parte fueron visitas a los diferentes sitios que componen el área de Punta Chame y documentarlas con estudios bibliográficos e información de hemeroteca sobre el aumento del nivel del mar causado por el calentamiento global, adicional a la información que pudimos recabar en conversaciones con miembros de la comunidad y respaldadas con el testimonio fotográfico tomadas en los diferentes sitios.

La investigación sirve como un instrumento necesario para abordar la mayor amenaza a que se haya enfrentado la humanidad con planteamientos que permitan mitigar los efectos en las áreas costeras que impactaría la economía, la biodiversidad y la calidad de los residentes en Punta Chame.

El Estado tiene la ineludible tarea de monitorear las 2,490 kms lineales de costas con la finalidad de prever a las comunidades en condiciones de riesgo para que sean resilientes en el proceso de adaptación al fenómeno natural a que nos enfrentamos en los próximos años.

CAPÍTULO I
EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1. Planteamiento del problema

Nuestro planeta a lo largo de su historia ha experimentado cambios extremos en el clima; períodos de heladas y de sequías. En el Pleistoceno, durante los dos millones y medio de años anteriores se caracterizó por épocas de glaciaciones, la mayor parte de América del Norte y Europa estaban encerrados bajo enormes capas de hielo de varios kilómetros de espesor. Debido a que gran parte del agua de La Tierra se almacenaba como hielo, el nivel del mar era más de 100 metros por debajo del nivel actual, alterando dramáticamente la forma costera de nuestro planeta.

Nuestra investigación se encausa principalmente en el aumento del nivel del mar debido a los cambios climáticos originados por las emisiones de gases de efecto invernadero, y los efectos de la acción antropogénica con énfasis en las costas de Punta Chame.

Un informe publicado en el 2018 preparado por científicos y revisores gubernamentales coincidieron que de limitarse el aumento de la temperatura global a un máximo de 1.5°C se lograría evitar los peores efectos que podría causar el cambio climático y de esta forma mantener un clima habitable, pero en caso contrario el escenario sería muy diferente si mantenemos la trayectoria actual de las emisiones de dióxido de carbono lo que podría aumentar la temperatura hasta 4.4°C para fines del siglo XXI. Lo que nos indica que estamos actualmente en el punto de inflexión.

Las emisiones que provocan el cambio climático proceden de todas las partes del planeta y nos afectan a todos, pero las 100 naciones que menos emiten solo generan el 3% de las emisiones totales en cambio las 10 naciones más industrializadas aportan el 68% de los gases de efectos invernaderos; obligando a comunidades enteras a tener que ser reubicadas.

Para analizar la vulnerabilidad frente a la erosión de la costa y afluentes en Punta Chame no es suficiente estudiar la superficie y las poblaciones ubicadas en las cotas más bajas, sino que resultaría interesante obtener varios escenarios con aumentos progresivos del nivel del mar y las áreas propensas a inundarse como fue presentado en el mapa de riesgos de la ciudad de Panamá.

2. Formulación del problema

¿Cuáles son los factores que inciden y las posibles alternativas de mitigar los riesgos en Punta Chame por el aumento del nivel del océano Pacífico a causa de la crisis climática que amenaza al planeta?

Se requiere llevar a cabo una investigación exhaustiva que tome en cuenta tanto los elementos naturales como los antropogénicos que inciden en los polígonos de asentamiento de las comunidades, las infraestructuras circundantes y los ecosistemas asociados. El objetivo es proponer medidas efectivas que contribuyan a mitigar el impacto de erosión en las costas y ribera del río Chame, considerando especialmente la resiliencia de sus habitantes.

La descripción detallada de los lugares visitados, respaldada por registros fotográficos, testimonios de residentes con una prolongada experiencia en la zona, la investigación en archivos hemerográficos y el análisis meticuloso de la información plasmada en un mapa para compararla con la cartografía actual, establecerá una conexión esencial. Este enlace nos proporcionará una comprensión profunda del progreso de la erosión marina y las posibles implicaciones que conlleva en términos de riesgos para los asentamientos humanos, las condiciones socioculturales y el delicado equilibrio de los ecosistemas circundantes.

Esta investigación no cumpliría su cometido sin antes con las evidencias recaudadas no se presentarán alternativas que pudieran ser aplicables a minimizar el riesgo a la población permitiendo un modelo de desarrollo que permita a los pobladores y visitantes mantener un esquema similar o la adaptación de la nueva situación a que se vería enfrentada las comunidades.

La presentación de este trabajo investigativo debe servir como modelo en otras comunidades costeras que podrían ser vulnerables al aumento del nivel del mar originado por el fenómeno del cambio climático.

3. Justificación de la investigación

El problema en que se enfatiza, esta tesis es sobre el impacto del calentamiento global y la erosión en las costas de Punta Chame.

Es vital realizar un análisis detallado de la erosión en las costas y comprender su impacto para tomar medidas planificadas de mitigación y adaptación frente a los efectos del calentamiento global en las costas panameñas en general.

Citaría como factores que respaldan la viabilidad de esta investigación primero en el contexto geográfico, la ubicación de Punta Chame es propicia por su exposición directa al océano y vulnerable a los eventos climático. Lo que nos permite poder comprender las consecuencias de los procesos de erosión costera y su relación con el cambio climático la cual debe servir para la toma de decisiones en términos de la gestión del territorio, protección costera y preservación al medio ambiente.

Los principales beneficiarios de este trabajo de investigación será alertar a los segmentos de la población de residentes en las costas de Punta Chame para que se empoderen del problema por el cual se verán afectados con el aumento del nivel del mar y las consecuencias socioeconómicas que deriven del problema.

Al emplear la metodología del programa ArcGIS Pro, para conocer de los avances de la erosión en las costas de Punta Chame ello nos permite realizar análisis espaciales precisos e integrar datos de diferentes fuentes y visualizar los resultados de manera efectiva. Estas capacidades metodológicas contribuyen a una mejor comprensión del problema y respaldan la toma de decisiones para abordar los desafíos asociados con la erosión costera.

El presente trabajo me permite realizar una auditoría ambiental, a la gestión de riesgos naturales y así contribuir al manejo sostenible de los recursos costeros del país. Desde mi disciplina profesional puedo desarrollar técnicas específicas relacionadas a la geología costera.

Los hallazgos nos permitirán colegir en conclusiones que deberán compartirse con la comunidad del área. La investigación en Punta Chame contribuiría a la base de evidencias existentes y aumentar el conocimiento científico.

4. Objetivos de la investigación

4.1 Objetivo general

Analizar el impacto del calentamiento global y la erosión en las costas en punta Chame; así como los eventos que puedan darse en la población de continuar el aumento en el nivel de los mares.

4.2 Objetivos Específicos

Considerar una transición a un modelo circular económico basado en los recursos propios del área sustentado sobre energía renovable como sería la estrategia forestal y/o la bioseguridad.

Desarrollar nuevas estrategias de desarrollo económico por la pérdida de los bancos de peces que, por causa de las temperaturas más altas, las mismas se movilizan hacia aguas más alejadas de la costa.

Reducir el impacto erosivo del mar con elementos constructivos como los espigones o rompeolas y regenerar las áreas afectadas por la tala de manglares.

5. Alcances y Limites de la Investigación

Para ello debemos cambiar el sistema energético actual a base de combustibles fósiles a energías renovables (solar, eólica, hidráulica, geotermia, biogás, mareomotriz, etc.) en la generación eléctrica como en el parque automotriz, el lograr este cambio en el sistema energético de la población mundial reducirá las emisiones que provocan el cambio climático. En esa dirección gran cantidad de naciones se han comprometido a lograr bajar sustancialmente las emisiones netas para el año 2050, en ese acuerdo la mitad de las reducciones de emisiones deberán estar en marcha en el 2030 como única opción de mantener la temperatura atmosférica no mayor de 1.5°C para lograr ese objetivo la producción de combustibles fósiles debe disminuir aproximadamente en un 6% cada año entre el 2020 al 2030.

La administración oceánica y atmosférica nacional (NOAA), en sus últimos datos técnicos ha manifestado que el aumento del nivel del mar ocurrirá incluso con un recorte drástico de las emisiones de carbono.

Es probable que el nivel de los océanos siga aumentando, pero ¿es imposible predecir a qué velocidad con exactitud? Según el informe publicado por el grupo intergubernamental de expertos en cambio climáticos de las ONU, indica que de aquí al 2100 el mar podría registrar una elevación de entre 30 a 60 cm sí, las emisiones de gases de efecto invernadero se

redujeran drásticamente; por el contrario, si estas emisiones siguen aumentando con fuerza, el aumento del nivel de las aguas podría alcanzar los 110 cm.

“Rick Spinrad, administrador de la NOAA, calificó los descubrimientos de “históricos” y avisó que el aumento del nivel del mar ocurrirá pase lo que pase, incluso con un recorte drástico de las emisiones de carbono. En Estados Unidos, las poblaciones más vulnerables viven en las costas este y del golfo de México, donde se prevé que la frecuencia de inundaciones sea 10 veces mayor en 2050 que ahora” (Nuñez, 2022. Revista National Geographic)

Actualmente el nivel de mar se calcula gracias a una red de satélites espaciales y a los mareógrafos costeros situados en diversos puntos críticos en todo el planeta. Por fotografías satelitales realizadas por la NASA sabemos que la Antártida se está derritiendo a un ritmo seis veces más rápido que en la década de los 80. Los científicos han calculado que si se derritiera por completo, el mar aumentaría en 5m y en caso de perderse la totalidad de la capa de hielo de Groenlandia, el mar subiría hasta 7m.

La cumbre sobre la Acción Climática; en la sede de las Naciones Unidas, se centró en las áreas donde el trabajo y la cooperación internacional para poner freno al cambio climático puede ser más efectiva; en la industria pesada, en soluciones ecológicas, ciudades, energía, resiliencia e inversiones para tomar las medidas que requerirá cada pueblo del planeta para frenar el cambio climático. La cita concluyó con la siguiente premisa: “Necesitamos más planes concretos, más ambición, más países comprometidos, y más negocios. Necesitamos que las entidades financieras elijan, la economía verde” (2019).

Estudios macros escalares realizados por la CEPAL, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España y la Universidad de Cantabria conllevan un nivel de gestión de políticas globales de mitigación del daño con exactitud de los resultados, bajos; pero nos da una visión amplia del problema en una región amplia como lo es la América Latina y el Caribe.

“Analizan los efectos y la probabilidad de las inundaciones del litoral ocasionadas por el aumento del nivel del mar y los eventos extremos, la erosión de las playas por cambios en el oleaje y en el nivel del mar, las nuevas condiciones a que se verán sometidos los puertos de la región afectando sus operaciones y el nivel de seguridad

de sus obras de protección, así como el posible impacto de blanqueo de los corales por un aumento de la temperatura superficial del mar” (2012).

En la región de América Latina y el Caribe, los planteamientos de sus gobernantes o representantes en los organismos deliberante en cuanto al cambio climático son muy similares muchas promesas, pero poca efectividad en sus acciones, porque no se elevan a política de estado.

Recogido del Panel Intergubernamental sobre cambio climático de las Naciones Unidas.

“En materia climática, el planeta sigue dándonos malas noticias. La ciencia no ha podido adelantarse con certeza a los efectos reales de la mano humana en el medioambiente. Según se registró recientemente, el alza en el nivel del mar es mucho más alarmante de lo que se había aproximado originalmente.” (Fischer, 2021. Revista National Geographic).

Los informes presentados por la República de Panamá ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático revelan que las islas del Archipiélago de Guna Yala están experimentando una amenaza “inminente y potencialmente por agravarse”.

Nos encontramos en un momento decisivo para afrontar el mayor desafío para la humanidad en nuestros tiempos: “EL CAMBIO CLIMÁTICO”.

Paton, S., Director del Programa de Monitoreo Físico del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales señala que la emergencia climática en el Caribe panameño no se limita solo al aumento del nivel del mar también se debe considerar el aumento de las temperaturas en el aire, la acidificación de los océanos y los cambios en los patrones de las precipitaciones, que implican mayor frecuencia de tormentas al tiempo que se extiende la temporada seca.

El Ministerio de Ambiente de Panamá en conjunto con el Instituto Geográfico Nacional han levantado un mapa de “Propuestas de Playas para la Red del Monitoreo de Erosión en la República de Panamá” en la cual han identificado un total de 10 estaciones de monitoreo en el litoral caribeño y un total de 15 estaciones en el litoral pacífico, pero no se ha progresado más allá de preparación del personal de estas entidades gubernamentales ha espera de la llegada del equipo necesario para mediciones de las mareas entre otros, he decidido realizar la investigación de tesis en uno de los puntos señalados como sería punta Chame en la provincia de Panamá Oeste, abarcando los cambios morfológicos en área de playa, ríos y

estuario, la vulnerabilidad de los asentamientos humanos, los riesgos a que están sometida la infraestructura y los cambios en los ecosistemas, para ello es necesario el levantamiento de mapas digitales que se considere serían las zonas vulnerables que se han impactado debido al aumento del nivel del mar considerando la topografía baja de Punta Chame, tomando en consideración la deforestación de los manglares que han servido como una barrera natural y a la extracción de arena de su litoral.

En estudio publicado por la CEPAL, en septiembre del 2021 en lo referente a la República de Panamá, indica que posemos un total de 2,490 kilómetros de costas incluyendo la parte insular, considerando una elevación de 10 metros promedio en la topografía aledaña a las áreas de costas, dando origen a polígonos vulnerable en el peor escenario. Sí, no bajamos significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero; lo que significa que podemos perder un 3.6% de la totalidad del territorio nacional, las regiones insulares en su mayoría se pueden calificar zonas costeras por debajo de los 10 metros de elevación. La vulnerabilidad de estas islas es especialmente sensible a los impactos derivados de la dinámica litoral.

En este mismo escenario la ciudad de Panamá, núcleo de mayor densidad poblacional en el país, sería la más afectada por el aumento del nivel del mar de acuerdo con en su distribución geográfica y de forma descendentes los corregimientos de Juan Díaz, Ancón, Parque Lefevre y San Francisco. Infraestructura estratégica para la ciudad y el país como los aeropuertos de Tocumen y Albrook, varias de las estaciones del Metro desde su inicio hasta Calidonia y la planta de tratamiento de saneamiento de la bahía se encuentra bajo amenazas de acuerdo con “el mapa virtual de riesgos” preparado por los científicos Aaron ODea paleobiólogo y Milton Solano analista de GIS presentado en su ensayo “El innegable ascenso de los mares” (Gordón, 2021, Periódico La Estrella de Panamá).

La pérdida de manglares en el estero que servían como barrera negativa al paso de los vientos salinos y al impacto de las olas, ello ha contribuido a un proceso más erosivo en el área.

La investigación también se enfoca sobre la vulnerabilidad y riesgo a que está sometida las comunidades permanentes y los visitantes temporales que estarían propensos a perder sus bienes obligándolos a migrar.

La pérdida de territorio en las costas de Punta Chame es un hecho evidente en la actualidad, cuando podemos apreciar la perdida de la línea de playa en algunos sectores del litoral debido

a la erosión marina, este evento ya presenta zozobras a la población que se ve en riesgos en los próximos años de no iniciarse algunos controles para no continuar con la pérdida de espacios.

Falta de especialistas en nuestro país para proyectos investigativos de esta envergadura, se subsanaría con invitar expertos comprobados a que visite las áreas de posible afectación.

Recientemente se aprobó modificar los EAI que debe aprobar el Ministerio de Ambiente para el desarrollo de cualquier obra el tomar en consideración el calentamiento global y las consecuencias en el proyecto a desarrollar no se le puede negar que la actual administración del estado está tomando algunas medidas en favor de disminuir nuestra huella de carbón, pero ante la gravedad de la situación es poco lo que se adelanta. Al primer trimestre del 2023 se han incrementado las ventas de autos eléctricos, pero muy por debajo de las ventas de vehículos convencionales y nuestra matriz eléctrica todavía cuenta con plantas termoeléctricas.

El estado y la academia no están preparados actualmente con los equipos de medición necesarios para monitorear con precisión el alcance erosivo de las olas y del aumento del nivel del mar que determinan el avance de la línea costera, es necesario el monitoreo de mediciones de las temperaturas del mar y el aumento en el porcentaje de salinidad y acidez de las aguas superficiales.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

1. Antecedentes

1.1 Antecedentes a nivel internacional.

En países como Alemania, resultados de sus investigaciones señalan que, “en un período de 10 a 15 años, tras la eliminación progresiva hacia 1996 de la presencia de plomo en la gasolina, disminuyeron los niveles de contaminación por plomo en el mar. Los científicos del OIEA reconocen que es posible que no todos los niveles de contaminantes disminuyan tan rápido, pero los resultados de adoptar medidas concretas como la obligación de utilizar gasolina sin univariantes de los parámetros físicos químicos del agua, sino que estos resultados deben permitir alertar sobre el desarrollo de eventos anómalos que permita tomar medidas preventivas y establecer el uso de indicadores que brinden información respecto al grado de impacto en el ecosistema.

Águila, J.(2016). Como parte de los requisitos para optar al grado de Doctor en Comunicación, Cambio Social y Desarrollo, ha realizado la tesis sobre el estudio que se ha desarrollado en cinco partes consistentes en cinco capítulos y cinco anexos La Primera Parte se refiere al Marco Teórico, que en el Capítulo 1 comprende cuatro puntos principales: 1.Comunicación mediática como Objeto de Estudio, que trata el Discurso Periodístico, las Agencias de Noticias, las Noticias y sus Discursos, y algunas características del Soporte Audiovisual 2. Este punto presenta el Cambio Climático como Objeto de Estudio a través de temas como El Clima, el Tiempo Atmosférico, la definición de los fenómenos del Cambio Climático, del Efecto Invernadero y el Calentamiento Global. Se despliegan las Bases Física del Cambio Climático según los informes del IPCC especificando aspectos importantes como el Forzamiento Radiactivo, los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y su capacidad de Calentamiento Global y se profundiza sobre la Escala de Tiempo en el Cambio Climático. Finalmente se presentan algunas proyecciones de lo que puede ocurrir en el futuro en la atmósfera, los océanos, la criosfera, el nivel del mar y ciclos biogeoquímicos relacionados . Aquí se presenta el Cambio Climático como Problema, desde el punto de vista de lo físico-ambiental y sus efectos en la superficie de la Tierra. Se continúa con los problemas que el Cambio Climático presenta para la Salud, para la Sociedad, para el Desarrollo, para la seguridad y la economía.

Álvarez, J.(2021). En su tesis doctoral, el objetivo ha sido demostrar que es posible trabajar la responsabilidad social desde la geografía empleando los geodatos que ofrecen los servicios procedentes de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE). Para ello, ha sido necesario demostrar la utilidad de integrar las IDE de forma natural y amigable en las aulas de geografía en el nivel de secundaria y formar a ciudadanos del siglo XXI en responsabilidad social, gracias al conocimiento del mismo obtenido del manejo de geodatos, mejorando así sus competencias espaciales, digitales y sociales, y causando un cambio de su actitud sobre el territorio, derivado de una mejora del conocimiento de los problemas relacionados con la sostenibilidad.

Del Rosal, (2020). En el resumen de su tesis doctoral combina un conjunto de técnicas muy innovadoras disponibles por separado en el campo de la ingeniería costera, al tiempo que hereda el avance de los conocimientos gracias a la labor del Grupo de Dinámica de Fluidos Ambientales para abordar uno de los principales retos que los gestores y administradores de la costa tendrán que afrontar a lo largo de los próximos decenios, especialmente en los entornos costeros en transición. Dicho reto consiste en anticipar si las actuales defensas costeras frente a la inundación serán suficientes contra el calentamiento global. Además, si no lo son, esta Tesis aborda la cuestión de dónde y cuándo fallarán las defensas contra las inundaciones y en qué medida desde un enfoque global, local, multivariado y probabilístico. La metodología presentada en esta Tesis está estructurada en tres bloques principales: la definición del problema, la caracterización y transferencia de los agentes naturales forzadores desde los contornos o fronteras al sistema de transición, y el análisis crítico de los resultados. En el primer bloque (definición del problema) se define el marco conceptual del problema, junto con las principales hipótesis consideradas. En este bloque se define también el área de estudio que se utiliza en esta Tesis a modo de ejemplo de aplicación. Tras el desarrollo teórico, se muestran una serie de ejemplos progresivos de aplicación en cada uno de los pasos de la metodología presentada. En esta Tesis se ha seleccionado el estuario del Guadalete (Cádiz, Suroeste de España) como ejemplo representativo de los sistemas de transición costeros del sur de Europa, considerados entre las áreas más complejas para la gestión debido a las interacciones entre agentes naturales con diferentes escalas y períodos, las intervenciones humanas, y la participación de muchos actores involucrados con diferentes intereses socioeconómicos..

Medina, R. & Codignotto, J., (2013). Al presentar su tesis doctoral plantea que la evolución es vinculada a las consecuencias del calentamiento global en la región del Río de la Plata, particularmente a los procesos erosivos. Estos procesos son muy activos en sectores próximos al delta, especialmente en la bahía Samborombón. Sin embargo, en el delta del Paraná no se ha registrado una disminución en su ritmo de avance, por el contrario, éste se ha mantenido constante o incluso se ha acelerado. Esto se debe seguramente a una mayor carga sedimentaria por parte del río Paraná en respuesta al incremento de las precipitaciones registradas desde la década del 70 en la región centro y norte de Argentina. Al ser esto una consecuencia directa del calentamiento global, o en su defecto, de la variabilidad climática local, se puede afirmar que el factor climático es también responsable de la dinámica progradacional anteriormente citada.

Navarro, F.,(2013). En su tesis doctoral presenta como objetivo avanzar en el conocimiento de las relaciones que integran la economía y el medio ambiente. A partir del análisis input-output se proponen distintos desarrollos metodológicos para el estudio del impacto de la economía catalana en términos de contaminación atmosférica. En términos económicos, Cataluña es una de las regiones más importantes de España y mantiene relevantes características distintivas respecto al conjunto del Estado. Aunque su intensidad en la emisión de CO₂ es menor a la media de España, en las dos últimas décadas el aumento porcentual de ésta ha sido notablemente superior al resto del país. El distinto metabolismo energético de la economía catalana respecto al resto de España, junto con las importantes relaciones comerciales existentes entre ambas regiones, confiere un especial interés al análisis de responsabilidad interregional en términos de contaminación atmosférica asociada. Además, el alto grado de apertura exterior de Cataluña requiere un análisis que integre el comercio con el resto del mundo. Con este propósito se construye un modelo multi-regional input-output (MRIO) para Cataluña, el resto de España y el resto del mundo que aporta relevantes resultados al análisis propuesto y útiles para la toma de decisiones en política ambiental y energética. Seguidamente, se plantea un método para la descomposición del modelo MRIO que posteriormente se aplica para la descomposición y reinterpretación, de acuerdo al enfoque de la responsabilidad en el consumo, de los llamados multiplicadores netos. Mediante este desarrollo metodológico se profundiza en los determinantes intra e interregionales del impacto en CO₂ asociado a la demanda final de Cataluña. La realización

de este trabajo ha requerido la elaboración de las cuentas satélite de contaminación atmosférica de Cataluña para el año 2005. Esta información provee de una panorámica detallada de los gases contaminantes emitidos por la actividad productiva catalana. Los datos reflejan, por ejemplo, la relevancia del sector agroalimentario en la emisión causante del efecto invernadero, especialmente en la emisión de metano, por lo que se procede a realizar un estudio en profundidad de esta actividad mediante la técnica de los subsistemas input-output. En definitiva, los resultados del trabajo permiten avanzar en el conocimiento de las consecuencias globales que tiene sobre la naturaleza el modelo de producción y consumo de Cataluña. Asimismo, los desarrollos y avances metodológicos propuestos ponen de manifiesto el potencial del análisis input-output para los trabajos que estudian los impactos medioambientales del proceso económico.

Rivero, L., (2021). Al presentarnos su tesis doctoral indica que el Eoceno fue un periodo de intensa variabilidad climática en la historia de la Tierra. Esta época abarca una transición climática a largo plazo, desde el estado “invernadero” del Eoceno inferior hasta un planeta con hielo permanente en el Oligoceno. Esta transición climática estuvo salpicada de breves eventos de calentamiento global relacionados con perturbaciones temporales en el ciclo del carbono, llamados eventos hipertermales. Los hipertermales del Eoceno inicial han recibido mucha atención, pero los del Eoceno medio y terminal, como el Máximo Térmico del Luteciense superior (LLTM por sus siglas en inglés), están ampliamente infrarrepresentados en la literatura. Además, uno de los eventos más insólitos de esta época, el Óptimo Climático del Eoceno Medio (MECO por sus siglas en inglés), muestra una duración excepcionalmente larga y los mecanismos que lo generaron aún son un enigma. Esta tesis tiene como objetivo analizar la respuesta de los foraminíferos bentónicos e interpretar su paleoecología y los cambios paleoambientales a través de los eventos climáticos del LLTM y al MECO, así como a través de los límites estratigráficos Luteciense/Bartoniense y Eoceno/Oligoceno, y así obtener nuevos datos para contribuir a la visión global del Eoceno medio y superior. Los estudios taxonómicos, cuantitativos y estadísticos de las asociaciones de foraminíferos bentónicos se combinaron con análisis geoquímicos en cinco publicaciones multidisciplinares. Se han estudiado las asociaciones de foraminíferos de tres afloramientos (Torre Cardela en España, Alum Bay en Inglaterra y Menzel Bou Zelfa en Túnez) y un

sondeo oceánico (ODP Site 702, Atlántico Sur) a través de varios eventos climáticos (LLTM, MECO) y límites estratigráficos (Luteciense/Bartoniense y Eoceno/Oligoceno) claves del Eoceno medio y superior. En general, los eventos de calentamiento analizados no muestran un gran impacto sobre la fauna bentónica, pero sí modificaciones temporales en sus asociaciones, relacionadas con cambios en el aporte alimenticio al fondo oceánico. La inestabilidad ambiental revelada por estos cambios temporales de la fauna bentónica persistió más que la excursión isotópica que define el LLTM y el MECO. Este descubrimiento acentúa la importancia de la evaluación paleoambiental y los estudios multidisciplinarios en eventos complejos como el MECO. La correlación entre los valores isotópicos del carbono y la abundancia de ciertos taxones observados en los eventos de calentamiento estudiados sugiere que el mayor factor ecológico que controló estos cambios de abundancia estuvo relacionado con modificaciones del flujo de la materia orgánica hacia los fondos oceánicos en vez de con el aumento de la temperatura. El calentamiento asociado a los eventos LLTM y MECO afectó a las tasas de acumulación de los foraminíferos bentónicos (en lugar de a su diversidad) y planctónicos, sugiriendo un límite de temperatura posiblemente relacionado con las tasas metabólicas de estos organismos.

Vicente-Serrano, (2021). Investigador del Instituto Pirenaico de Ecología, del CSIC, en Zaragoza, España y uno de los autores del capítulo referido a los eventos extremos, señala que las evidencias sobre esta vinculación “son mucho más robustas que en los informes anteriores”. En 2013, por ejemplo, se apuntaba a la posibilidad de que aumentaran estos fenómenos en virulencia y frecuencia debido a la energía que se estaba acumulando en la atmósfera por el calentamiento. El gran paso que ha dado la ciencia en los últimos años es el de la atribución de los fenómenos extremos concretos al cambio climático inducido por el hombre como ocurrió con la ola de calor de Canadá. Se ha logrado, explica Canadell, por los avances tecnológicos por ejemplo, con computadoras más potentes capaces de manejar muchos más datos y por el aumento de estos fenómenos. El informe concluye que existe una “relación directa” entre el incremento de las temperaturas medias y la multiplicación de los extremos cálidos, las fuertes precipitaciones, las sequías agrícolas y ecológicas en algunas regiones, además del aumento de los ciclones tropicales intensos y disminución del hielo marino del Ártico y la reducción de la capa de nieve y el permafrost.

El texto avisa de que, por cada medio grado de calentamiento global, se provocan “aumentos claramente perceptibles en la intensidad y frecuencia de extremos cálidos, incluidas olas de calor (muy probable) y fuertes precipitaciones, así como sequías agrícolas y ecológicas en algunas regiones (nivel de confianza alto)”. Se advierte de que “habrá una ocurrencia creciente de algunos eventos extremos sin precedentes en el registro de observación con el calentamiento”, incluso si se logra cumplir la meta de los 1,5 grados °C.

1.2 Antecedentes a nivel regional

Castro, J., (2011). En el artículo hace una primera aproximación a un estado del arte sobre educación energética, el cual hace parte de la tesis doctoral titulada “La educación energética en la Universidades públicas de Bogotá”. Inicialmente se presentan algunos antecedentes sobre educación energética, posteriormente se realiza una primera conceptualización a partir de tres aspectos: el objeto de la educación energética, su lógica y sus objetivos. Finalmente, se hace un balance de cómo ha sido tratada la educación energética por parte de la educación científica.

Cifuentes, M., (2016). En la presentación de su tesis de maestría “Detección de cambios en la línea costera y los efectos del cambio climático relacionados con el incremento del nivel del mar: Distrito de Buenaventura” presenta que este estudio se enfocó en la identificación de los cambios de la línea costera y los efectos del cambio climático por el incremento del nivel del mar (SLR por sus siglas en inglés) en el Distrito de Buenaventura y su entorno en el Pacífico colombiano. Se emplearon imágenes satelitales Landsat (1986, 2001 y 2015) para extraer las líneas costeras. Los cambios se estimaron mediante el método estadístico End Point Rate (EPR), utilizando DSAS (Digital Shoreline Analysis System), desarrollado por el USGS (United States Geological Service). El análisis de SLR, se realizó mediante la proyección de dos escenarios del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (1 y 2m), usando imágenes Landsat, WorldView2 (2015); y un mapa topográfico SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) y de cobertura y usos del suelo. El área de estudio de 409 km fue dividida en 5 zonas. Los resultados indican que en el Distrito de Buenaventura la línea costera ha sido en su mayoría estable en el periodo de estudio. Las áreas con procesos más avanzados de acreción se ubican en la zona 1, cercanas a Pichima en el

departamento del Chocó, pero también es en esta zona en donde se encontraron procesos avanzados de erosión, alrededor de Boca de Charambirá. En algunas áreas de las bahías Málaga y Buenaventura en la zona 2, se identificaron procesos de acreción. El análisis reveló que 142km de la costa presenta procesos de erosión y 119km de acreción, mientras que 148km se mantienen estables, en el periodo de análisis. Tales cambios espacio-temporales pueden ser causados por factores naturales y antropogénicos. Los manglares y la vegetación costera corresponden a las zonas potencialmente mayor amenazadas con el SLR proyectado, con áreas de 17.34km² bajo el escenario de 1m y 17.93km² bajo el escenario de 2m de SLR. Los asentamientos humanos potencialmente inundables se determinaron en el casco urbano de Buenaventura con un área de 0.25km² y 0.27km² para cada escenario, respectivamente. Este estudio demuestra la viabilidad de los sensores remotos en el monitoreo de la dinámica costera y se presenta como un análisis alternativo tendiente a la consecución de estrategias de gestión del litoral en esta región.

Lizano, M. & Lizano, O. (2009). En su tesis de maestría se analizan cuatro fenómenos que pueden aumentar el nivel del mar, como lo son: el cambio climático, el fenómeno de El Niño, apilamiento de oleaje y mareas astronómicas. Este estudio se realizó a partir de modelos, observaciones y mediciones efectuadas en campo, que presentan un nivel del mar para cada fenómeno que pueden ser superpuestos. Se elaboran escenarios reales o hipotéticos para simular el comportamiento del nivel del mar en los próximos 100 años en la punta de Puntarenas. Se estudian los niveles de mareas astronómicas a partir de predicciones mareales. El aumento del nivel del mar en los próximos años por calentamiento global es según los escenarios del IPCC (2007, 21), y observaciones hechas durante el fenómeno de El Niño de 1997- 98 en Costa Rica, se usan para crear las distintas combinaciones y generar los niveles mareográficos. Los resultados muestran los niveles de inundación en la Ciudad de Puntarenas en los próximos años ante estos eventos.

Una combinación hipotética de niveles mareográficos extremos, indica que Puntarenas podría ser totalmente inundada en algún momento. Este estudio pretende alertar a las instituciones gubernamentales sobre estos escenarios en Puntarenas para que tomen las decisiones correspondientes ante el inminente cambio del nivel del mar. Se proponen combinaciones de nivel del mar, de tal forma que otros componentes no incluidos en este

estudio, como tsunamis, puedan ser simulados también, y ayude en la toma de decisiones ante estos posibles eventos.

Lizano, M. & Lizano, O. (2022). Analiza el aumento del nivel del mar tomando como base el nivel promedio de mareas altas para la región Caribe de Costa Rica. Este estudio se realizó a partir de modelos conceptuales, observaciones y mediciones efectuadas en campo, que presentan un nivel del mar y su respectivo ascenso para cuatro escenarios de acuerdo con los siguientes años: 2030, 2050, 2070 y 2100. Se elaboran escenarios para simular el comportamiento del nivel del mar relativo en los próximos 100 años para las localidades de Cahuita y Moín en la provincia de Limón. Se estudian los niveles de mareas astronómicas a partir de predicciones mareales. El aumento del nivel del mar en los próximos años por calentamiento global es, según los escenarios de la [CEPAL \(2012\)](#), (p. 24), 3 mm por año para la costa del Caribe en general y se utiliza como base para crear las distintas combinaciones y generar los niveles mareográficos representados en este artículo. Los resultados muestran los niveles de inundación para cada uno de los años en las localidades de Moín y Cahuita e indica que ambas localidades podrían ser inundadas para el año 2100.

Montero y Pérez, (2014), en su trabajo propone un programa de Manejo integrado de zonas costeras para minimizar la erosión costera de la playa Sevilla, municipio Guamá en Santiago de Cuba. Se aplicaron los métodos cuantitativos y cualitativos de investigación social, el método cartográfico y de matrices para la evaluación del impacto antrópico y natural sobre la playa. Los resultados del estudio evidencian que los impactos más significativos son los cambios en la topografía del terreno y en el uso del suelo, la alteración de drenajes naturales, del relieve marino, de la línea costera, del frente y los perfiles de playa, del equilibrio del sistema playa; la deforestación y degradación de la cuenca Sevilla. Las acciones propuestas contribuyen a mitigar las causas de la erosión y favorecen la recuperación, conservación y protección sostenible de la playa y están enfocadas para garantizar la organización de un marco institucional diseñado para su gestión.

Muñoz, N. (2010). En su tesis de maestría, “Tendencias Mundiales de las nuevas carreras para el cambio climático” indica que no se puede entender el cambio climático desde una área del conocimiento, se requiere la vinculación de las ciencias sociales y naturales, así como el estudio de diferentes tecnologías que combinadas nos ayuden a la solución de problemas, innovación y desarrollo para las nuevas situaciones económicas, políticas y

naturales que se presentan bajo el cambio climático. El cambio climático es un reto, implica para el sector académico el trabajar en equipo con otras disciplinas, mantenerse en constante actualización, reconsiderar nuestros tiempos de respuestas y establecer la dirección de las investigaciones a desarrollar. El presente trabajo presenta la oferta educativa a nivel posgrado actual a nivel internacional ya que, México requiere trabajar en la creación de posgrados relacionados al cambio climático, tenemos una gran oportunidad frente de nosotros ¿tendremos la visión suficiente para lograrlo?, o continuamos en la comodidad de nuestros programas e investigaciones no renovadoras pero si conservadoras de un México permanentemente en vías de desarrollo.

Reyes, H., Díaz, S. & González, A. en la presentación de su capítulo: “El incremento del nivel del mar: Afectación en costas mexicanas”. El cambio climático es un fenómeno a escala mundial, representa una de las principales preocupaciones de las sociedades y gobiernos en el planeta. Una de las afectaciones con mayor impacto, que provocará sobre la infraestructura física de las ciudades costeras y los puertos, y a la larga sobre el nivel de vida de países enteros, es la elevación del nivel del mar. Este estudio realizó una revisión de las causas de la elevación del nivel del mar en el planeta, y la razón por la que este cambio no es general, describiendo los impactos de la infiltración del agua marina hacia niveles más elevados en las costas mexicanas. Para ello, consideramos algunos esfuerzos que la academia y gobierno federal están llevando a cabo para poder pronosticar mejor los impactos potenciales, y para buscar formas de atenuarlos. Las proyecciones realizadas sobre el incremento del nivel medio del mar para varias ciudades costeras del país presentan tendencias que varían regionalmente, pero generalmente ascendentes. Los estudios identifican casi todo el litoral costero del Golfo de México con afectaciones en las zonas costeras de los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán, Quintana Roo; así como Sinaloa, Baja California (2020).

Pérez, A., (2021). En su presentación de tesis doctoral “ Los riesgos costeros: Retos para el desarrollo sostenible del turismo en los territorios insulares en el contexto del cambio climático”. La consecución de un turismo sostenible que integre acciones destinadas a lograr el bienestar del turista y la armonía del desarrollo turístico con su entorno, teniendo como escenario la preparación y el enfrentamiento ante los impactos del cambio climático constituye el reto fundamental del turismo en los territorios insulares.

El trabajo se desarrolla a partir de la revisión documental y bibliográfica, el método cartográfico y la modelación que permitió diseñar un procedimiento que contribuye al alineamiento en el modelo de gestión de las instalaciones turísticas de la implementación de la Tarea Vida potenciando el desempeño ambiental y la percepción del riesgo ante el cambio climático.

Como resultados se expresan las proyecciones del trabajo y se documenta el estudio de los impactos por los riesgos costeros, en lo fundamental la erosión y pérdida de las dunas, con propuestas de acciones que se pueden realizar para su prevención y la protección costera ante los procesos de erosión potenciando el desarrollo de la gestión de riesgos en el Hotel Carisol los Corales en el sector costero Cazonal Baconao en la provincia de Santiago de Cuba.

Russo, R. & Kohlmann, B. (2013). En su tesis de maestría plantean que la biodiversidad es el conjunto de toda la vida en nuestro planeta incluyendo seres vivos, ecosistemas y procesos ecológicos que los relacionan entre sí. Hay diferentes niveles para definir la biodiversidad (*genes, especies, ecosistemas, grupos funcionales*), sin que ninguna de ellas pueda considerarse más relevante que la otra ni se relacionen entre sí. Sin embargo, la biodiversidad es un componente clave de la estructura y función del ecosistema y de los servicios ambientales (ecosistémicos) que estos proveen (CBD, 2007).

Por otra parte, el Cambio Climático ha ocurrido a lo largo de la historia de la evolución de la vida, y la biota actual (biodiversidad) es resultado de fluctuaciones en variables climáticas. Las especies y los ecosistemas tienen una capacidad natural de adaptarse a los cambios climáticos, a través de mecanismos evolutivos, cambios en los rangos de distribución, la supervivencia en refugios (parches pequeños de hábitats favorables). Todos estos cambios, sin embargo, se han producido sin la influencia humana, a tasas comparativamente más bajas y sin la fragmentación de hábitat que en la actualidad presentan la mayor parte de los ecosistemas terrestres. La biodiversidad y el cambio climático se encuentran relacionados profundamente en diversos niveles, debido a que cada uno produce impactos en el otro recíprocamente: a) la Biodiversidad se encuentra amenazada por los cambios climáticos inducidos por el hombre, ya que el clima es uno de los principales factores que regulan la distribución de las especies, y se estima que en el

futuro será la principal causa de la extinción de las mismas; y b) Simultáneamente, los recursos relacionados a la biodiversidad pueden reducir el impacto sobre las poblaciones y los ecosistemas y éstos cumplen un rol fundamental en el ciclo de carbono.

La fragmentación del hábitat ha confinado a muchas especies a relictos de su distribución natural, provocando una marcada disminución de la variabilidad genética y de la capacidad de migración y de adaptación al cambio.

Velázquez, Y. et al., (2019). En su tesis de maestría presenta una guía para el monitoreo de playas desde la perspectiva del Manejo Integrado de Zonas Costeras (MIZC) para el enfrentamiento al cambio climático, así como las experiencias derivadas de su aplicación parcial en Siboney, La Estrella y Juan González en la provincia Santiago de Cuba. En consecuencia con la metodología cualitativa de la investigación social, se aplicaron diversos métodos y técnicas como el análisis - síntesis en el estudio bibliográfico relacionado con el título mencionado, la observación directa durante el monitoreo; la estadística descriptiva y el análisis porcentual en el procesamiento de datos; las técnicas matriz de riesgo, de corbatín (diagrama causa- efecto), aplicada al efecto del cambio climático en dicho ecosistema frágil y de compatibilidad (uso- uso). Como resultado se obtuvo la concreción de los pasos del MIZC al monitoreo de playas y con ello el levantamiento de la información físico natural, socio económica y jurídico administrativo, la modelación de la altura del oleaje habitual y extremo ante la presencia de huracanes de distintas categorías, lo cual evidencia la necesidad de potenciar la percepción de riesgos ambientales de la población y la oportuna toma de decisiones ante estos fenómenos meteorológicos.

1.3 Antecedente a nivel nacional

Grajales, F., et al. Panamá, al ser un país con costas en el océano Pacífico y mar Caribe, necesita la creación de mapas de inundación en zonas costeras, el estudio se enfoca en la Isla Colón en la provincia de Bocas del Toro. Estas zonas presentan una alta vulnerabilidad ante los cambios del nivel del mar. Por esta razón se ha escogido como área de estudio la zona de Isla Colón por ser una de las áreas más vulnerables en el Atlántico del país. Se confeccionaron tres mapas en diferentes períodos cronológicos como herramientas para

describir la magnitud y alcance del aumento del nivel del mar a una escala de tiempo en específico, encontrándose información valiosa en las proyecciones a los años 2050, 2080 y 2110. En este estudio se presentan mapas de inundación desarrollados con el programa Civil 3D, en el cual se utilizaron datos georreferenciados de Isla Colón suministrados por el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia (IGNTG).

Entre los resultados se detallan las zonas más afectadas y vulnerables ante el aumento del nivel del mar en la Isla en esos tres periodos citados (2021).

Garcés, P., presenta en su ensayo, “Garachiné: un pueblo que se sumerge en el fondo del mar”. En este escrito se hace un recuento histórico de la fundación del pueblo de Garachiné, el cual está localizado en la provincia de Darién. Tratamos de documentar como en un espacio de aproximadamente 100 años el mar ha avanzado hacia tierra firme y con ello ha sumergido las huellas de nuestros antepasados. Y aunque no hace referencia a la dinámica de las olas, es obvio que los fuertes oleajes y la fuerza de las corrientes litorales han contribuido a profundizar el retroceso de la línea costera del pueblo de Garachiné. De modo que identificando ciertas actividades antropógenicas como: la construcción de viviendas cerca de la costa, la deforestación del manglar y la extracción de piedra y arena de la costa, hemos podido reconocer las principales causas que han originado la deformación de estas costas. Por último, pretendemos llamar la atención acerca de la posible reducción de las costas panameñas, motivar a la reflexión y, a visualizar alternativas tendientes a prevenir o revertir el proceso de erosión de las costas (2005).

Mora et al., en su informe a la cepal. El cambio climático representa una seria amenaza para las sociedades centroamericanas por sus múltiples impactos previstos en la población y en los sectores productivos. En términos fiscales constituye un pasivo público contingente que afectará las finanzas públicas de los gobiernos por varias generaciones. Se estima que para 2030 Centroamérica aún producirá menos de 0,5% de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) del planeta, pero al mismo tiempo ya es una de las regiones más vulnerables ante los embates del cambio climático. El objetivo del presente documento es examinar los impactos potenciales del cambio climático sobre el sector agropecuario panameño. A lo largo del documento se discuten los resultados obtenidos acerca de los

efectos en el sector considerando variaciones en la temperatura y precipitación. Básicamente, el análisis se centra en explicar los impactos que el cambio climático podría generar sobre la producción agropecuaria y sobre los ingresos producidos por concepto de venta de la tierra. Los resultados obtenidos a partir de los índices de producción agropecuaria y de cultivos señalan que a mayores niveles de precipitación acumulada en los meses de mayo a octubre originarían beneficios positivos sobre el sector debido a que el nivel que permite obtener la máxima producción aún no se había alcanzado en 2005. También es importante indicar que de experimentar disminuciones en la precipitación acumulada los efectos serían contrarios, es decir, los niveles de producción en ambos índices disminuirían. Asimismo, los ejercicios de sensibilidad realizados con los índices de producción agropecuaria, de cultivos y pecuaria, muestran que el calentamiento global ha generado que la temperatura registrada en 2005 no sea la más adecuada para crear efectos positivos a esta actividad, por el contrario, es posible apuntar que cada aumento marginal de la misma se traduciría en pérdidas para el sector en su conjunto (2010).

El programa de monitoreo ambiental del centro de investigaciones meteorológicas en Punta Culebra en la Calzada de Amador del STRI ha estado funcionando durante medio siglo, desde 1972, y Paton se ha involucrado en él durante tres décadas. Hacer un seguimiento de los parámetros ambientales en todo Panamá, tanto en la tierra como en el océano, permite a los investigadores comprender cómo solían ser las cosas y cómo están cambiando. "No sabes lo que has perdido si no lo has monitoreado", "¿Y cómo podemos proteger lo que no conocemos?"(Paton, 2020).

Steve Paton, "también participa en actividades de investigación y conservación de manglares y espera que sus esfuerzos ayuden a los tomadores de decisiones a comprender el valor de una mayor inversión en la restauración y conservación de manglares. Las actividades realizadas por él y muchos otros en Panamá han demostrado la importancia de los manglares para la absorción de carbono y la protección de las costas" (Nilipour, 2020).

A inicios de este siglo, alrededor de mil millones de personas podrían verse directamente afectadas por el incremento en el nivel del mar. El aumento en la frecuencia y severidad de las sequías que predicen los modelos de cambio climático afectarán a muchos más, lo que podría conducir a la migración masiva de decenas de millones de personas. Por último Paton

plantea: “ese será el momento en el que todos se darán cuenta de que la sociedad tiene que reinventarse, porque no se puede tener a millones de migrantes sin crear un gran impacto” (Nilipour, 2020).

2. Base teórica: Definición de las variables de estudio

En el marco conceptual de esta tesis, referente al impacto del calentamiento global y la erosión en las costas, así como los eventos que pueden impactar a la población de Punta Chame de continuar aumentando el nivel de los mares. Para ello es importante definir las variables independientes, dependientes y de control, examinemos algunas de estas variables en el contexto de esta investigación.

En el caso de la variable independiente por definición es la que podemos medir para observar su efecto sobre otras variables, en este trabajo sería el factor que se considera la causa; como sería el aumento térmico del planeta debido al calentamiento global el cual podría ser medido el incremento de las temperaturas superficiales del océano.

La variable dependiente es afectada por la variable independiente, en nuestro caso sería la que se puede analizar para poder comprender cómo responde al cambio de la variable independiente. En la tesis consideramos algunas variables dependientes:

- a. Cómo el porcentaje de erosión en las costas al sur y al norte de Punta Chame.
- b. La pérdida de territorialidad en nuestras costas que son medidas por el Ministerio de Ambiente.
- c. Los cambios en los patrones de precipitaciones que generan inundaciones costeras, que se miden en frecuencia, intensidad y daños.

Para las variables de control, se refiere aquellas que son constantes y sirven para garantizar que las mismas no obstaculicen la relación entre las variables independiente con las dependientes. En nuestra investigación algunas variables de control serían:

- a. La morfología costera que influiría en el proceso erosivo.
- b. En el caso de la existencia de estructuras constructivas como los espigones y escolleras que sirven de protección a las áreas afectadas.
- c. Los trabajos que pudieran llevar adelante los pobladores que pudieran influir en los resultados de la investigación.

En estudios futuros se podrían identificar otras variables de acuerdo a la información que se pudieran obtener de acuerdo al uso de otros métodos de levantar la data.

3. Las bases en que se basa la investigación

Esta investigación se ha basado en elementos percibidos desde mediados del siglo XIX, pero toman una notable relevancia a finales del siglo XX, cuando científicos presentan sus inquietudes sobre el aumento térmico de la atmósfera, el derretimiento mayor en los glaciares y variaciones de temperatura en la superficie del mar (causa de los efectos del Niño y la Niña) producen cambios en la circulación oceánica y atmosférica provocando cambios en el clima. Consideramos que estos eventos son bases sólidas para efectuar el estudio en Punta Chame que presenta características geológicas costeras por ser una acumulación de sedimentos marinos debido a procesos oceanográficos que han dado origen a una franja de tierra estrecha paralela a la bahía de Chame y se le denomina como un cordón litoral. Este accidente geográfico en el litoral Pacífico panameño es particularmente frágil por poseer una topografía de poca elevación y constituida por playas, es por ello que de continuar el aumento del nivel de los mares producto del calentamiento global, muchas áreas de Punta Chame serán impactadas negativamente perdiendo posiblemente parte de sus costas. Como se mencionó en el punto anterior las bases de nuestra investigación están basadas en el calentamiento global, la erosión costera, el impacto a la biodiversidad, la adaptación al cambio climático, el modelado debido a la transgresión marina en las costas y a la concientización pública.

4. Importancia de las bases teóricas

Las bases teóricas son fundamentales para establecer bases sólidas y darle rigor científico a esta investigación, principalmente al considerar fenómenos complejos como el calentamiento global y la erosión costera en Punta Chame. El poder establecerlas nos ha ayudado a encaminar nuestra investigación, el poder interpretar los resultados y por último poder contribuir de alguna forma al conocimiento de un tema de actualidad. Revisemos algunas razones por las cuales las bases teóricas son importantes en una investigación científica como la que presentamos

- a. Marco conceptual: las bases teóricas proporcionan un marco conceptual que nos permite comprender los fenómenos que se están analizando. En especial al establecer una relación del calentamiento global, la erosión costera y cómo estos procesos pueden impactar en Punta Chame.
- b. Selección de variables: cuando se trabaja con las variables antes citadas, es importante tener un fundamento teórico para identificar y seleccionar las variables más relevantes para nuestro estudio.
- c. Diseño del estudio: las bases teóricas son las que diseñan el rumbo de la investigación, considerando los métodos de trabajo, la obtención de datos y el análisis de los datos.
- d. Interpretación de los resultados: las bases teóricas nos brinda el contexto necesario para poder interpretar los resultados de esta investigación. Nos permite explicar los hallazgos obtenidos en nuestra investigación.
- e. Contribución al conocimiento: al basar nuestro trabajo en conceptos existentes, y partiendo de allí obtener información relevante al problema de la investigación podemos contribuir al conocimiento científico. La metodología empleada en esta investigación podría servir para estudiar el impacto erosivo en otras costas del país, considerando la mayoría de nuestros núcleos poblacionales están asentados en áreas costeras y ribereñas.

El Estado panameño asume en colaboración con otras instituciones una estrategia nacional e iniciativas para incrementar la resiliencia del país a los aspectos adversos del cambio climático y para promover la transición nacional al desarrollo económico bajo en carbono.

“En el año 2019, con la creación del Comité Intersectorial de Cambio Climático para el Sector Agropecuario y el Comité Interinstitucional de Movilidad Eléctrica, se logra que el país enfoque sus esfuerzos en la implementación de los planes y estrategias para la acción climática que fueron propuestos como metas en la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Panamá.” (Segundo Informe Bienal de Actualización del Ministerio de Ambiente, 2021).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1. Tipo de investigación cuantitativa

La metodología de la investigación tiene un enfoque cuantitativo y empírico al obtenerse datos prospectivos de forma transversal al presentar el cálculo entre dos de los polígonos levantados (años 2003 y 2023) que han permitido observar el impacto erosivo en las costas se puede revisar las Figuras 1 y 4 del anexo, donde aparecen la imagen lograda con el satélite Landat 7 de la NASA tomada en el año 2003 (Figura 1) y la imagen tomada por el satélite Sentinel 2 del programa Copérnico de la Unión Europea en el año 2023 (Figura 4) las imágenes se sobreponen una con relación a la otra y así podemos observar cómo se ha erosionado en sus bordes costeros con geometría de polígonos y luego se utilizó la herramienta de (Differential Symmetry Analysis) de ArcGIS Pro con ella se calculó las áreas afectadas. En este caso nos interesaba conocer las áreas negativas para estimar los porcentajes erosionadas. Al comparar las imágenes citadas se pudo además de observar las áreas erosionadas también se pudo conocer el porcentaje de afectación en las costas al norte y al sur de Punta Chame.

2. Diseño y nivel de investigación exploratoria y descriptiva.

El marco metodológico aplicado es de carácter descriptiva, la cual se dividió en dos partes; la primera sección trata de analizar las áreas impactadas a través del estudio espacial, mientras que la segunda parte fueron visitas a los diferentes sitios que componen el área de Punta Chame y documentarlas con estudios bibliográficos e información de hemeroteca sobre el aumento del nivel del mar causado por el calentamiento global, adicional a la información que pudimos recabar en conversaciones con miembros de la comunidad y respaldadas con el testimonio fotográfico tomadas en los diferentes sitios.

“Como en cualquier sistema de información complejo y de cierta entidad, los procesos de producción y levantamiento de la información y el de su posterior explotación persiguen, hasta cierto punto, objetivos diferentes” (Ojeda *et al.*, 2010).

3. Unidad de Análisis

Nuestro trabajo en laboratorio de informática empleando el software de ESRI ArcGIS Pro fue en las instalaciones de la empresa Esri Panamá, dedicada a la administración y gestión de fuentes de datos apropiados para la producción de cartografía digital, a través de su personal se pudo obtener las imágenes satelitales de Punta Chame desde 2003 hasta el 2023. El ArcGIS Pro es la aplicación Sistema de Información Geográfica de empleo en gabinete que sirve para explorar, visualizar y analizar datos con la finalidad de crear mapas en nuestra investigación de 2D lo que nos permitió arribar a resultados que validaron el impacto erosivo en las costas de Punta Chame.

4. Procesamiento y análisis de datos

La herramienta empleada nos proporcionó un marco para lograr una edición rápida y eficaz de datos. En este caso nos interesaba conocer las áreas negativas para estimar los porcentajes erosionadas. Al comparar las imágenes citadas se pudo observar áreas erosionadas al norte y otra al sur de Punta Chame.

Este software de digitalización ArcGIS Pro no requiere de estar introduciendo claves en tablas o llenando formularios, concentra su atención en la interpretación de los datos.

El método ArcGIS Pro nos permitió crear un modelo entre los cambios resaltados en los valores centrales y en los valores extremos, produciendo de esta manera un resultado de fácil entendimiento visual y de comprensión cartográfica (ver Figuras 1,2,3 y 4).

Para el trabajo se descargaron las mejores imágenes para el debido análisis en software de Esri ArcGIS Pro, se realizó una combinación de bandas para obtener un falso color con el fin de realizar un análisis temporal y determinar los cambios en la línea costera. Luego se procedió a digitalizar los cambios en la costa y por último se empleó la información a la escala de compilación para calcular el área que ha impactado por la erosión de arena en los últimos 20 años.

5. Técnica e instrumentos

Para el cálculo de las áreas erosionadas se empleó la metodología de digitalizar las imágenes de los años 2003 y el 2023 en sus bordes costeros con geometría de polígonos y luego se utilizó la herramienta de (Field calculation) de ArcGIS Pro con ella se calculó las áreas que han sido erosionadas, esta herramienta nos permitió comparar un polígono con respecto al otro indicando las áreas de transgresión marina.

Su utilización era para la definición geométrica de la línea de costa en ambos litorales (occidental y oriental) en Punta Chame a una escala de 1:45000 se emplearon ortofotos y orto imágenes de resolución métrica y el modelo de datos en período de intervalos cada 5 años de imágenes. Se obtuvieron imágenes satelitales Sentinel 2 del portal de datos abiertos <https://apps.sentinel-hub.com/> que se emplearon para los mapas del 2018 y 2023, con resolución menor a los 15 metros por la temporalidad y el análisis efectivo y con las imágenes de Landsat 7, 8 y 9 del portal de la NASA <https://glovis.usgs.gov/>. Se logró confeccionar los mapas del 2003 y 2013 cabe señalar que en las imágenes del 2013 se utilizó el sensor del Landsat 8 con una resolución de 30 metros en búsqueda de mejor amplitud. Se lograron imágenes con filtros a una temporalidad de cada 5 años y con una cobertura de nubosidad del 20% para tener imágenes claras dentro de la zona de estudio.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS, CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

1. Presentar los resultados y porcentajes

La República de Panamá presenta el primer caso de migración climática de una comunidad de ascendencia común que han sido forzados a trasladarse de las islas del Archipiélago de Guna Yala al continente por la pérdida territorialidad debido al aumento de los niveles del mar Caribe.

En caso particular de Punta Chame, desde nuestras primeras visitas pudimos observar que el impacto erosivos en las costas ponían en riesgo la infraestructura de acceso a la población.

Al no contar con información cuantitativa sobre la transgresión marina que sufren nuestras costas decidimos con el apoyo de la empresa de servicios cartografía “Esri Panamá” emplear el programa ArcGIS Pro que nos permitió información geográfica a través de imágenes satelitales como se menciona en el capítulo III de esta investigación para lograr resultados en porcentaje de la erosión marina en las costas de Punta Chame, se aplicó la herramienta Field Calculation del Programa ArcGIS Pro y de esa forma resultó que en el sector norte la erosión causó una transgresión marina en la línea de la costa de un 16% con respecto al punto de referencia que corresponde a su posición hace 20 años y en sector sur la erosión ha sido de mayor impacto alcanzando un 84% considerando igual la ubicación de la línea costera que existía en el año 2003 (ver Figuras 7).

2. Presentar los resultados respecto a los objetivos

Los resultados de nuestro trabajo después de analizar el impacto del calentamiento global y la erosión en Punta Chame a través de las imágenes satelitales que pudimos obtener desde el año 2003 hasta la fecha se pudo constatar que la línea de costa ha sido erosionada creando un proceso de transgresión marina con mayor énfasis al norte y sur del cordón litoral. De igual forma se aprovechó el software de trabajo para calcular los porcentajes erosivos en los puntos indicados y ello servirán a la población y sus autoridades para que tomen medidas precautorias con la finalidad de mitigar el impacto del aumento en el nivel de los mares a tiempo y se pueda tomar conciencia de los posibles efectos que pueden causar daños irreparables.

En lo referente a los objetivos específicos, presentamos los resultados correspondientes:

- a. Considerar la transición a un modelo circular económico basado en los recursos propios como sería la estrategia forestal. Para ello se plantea que las personas que se han dedicado tradicionalmente a la tala de manglares con fines de venta, las autoridades locales deben coordinar un programa de emplear esa mano de obra para reforestar las áreas deterioradas en la ensenada La Boca en la bahía de Chame y prohibir la deforestación no planificada que impacta negativamente las costas y/o la bioseguridad de las especies marinas (ver Figura 8 del Anexo).
- b. Desarrollar nuevas estrategias de desarrollo económico para la población de pescadores que ve amenazada su sustento al trasladarse los bancos de peces hacia aguas más profundas debido al aumento de la temperatura de las aguas superficiales y a la acidificación de los mares, es por ello que estos pobladores debe recibir la inducción para transformar su actual actividad a operadores de turismo para servir en el traslado de turistas en el avistamiento de cetáceos o visitas a islas actualmente deshabitadas cercanas a Punta Chame.
- c. Reducir el impacto erosivo del mar con elementos constructivos con espigones y rompeolas, como se han instalado recientemente, ejemplo de ello son: la construcción de la escollera y el relleno que sirve como protección a la población tradicional del área (ver Figura 9), la construcción de la escollera con elementos naturales en el meandro del río Chame que desemboca en playa Malibú y proteger de la erosión la carretera que conduce a la población (ver Figura 10), instalación de espigón y relleno como se hizo para proteger la carretera de acceso a las áreas playeras (ver Figura 11) y por último se debe evitar construcciones privadas sobre las dunas desconociendo los límites de construcción que están reguladas por las normas al respecto para evitar que la fuerza de las olas causen daños a las construcciones con grandes pérdidas económicas para sus propietarios (ver Figura 12).

3. Conclusiones y discusión de los resultados

3.1 Conclusiones

El trabajo investigativo nos llevó a conocer el impacto erosivo en las costas de Punta Chame debido al calentamiento global a que está sometido nuestro planeta por la acción de los gases de efecto de invernadero, es necesario desarrollar políticas de concientización en las comunidades y autoridades locales para adaptarse al cambio climático y la gestión costera necesaria. El empleo del programa cartográfico ArcGIS PRO nos permitió tener un punto de referencia para conocer de la transgresión marina y calcular el porcentaje de la erosión en las costas de Punta Chame, reflejando que la parte norte del cordón litoral a sufrido un retroceso de la línea de costa de un 16 % y al sur hasta un 84 % en los últimos 20 años. El problema se agrava con la extracción de arena marina en el área con equipos pesados y la tala de manglares desde hace algún tiempo. Con la migración de los bancos de peces por la acidificación del océano a aguas más profundas, la comunidad permanente ha mermado sus ingresos tradicionales.

La administración oceánica y atmosférica (NOAA), en sus últimos datos técnicos ha manifestado que el aumento del nivel de los mares ocurrirá incluso si, se dieran recortes drásticos en las emisiones de carbono a corto plazo.

El tema de la investigación es un problema de emergencia para el estado panameño por las consecuencia que comenzamos a sentir debido al calentamiento global, en el caso particular de Punta Chame los daños a la biodiversidad traera como consecuencias la afectación a la economía y calidad de vida de los pobladores de las áreas costeras.

El estado tiene una mora con en el establecimiento de estaciones de monitoreo en puntos críticos en costas panameña, en especial en Punta Chame, las academias principalmente las públicas deben unirse a este esfuerzo en conjunto con miras a realizar investigaciones más precisa sobre las mediciones de la temperaturas, salinidad y la acidez de nuestros mares. Estos aportes ayudaran al Estado a la planificación a futuro de tomar los correctivos a tiempo.

“La erosión costera es un fenómeno crítico qque amenaza nuestras comunidades y ecosistemas costeros. El aumento del nivel del mar está exacerbando este problema y requiere de una acción inmediata y sostenible para proteger nuestras costas y salvaguardar nuestro futuro.” (Dr. John Smith, profesor de Geología Costera de la Universidad de California, en una entrevista realizada el 15 de marzo de 2022 en el programa “Impacto Ambiental” de la cadena de televisión ABC.

3.2 Discusión de los resultados

a. A nivel nacional, por ser está la mayor amenaza a la que se hayan enfretado los humanos, las autoridades gubernamentales debe elevarla a política de Estado, creando una secretatía para que pueda dirigir todas las gestiones encaminadas a proporcionar información con miras a aumentar la concienciación sobre las amenazas del calentamiento global y las medidas de mitigación, como reducir las emisiones provocadas por los combustibles fósiles, planificación y construcción de estructuras de protección en las costas de mayor riesgo, desarrollar una agroindustria resilente al clima, pesca sostenible; fomentar la colaboración entre entidades del gobiernos nacional, gobiernos locales, la academia, Smithsonian Panamá y organizaciones no gubernamentales.

b. A nivel de la academia en partícular la facultad de ingeniería de la Universidad de Panamá, se deben crear unidades de investigación para accesar a través de asociaciones de interés público y de fondos con miras a realizar modelos de costas que podamos prever situaciones futuras.

c. A nivel del sitio de estudio, se debe establecer grupos comunitarios dedicados a la adaptación al cambio climático y la gestión costera. Se debe detener toda extracción de arena superficial y submarina que se este realizando y que influye en debilitar las áreas costeras. Debe prohibirse la actividad de deforestación de manglares en la Bahía de Chame y a cambio se deben organizar a las personas que han dependido de esta actividad tradicionalmente en programas de reforestación con especies nativas del lugar donde estas personas reciban una remuneración económica adecuada por sus servicios. Ayudar a las comunidades a diversificar sus medios de subsistencia que son vulnerables al cambio climático, como sería los pescadores a operadores de turismo a visitar las islas alrededor y al avistamientos de cétaceos en temporadas.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Águila Coghlan, J. (2016). La comunicación del cambio climático: análisis del discurso de los telediarios españoles sobre las cumbres de Cancún y Durban. (tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias de la Información, departamento de Sociología, España).
- Álvarez, J. (2021). El uso educativo de las infraestructuras de datos espaciales (IDE) para mejorar la responsabilidad social de los ciudadanos del siglo XXI sobre el territorio. (tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, España).
<https://revistas.uned.es/index.php/ETFVI/article/view/29348>
- Castro, J. (2009). Una aproximación a un estado del arte de la educación energética. (tesis de maestría. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia).
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/revcie/article/view/410>
- CEPAL, (2012). Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: impactos.
 Cepal-Universidad de Cantabria. Instituto de Hidráulica Ambiental. España.
<https://www.cepal.org/es/publicaciones/4003-efectos-cambio-climatico-la-costa-américa-latina-caribe-impactos>
- Cifuentes, M., (2016). Detección de cambios en la línea costera y los efectos del cambio climático relacionados con el incremento del nivel del mar: Distrito de Buenaventura. (tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia).
- Del rosal, J., (2020). Global Warming Impact on Transitional Coastal Environments: a methodology for knowledge-based management and decision making. (tesis doctoral, Universidad de Granada, España).
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=286183>
- Diéguez, M., (2020, 14 de abril). Informe sobre la gira a la zona costera de Punta Chame.
<https://piraguamdp.com/2020/04/14/informe-sobre-la-gira-a-la-zona-costera-de-punta-chame/?blogsub=confirming#subscribe-blog>
- Fischer, A., (2021, 8 de febrero). El cambio climático está elevando el nivel de los mares mucho más rápido de lo que se creía. National Geographic, México.

<https://www.ngenespanol.com/ecologia/el-cambio-climatico-esta-elevando-el-nivel-de-los-mares-mucho-mas-rapido-de-lo-que-se-creia/>

Garcés, P. A. (2005). GARACHINÉ: Un pueblo que se sumerge en el fondo del mar. *Tecnociencia*, 7(1),101–112.

<https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/686>

Gordón, C., (2021). Aumento del nivel del mar en el contexto de la ciudad de Panamá. Periódico La Estrella de Panamá, sección Nacional.

<https://www.laestrella.com.pa/nacional/210821/aumento-nivel-mar-contexto-ciudad>

Grajales, F., Ciniglio, S., Machado, V. y Vallarino, R. (2021). Análisis del Aumento del nivel del Mar en Isla Colón, Bocas del Toro. *Revista Iniciación Científica*, 7 (2), 39-49

<https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/3337/4046>

Lizano, M. & Lizano, O. (2009). Creación de escenarios de inundación en la Ciudad de Puntarenas ante el aumento del nivel del mar. (tesis de maestría, escuela de geografía de la Universidad de Costa Rica).

<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal13/Nuevastecnologias/Cartografia/matematica/09.pdf>

Lizano, M. & Lizano, O. (2022). Creación de escenarios ante el aumento del nivel del mar, para las localidades de Moín y Cahuita, Limón, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central* on-line versión ISSN 2215-2563 print versión ISSN 1011-484X

https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-25632022000100103&script=sci_arttext

Medina, R., Codignotto, J. (2013). Evolución del delta del río Paraná y su posible vinculación con el calentamiento global. (tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires. Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Argentina).

http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S185304002013000200006&script=sci_arttext&tlng=pt

Ministerio de Ambiente (2021). Segundo Informe Bial de Actualización. República de Panamá.[https://dcc.miambiente.gob.pa/wp-](https://dcc.miambiente.gob.pa/wp-content/uploads/2021/07/Segundo_Informe_Bial_content/uploads/2021/07/Segundo_Informe_Bial_de_Actualizacion_reduce.pdf)

[content/uploads/2021/07/Segundo_Informe_Bial_content/uploads/2021/07/Segundo_Informe_Bial_de_Actualizacion_reduce.pdf](https://dcc.miambiente.gob.pa/wp-content/uploads/2021/07/Segundo_Informe_Bial_content/uploads/2021/07/Segundo_Informe_Bial_de_Actualizacion_reduce.pdf)

- Ministerio de Ambiente (2023). Desarrollo de una base de datos de la dinámica marina para las costas panameñas con el fin de evaluar la vulnerabilidad y el clima por el impacto del aumento del nivel del mar. Universidad de Cantabria, España.
<https://adaptacion.miambiente.gob.pa/dinamicas-marinas/>
- Montero, Y. & Pérez, O. (2014). Estudio de la Erosión de Playa Sevilla bajo el Enfoque de Manejo Integrado de Zonas Costeras. Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba. Ciencia en su PC, 1, p 1-14.
<https://www.redalyc.org/pdf/1813/181331235001.pdf>
<https://eprints.ucm.es/id/eprint/38010/>
- Mora et al., (2010). Panamá: Efectos del cambio climático sobre la agricultura. Informe de la UN. CEPAL- DFID. Sede subregional de la cepal en México.
<https://www.biopasos.com/biblioteca/Panama-efectos-cambio-climatico-agricultura.pdf>
- Muñoz, N., (2010). Tendencias mundiales de las nuevas carreras para el cambio climático. (tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional de México).
<https://ipn.elsevierpure.com/en/publications/tendencias-mundiales-de-las-nuevas-carreras-para-el-cambio-climatic>
- Navarro, F., (2013). Modelos Multisectoriales input-output en el estudio de los impactos ambientales: una aplicación a la economía de Cataluña. (tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona). Departamento d'Economía Aplicada. España.
- Nilipour, L. (2020, 25 de marzo). Es innegable. Noticias del Smithsonian Tropical Research Intitute. <https://stri.si.edu/es/noticia/es-innegable>
- Núñez. C., (2022, 17 de diciembre). ¿Qué es el aumento del nivel del mar? National Geographic, México.<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-es-el-aumento-del-nivel-del-mar>
- Ojeda Zújar J., Díaz Cuevas M.P., Prieto Campos A. y Álvarez Francoso J. (2013). Línea de costa y sistemas de información geográfica: Modelo de datos para la caracterización y cálculo de indicadores en la costa Andaluza. Universidad de Alicante. Investigaciones Geográficas Instituto Interuniversitario de Geografía. N°60, julio -diciembre de 2013, pp. 37-52.

<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/73716/Dialnet-LineaDeCostaYSistemasDeInformacionGeografica-4528091.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pisabarro Pérez, A., (2019). Cambio Global y Respuestas Ambientales en la Cordillera Cantábrica el Alto Pisuerga. (tesis doctoral, Universidad de Valladolid, España).
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=296000>

Patón, S., (2008-2022), Mapas fotográficos de los Manglares de Juan Díaz y Chame.
<https://si.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=102d0d5eca0b4588a880daa32ffa0a48>

Plataforma ESRI ArcGIS Pro, empleado por la empresa Esri Panamá, en la confección de los mapas digitales de Punta Chame en los años 2003, 08, 13, 18 y 2023.

<https://go.climatecentral.org/coastaldem/> ArcGIS Pro
metodología en la confección de los mapas:

<https://stridata-si.opendata.arcgis.com/>

<https://stridata-si.opendata.arcgis.com/maps/global-mangrove-watch-1996-2016-web-map/explore?Location=8.494210%2C-80.194150%2C6.77>

Pérez, A., (2021). Los riesgos costeros: Retos para el desarrollo sostenible del turismo en los territorios insulares en el contexto del cambio climático. (tesis doctoral, Universidad de Oriente, Cuba).

<https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/exploradordigital/article/view/1505>

Reyes, H., Díaz, S. & Gonzáles, A. (2020). El incremento del mar: afectación en costas mexicanas. Capítulo del libro “Cambio climático adaptación y resiliencia en el noroeste de México.” Universidad Autónoma de Baja California Sur.

<https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/2241/1/CapituloReyes-BonillaDiaz-CastroGonzalez-Baheza2020.pdf>

<https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/3337/4046>

Rivero, L., (2021). Paleoenvironmental assessment across key Eocene climatic events based on Benthic foraminifera. (tesis doctoral, Universidad de Zaragoza, España).

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=293697>

Rodríguez, F. & O'Dea, A. (2015). Un vistazo a la Geología Panameña. Capítulo del libro “Historia Natural del Istmo de Panamá.” P.1-15. SENACYT y Smithsonian.

Russo, R. & Kohlmann, B. (2013). Cambio Climático: Efectos sobre la Biodiversidad. (tesis de maestría, Universidad de la Salle. San José, Costa Rica).

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33796193/2013-05-Articulo_Biodiversidad_y_CC_LaSalle_mayo-2013-libre.pdf?1401131572=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCambio_Climatico_efectos_sobre_la_Biodiv.pdf&Expires=1694713303&Signature=B~lt-9fnYZUBm9liLU5ppSSRtELHbOh~pOVLdUGRerLa7skAn8TijCo0Gz4QfBsUS0IW-OY5k~Jpeq5XK-Hj6ZR6a9PXcYT~BAhrfhQyGgA0T7FZ0mlLFo1cMjWRg~hDskpFUKjXmjYOZcNw0Kk3TRYz0SmtWE6MhrRRs2Ivpw9pLlgTa4uEsuXt7KjjU5-6~AsIME8ZabeqMavUQ~RsrRx4ipeKQYJjXlocnIZI7P0Jl1Y59TiHAWSSxdtF2MLRSoMJFXmQDWpaaceki5eW483Or4N0WsiLBok0jP9cHibxGnXhL~03RIvNcUDIBJ9FHjXkcoPrNry-NEgwsX5GEg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Sponer, R., (2022). La inacción: el gran enemigo frente a la mitigación del cambio climático. Periódico La Estrella de Panamá, sección Planeta.

https://www.laestrella.com.pa/cafe-estrella/planeta/220803/inaccion-gran-enemigo-frente-mitigacion?utm_medium=email&utm_campaign=Daily%20GESELa%20Estrella&utm_content=Daily%20GESELa%20Estrella+CID_bb7262868a090f5781b3b26d767aafcc&utm_source=Email%20newsletter&utm_term=La%20inaccion%20el%20gran%20enemigo%20frente%20a%20la%20mitigacion%20del%20cambio%20climtico

Velázquez, Y., et al., (2019). Monitoreos de Playas en Santiago de Cuba desde el Manejo Integrado de Zonas Costeras para el enfrentamiento al cambio climático. (tesis de maestría, Universidad de Oriente, Cuba).

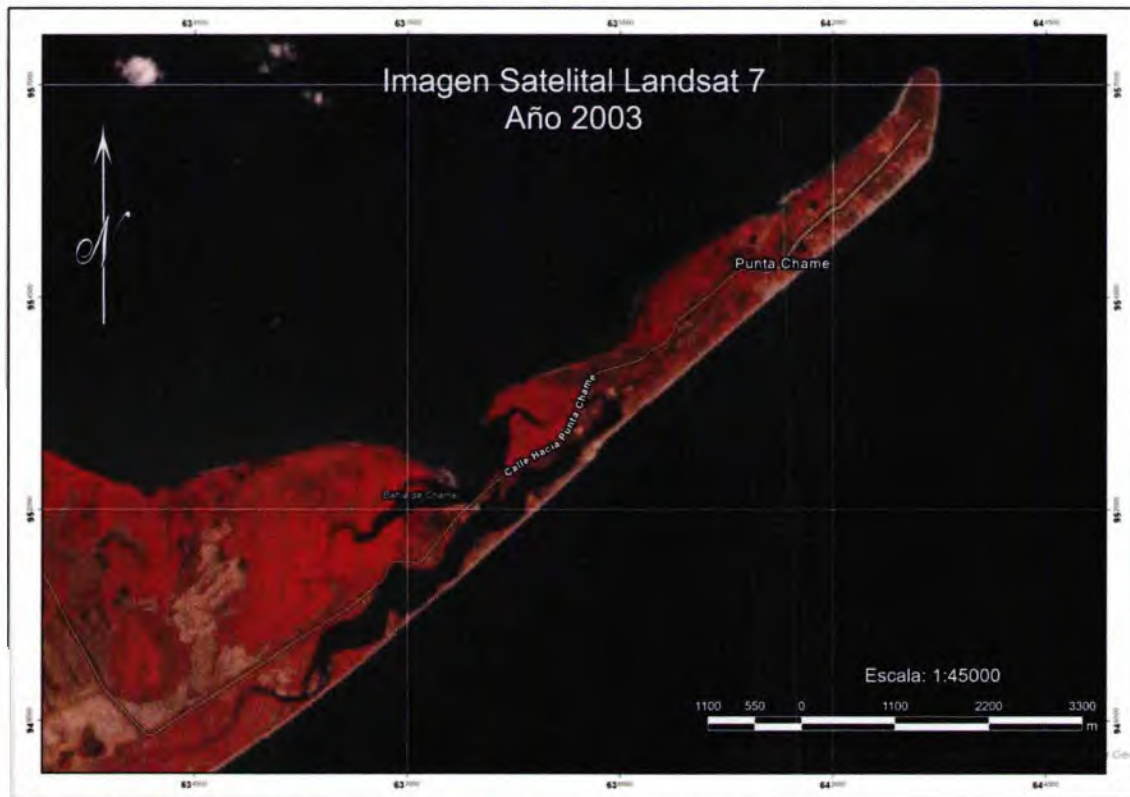
<https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/6085>

ANEXOS

7.1 Mapas digitales y fotos

Figura 1

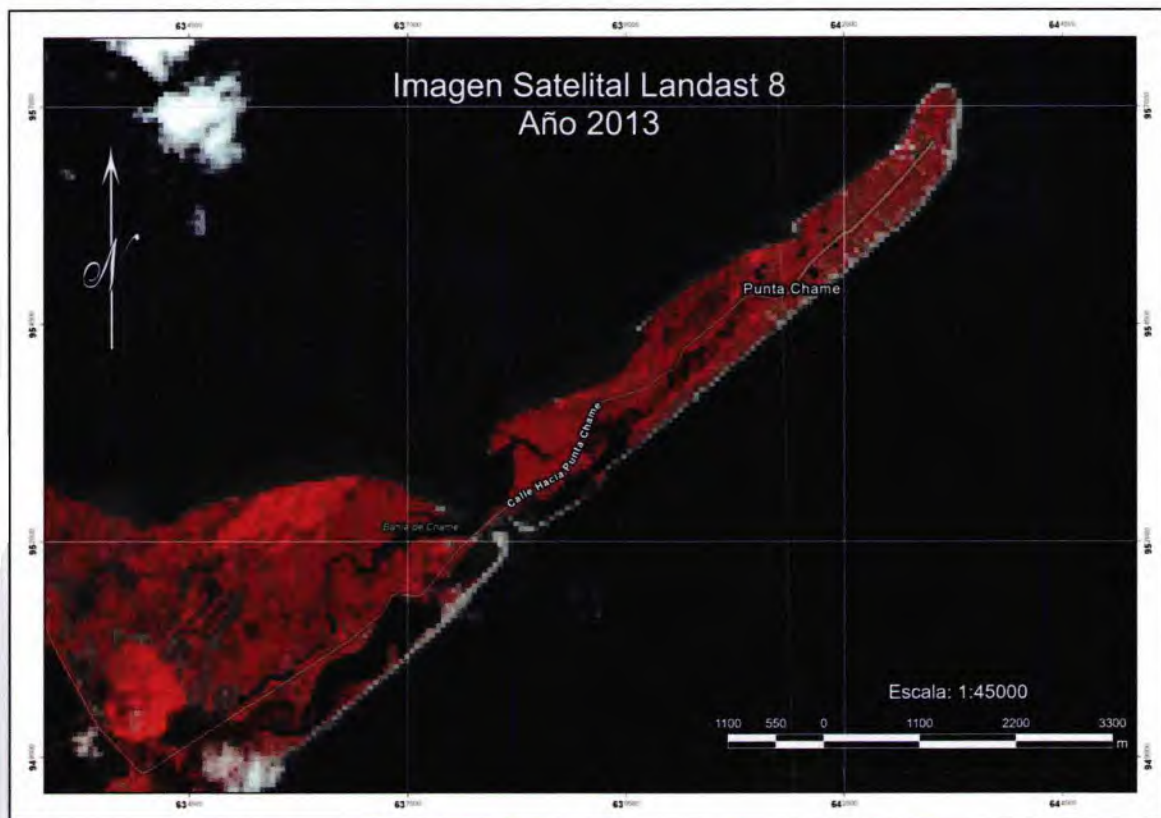
Imagen satelital en coordenadas de Punta Chame en el año 2003



Nota. El Landsat 7 programa lanzado en 1999, su objetivo es la actualizar la base de datos sin nubes. Imágenes procesadas por el USGS.

Figura 2

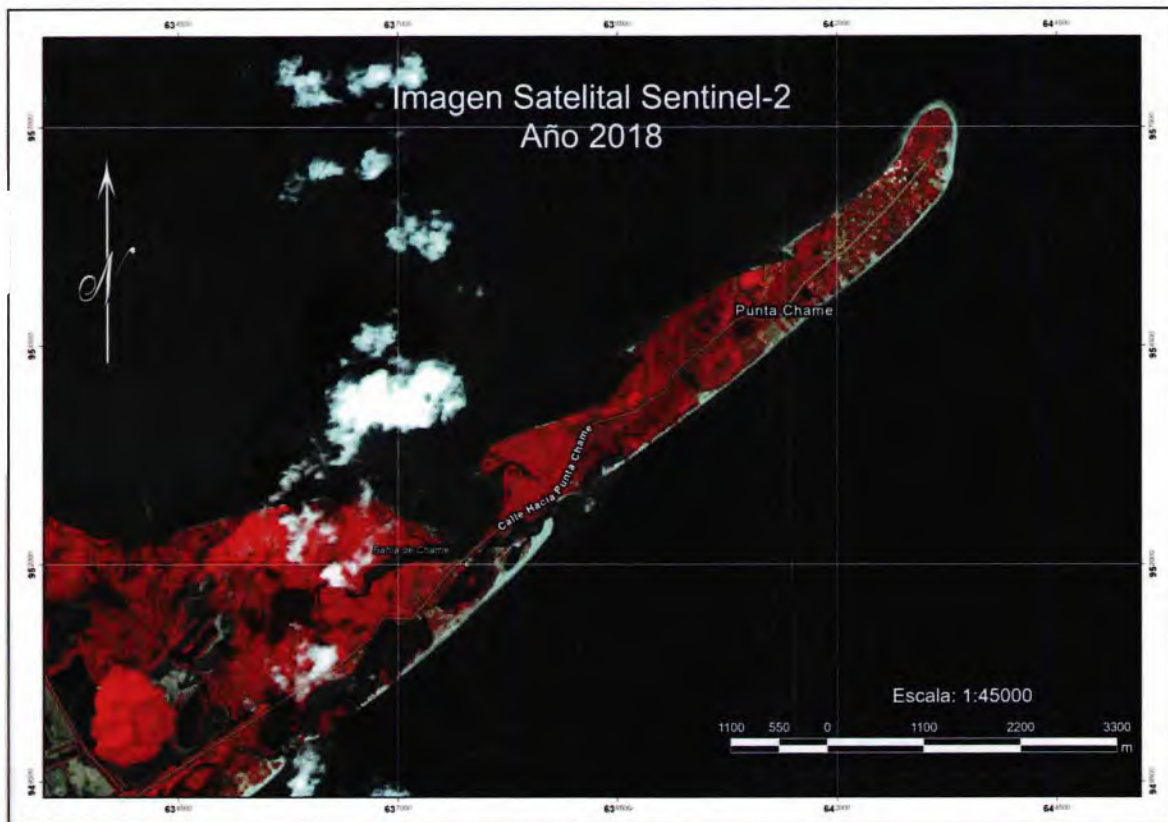
Imagen satelital en coordenadas de Punta Chame en el año 2013



Nota. El Landsast 8 es un satélite lanzado en el 2013, posee sensor OLI con acceso a nueve bandas espectrales para mayor recubrimiento. Puede adquirir cerca de 650 imágenes diariamente.

Figura 3

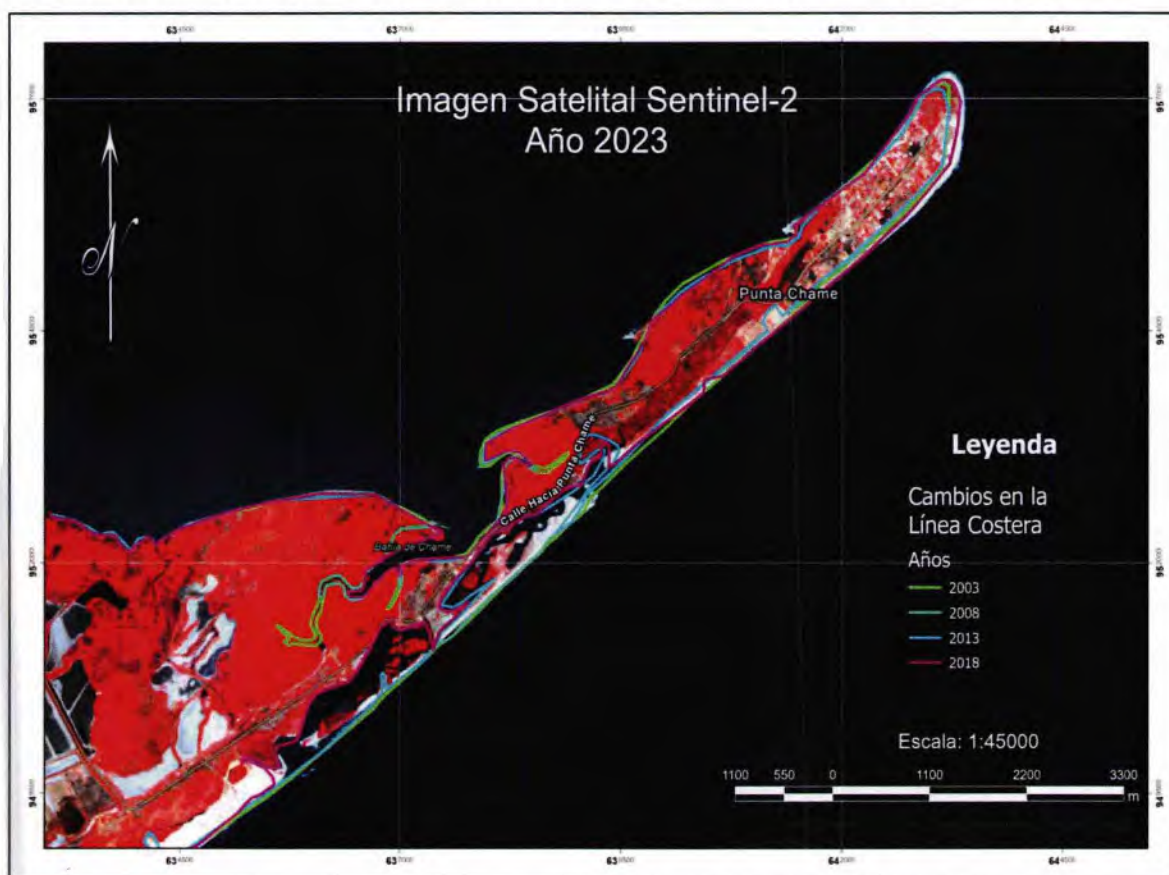
Imagen satelital en coordenadas de Punta Chame en el año 2018



Nota. Las imágenes de satélite del sensor Sentinel 2 del Programa Copernicus diseñado para proporcionar información precisa, actualizada y de fácil acceso para mitigar los efectos del cambio climático.

Figura 4

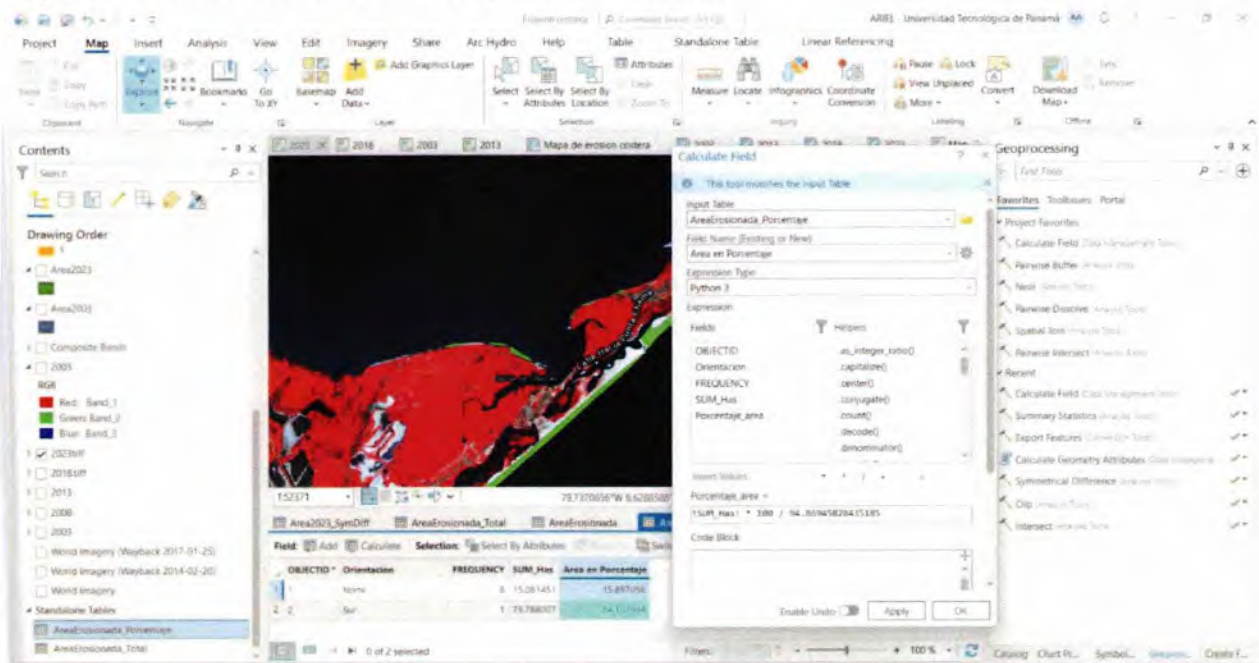
Imagen satelital del impacto erosivo al año 2023 y resumen de las dos últimas décadas.



Nota. En esta imagen del sensor Sentinel 2 se recoge la información de las otras tres imágenes presedentes marcadas con líneas más gruesa para mejor identificación y permite calcular con mayor eficacia para determinar el área de impacto en las dos últimas décadas.

Figura 5

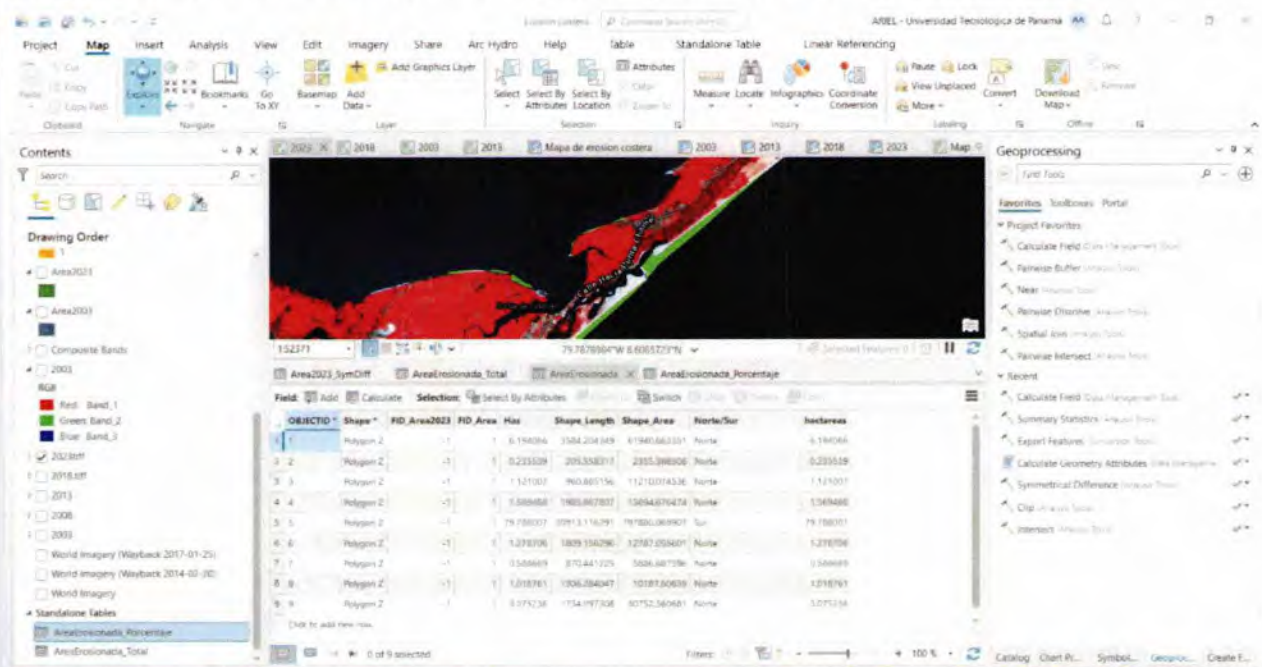
Imagen con la formula para calcular el porcentaje de la transgresión marina desde 2003 empleando la herramienta Calculate field de ArcGis Pro



Nota. Tomando la imagen que se tomo con el Landat 7 en el año 2003 por la NASA y sobreponiendole la imagen obtenida sensor Sentinel 2 del programa Copérnico de la Unión Europea en el año 2023 y empleando la herramienta Calculo de campo del programa ArcGis Pro se pudo sobreponerse una imagen sobre otra y de esa forma se pudo calcular los porcentaje de transgresión de la línea costera del 2023 con relación a la imagen del 2003.

Figura 6

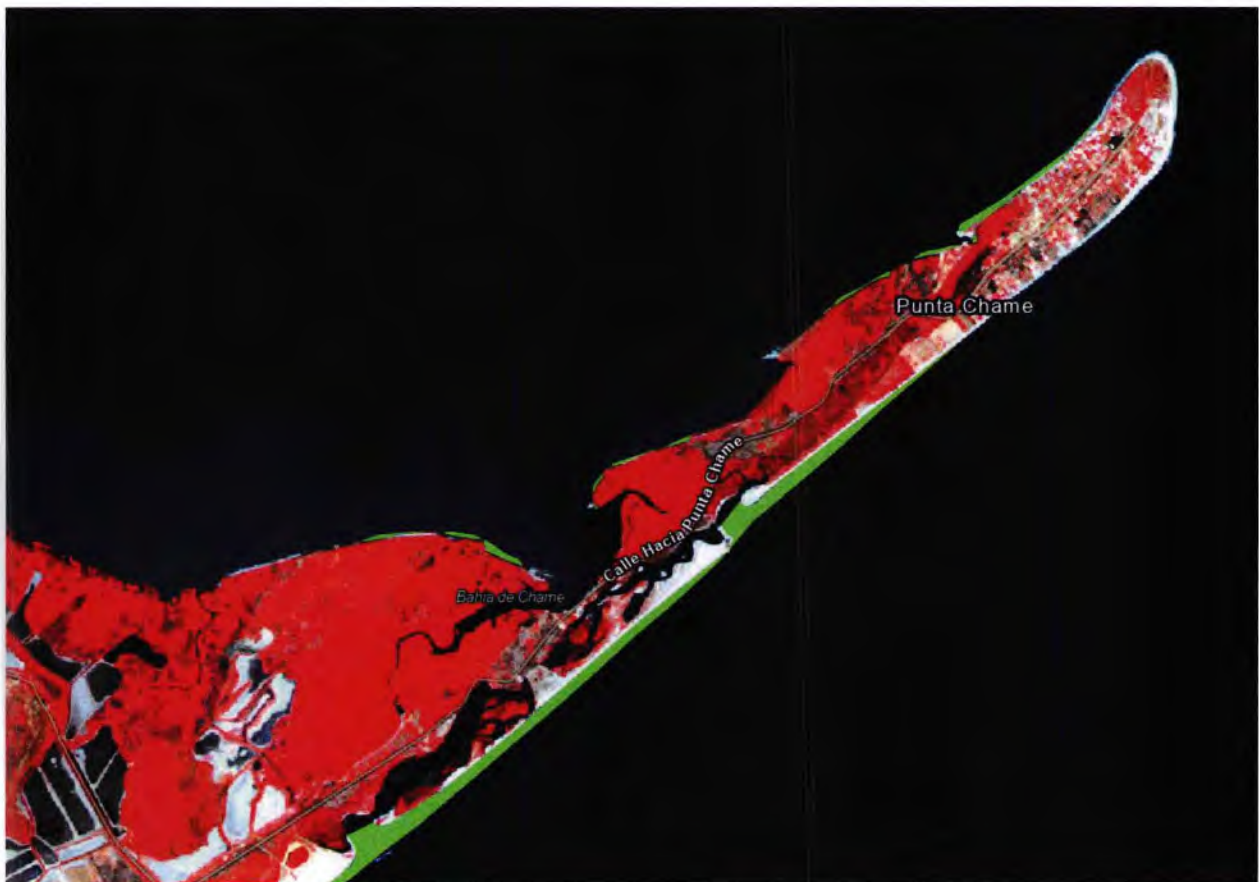
Imagen con los resultados al calcular el porcentaje de erosión de las líneas costeras.



Nota: Resultados al aplicar la herramienta geoinformatica Calculo de Campo de la plataforma georeferencial ArcGIS PRP

Figura 7

Imágenes sobre puestas de los mapas digitales del 2003 sobre 2023.



Nota. Las imágenes nos indican las áreas negativas de los bordes costero al norte y sur del cordón litoral, que nos permitió calcular el impacto erosivo en las playas.

Figura 8

Ortofoto de los manglares de Chame y sus alrededores.



Nota. Fotos tomadas en sobrevuelo y compiladas en el mapa geográfico (cortesía de Steve Paton del STRI, 2022).

Figura 9

Foto de escollera construida para proteger el poblado.



Nota. Se ha construido escollera de gran longitud con material rocoso y relleno bordeando la población como una altura de 2 metros como una medida de protección por el aumento del nivel del mar a las viviendas de la población pesquera.

Figura 10

Foto donde se puede apreciar la construcción de escollera para proteger el tramo del río.



Nota. Escollera con material rocoso que protege el recodo que se presenta en las llanuras aluviales propio de la forma de meandro en el río Chame cerca de la playa Malibú y próximo a la carretera que conduce al poblado en Punta Chame.

Figura 11

Foto de espigones que protegen un tramo de la carretera de acceso a la población.



Nota. Recientemente se ha colocado espigón con el objetivo de estabilizar el área de estero que por la tala de manglares la carretera se ve afectada por producida por el movimiento de arenas inducidas por las olas.

Figura 12

Imágen de construcciones impactadas por la dinamica litoral.



Nota. Se aprecia como el oleaje causa daños en las bases de las estructuras de viviendas que se han erigido sin respetar la línea de costa.

GLOSARIO

Acidificación de los océanos: Es el proceso por el cual los océanos bajan su pH por la absorción del dióxido de carbono de la atmósfera.

Antropogénico: Actividad o proceso resultado de la actividad humana.

ArcGIS PRO: Es un software de Sistema de Información Geográfica para crear, analizar, visualizar y compartir información geoespacial.

Bentónico: Organismos que viven en el fondo de los océanos, desempeñan un papel importante en los ecosistemas acuáticos.

Cordón litoral: Es una formación geológica que se encuentra en las zonas costeras y que consta de dunas que se forman a lo largo del borde de la costa. Desempeña un papel importante en la protección de las áreas costeras de la erosión causada por las olas y el viento.

Economía verde: Es el enfoque económico y de desarrollo sostenible que busca minimizar el impacto ambiental negativo.

Eoceno: Período geológico de la era cenozoica, duró entre 54 y 36 millones de años, se experimentó fluctuaciones climáticas.

Espigón: Estructura artificial construida en la costa para protegerlas de la erosión causada por las olas.

Estero: Es un cuerpo de agua de flujo lento que se ubica en zona costera.

Erosión: Es el proceso natural por el cual se desgasta y desprenden partículas de la superficie de la Tierra debido a la acción del agua y viento, con el tiempo cambia la morfología de la costa.

Esri Panamá: Empresa que se dedica al desarrollo y distribución de la plataforma ArcGIS e implementación con información geográfica.

Falso Color: Se utiliza para realzar características o detalles que no son visibles en el espectro de luz visible. Se asignan colores artificiales a datos para mejorar la visualización y el análisis.

Foraminífero: Microorganismos marinos unicelulares, que forman conchas calcáreas. Se emplean como indicadores de condiciones ambientales pasadas.

Gases de Efecto Invernadero: Son sustancias químicas que se encuentran en la atmósfera de la Tierra y tiene la capacidad de retener el calor solar.

Hipertermales: Se refiere a períodos de calor extremo.

Holoceno: Etapa del neogeno que inició hace 11,700 años hasta nuestros días, se caracteriza por un clima cálido y estable, época en la cual se desarrolla el hombre.

IPCC: Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático

Línea de costa: Es la franja de tierra donde se encuentra con el agua de la costa marítima. Esta línea puede cambiar con el tiempo debido a la erosión o sedimentación.

Mapa Digital: Es una representación gráfica de información geoespacial y presenta en formato electrónico.

Morfología: Se refiere a la forma, estructura y características de la superficie.

NASA: Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio

NOAA: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica

Ortofoto: Es la presentación fotográfica de una zona de la superficie terrestre, donde todos los elementos estarán en la misma escala.

OIEA: Organización de los Estados Americanos para la educación, la ciencia y la cultura.

Oligoceno: Período geológico entre 34 a 23 millones de años, el clima del planeta se enfrió a finalizando.

Paleoecología: Estudia el pasado ecológico, conociendo el ambiente ecológico para una correcta interpretación.

Permafrost: Es una capa de suelo que se mantiene permanente congelada durante un largo período de tiempo, es importante en el estudio de los climas del pasado ya que se almacenan grandes cantidades de carbono orgánico.

Planctónico: Son parte fundamental de la cadena alimentaria en los ecosistemas acuáticos.

Pleistoceno: Época perteneciente al Neógeno, inició hace 2.5 millones de años hasta 11,700 años, se caracteriza por las glaciaciones intermitentes en el planeta lo que influyó en las costas.

Punto de Inflexión: Se refiere al momento crítico en el que un proceso o un fenómeno cambia drásticamente su estado anterior.

Resiliencia: Se refiere a la capacidad de una comunidad para adaptarse y recuperarse de situaciones adversas.

Refugiado Climático: Es la persona que ha sido desplazada de su residencia habitual debido al cambio climático.

Riesgo: Situación que tienen el potencial de causar daño, pérdida o perjuicio.

Sostenible: Capacidad de mantenerse o perdurar a lo largo del tiempo. No compromete a futuras generaciones.

STRI: Instituto de Recursos Tropicales Smithsonian (en inglés), es una organización de investigación científica que estudia la biodiversidad y los ecosistemas en el trópico.

Vulnerable: Puede ser afectado negativamente por eventos adversos.