



Estudio del Cambio del Nivel del Mar en la Dinámica Costera de Punta Chame, Panamá

Study of Sea Level Change in the Coastal Dynamics of Punta Chame, Panamá

Ricardo Augusto Domínguez Álvarez
Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá
Ricardo.dominguez2@utp.ac.pa
<https://orcid.org/0000-0002-7227-8939>

Ariel Aizpurúa
Geógrafo Profesional de la empresa ESRI Panamá
aaizprua@esri.pa
<https://orcid.org/0000-0001-8737-3827>

Recibido: 15/4/2024 Aceptado: 7/6/2024
DOI: <https://doi.org/10.48204/reict.v4n1.5387>

Resumen

El planeta a lo largo de su historia ha experimentado cambios extremos en el clima. En el Pleistoceno, se sucedieron extensos períodos de glaciaciones e inter glaciaciones que cubrieron la mayor parte de América del Norte y Europa con gruesas capas de hielo de varios kilómetros de espesor. En el caso del Istmo de Panamá, la isla de Coiba se encontraba anexada al territorio continental. El estudio se basó en analizar el aumento del nivel del mar por efecto de las emisiones de GEI y la erosión en las costas de Punta Chame en el litoral Pacífico de Panamá. La metodología que se utilizó fue descriptiva con enfoque cuantitativo y experimental, recolectando datos prospectivos de manera transversal. Se midieron las áreas afectadas mediante la comparación de imágenes satelitales, consideramos el período comprendido del 2003 al 2023. Empleando el software ArcGIS Pro a fin de digitalizar los cambios en las líneas costeras y luego se aplicó la herramienta de Análisis de Diferencias Simétricas del mismo software para encontrar el

comportamiento de las líneas costeras con mayor efecto erosivo. El resultado de la comparación de imágenes fue la transgresión marina, con mayor énfasis en las líneas costeras nororiental y suroccidental de Punta Chame. Se concluye que el aumento del nivel del mar plantea un desafío inevitable para el istmo de Panamá, que cuenta con costas en el Mar Caribe y el Océano Pacífico, ambas presididas por llanuras costeras. El empleo del software ArcGIS Pro nos permitió obtener puntos de referencia para conocer de la transgresión marina en los últimos 20 años y calcular el porcentaje de erosión en las costas. El empleo de este software podría ser la alternativa para monitorar nuestras costas a falta de equipos de mareógrafos en ellas.

Palabras clave: línea costera, morfología, nivel del mar, transgresión marina.

Abstract

The planet throughout its history has experienced extreme changes in climate. In the Pleistocene, extensive periods of glaciations and interglaciations occurred that covered most of North America and Europe with thick layers of ice several kilometers thick. In the case of the Isthmus of Panama, the island of Coiba was annexed to the continental territory. The study was based on analyzing the rise in sea level due to GHG emissions and erosion on the coasts of Punta Chame on the Pacific coast of Panama. The methodology used was descriptive with a quantitative and experimental approach, collecting prospective data in a cross-sectional manner. The affected areas were measured by comparing satellite images, we considered the period from 2003 to 2023. Using the ArcGIS Pro software to digitize the changes in the coastlines and then the Symmetric Difference Analysis tool of the same software was applied. to find the behavior of the coastlines with the greatest erosive effect. The result of the image comparison was marine transgression, with greater emphasis on the northeastern and southwestern coastlines of Punta Chame. It is concluded that sea level rise poses an inevitable challenge for the isthmus of Panama, which has coasts in the Caribbean Sea and the Pacific Ocean, both characterized by coastal plains. The use of ArcGIS PRO software allowed us to obtain reference points to understand marine transgression in the last 20 years and calculate the percentage of erosion on the coasts. The use of this software could be the alternative to monitor our coasts in the absence of tide gauge equipment on them.

Keywords: Coastline, greenhouse gases, marine transgression, morphology, sea level

1. Introducción

Ciertas capas en la atmósfera actúan como barreras al calor atrapando y evitando que se disipe. Hay gases de larga duración que permanecen en la atmósfera durante períodos prolongados sin ser alterados por cambios de temperatura; estos se conocen como “forzantes” del cambio climático. Por otro lado, hay gases como el vapor de agua que, al ser afectados física o químicamente por los cambios de temperatura, se consideran “retroalimentadores” del proceso climático.

La causa del problema se da conocer en una investigación de la NASA (2022), sobre el aumento de los niveles de los cuerpos de agua por diferentes causas, entre ellas el deshielo en los polos, la condición térmica cada vez mayor de los mares y el retroceso de los glaciares, debido a la acción antropogénica por la quema cada vez mayor de combustibles fósiles que generan emisiones de GEI (principalmente el vapor de agua, metano, dióxido de carbono, el óxido nitroso y el cloruro carbonos) que actúa como una manta que envuelve al planeta atrapando el calor del Sol y dando como resultado el aumento de la temperatura. Estos hechos irrefutables es lo que originó la realización de esta investigación con el fin de determinar el impacto erosivo en las costas de Punta Chame.

El informe publicado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de la ONU conocido como el IPCC (2014) coincidieron que de limitarse el aumento de la temperatura global a un máximo de 1.5°C se evitaría los peores efectos que pondría causar el cambio climático y de esta forma mantener un clima tolerante y habitable, pero en caso contrario las consecuencias del problema descrito nos presentan un escenario muy diferente. Sí, se mantiene la trayectoria actual de crecimiento de las emisiones de Dióxido de Carbono se podría producir un aumento de la temperatura hasta 4.4°C para fines del siglo XXI. Lo que nos indica que estamos ahora en un punto de inflexión ante la amenaza de una catástrofe climática.

El objetivo de este estudio fue el de analizar la incidencia del aumento del nivel del mar sobre las líneas costeras y la búsqueda de un método para medir el avance erosivo en dichas costas.

“El calentamiento global no solo derrite el hielo del planeta, aumentando el volumen de los mares, sino que, al aumentar la sensación térmica de la atmósfera, el agua de los océanos se expande (dilatación térmica), ocupando estos más espacios”. Al ocupar más espacio, los océanos cubren las partes bajas de las costas. De acuerdo con las proyecciones (transgresión marina), para fines del siglo XXI, el mar habrá aumentado un metro en comparación al nivel actual. Este aumento

del nivel del mar tendrá un impacto mayor para el Istmo de Panamá a partir del 2025 (Ortiz, et al, 2020).

La realización de esta investigación se justificó por que la presencia de los GEI está conduciendo cada vez a un mayor aumento térmico en los cuerpos de agua, en consecuencia, ocuparán mayor espacio en las regiones costeras con topografía baja y son estas áreas precisamente las de mayores concentraciones poblacionales convirtiendo las mismas en riesgo a inundaciones fluviales y marinas.

Las características que justificaron este estudio se basan en la necesidad de alertar a las comunidades asentadas en las costas de Punta Chame por la vulnerabilidad a que están expuestas sus costas, el presente trabajo investigativo tendrá relevancia en la medida que las autoridades implementen monitoreo en tiempo real en otros sitios costeros que se encuentran igualmente en riesgo. Es importante aumentar campañas de información impulsando a la población a cambios culturales que conduzcan a una conciencia ciudadana en adoptar una verdadera huella de carbono cero. Las academias, los grupos organizados, las autoridades locales entre otros tenemos la responsabilidad de ser generadores del cambio que requiere la humanidad ante el innegable aumento de los niveles del mar y sus consecuencias, para ello se deberá participar en debates académicos sobre la discusión del conocimiento existente del problema y como enfrentarlo, se debe coordinar los esfuerzos encaminados en investigaciones científicas que aborden este problema desde escenarios con modelos teóricos a la toma de medidas prácticas en los sitios de mayor riesgo.

Es innegable el aumento del nivel del mar y que ella es la causa de la erosión en las costas en Punta Chame que se ha desarrollado en los últimos años, para constatar este hecho pudimos contar con imágenes satelitales del programa espacial Landsat 7 y 8 de la NASA e imágenes de Sentinel-2 del programa Copérnico de la Unión Europea, luego empleando el software cartográfico ArcGIS Pro y partiendo de los puntos de referencia topográficos (BM) marcados por el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, donde se presenta varios escenarios de polígonos que podrían ser sujetos a inundaciones debido al aumento en la temperatura atmosférica y su correspondiente aumento del nivel del océano Pacífico.

Antecedente a esta investigación son los trabajos presentados por el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales en Panamá: En declaraciones de los científicos O'Dea y Solano (2019)

indican las estimaciones que predicen, que los modelos más optimistas indican que a finales del siglo XXI el mar se elevaría a 50 cm, en la bahía de Panamá, ello sería suficiente para poner en peligro las viviendas de unas 50,000 personas que viven en el perímetro cerca de la línea de costa de la bahía de Panamá y en las desembocaduras de ríos que cruzan la ciudad de Panamá esto ha sido señalado por los científicos antes mencionados (Gordon, La Estrella de Panamá, 2021).

El fundamento teórico del proceso erosivo en las costas panameñas es causado por aumento de la temperatura en las aguas superficiales y sobre la corteza continental; las mismas son consecuencias de este fenómeno, los períodos de sequías intensas, escases de agua dulce, incendios forestales, inundaciones, deshielo de los polos y glaciares continentales, de los megas huracanes, el aumento en el nivel de los mares y disminución de la biodiversidad (Fischer, National Geographic, México).

Con la confección de mapas digitales apoyados en imágenes satelitales de la NASA y del programa Copérnico de los años comprendidos entre el 2003 al 2023 con temporalidad cada 5 años nos presentó la oportunidad de tener un punto de referencia y a partir de la primera línea de costa se pudo calcular los polígonos que ha sido impactado por la erosión marina en algunas áreas con mayor rigor en Punta Chame en las dos últimas décadas y servirán para prever situaciones futuras.

2. Materiales y métodos

2.1 Tipo de investigación cuantitativa

La cumbre sobre la Acción Climática en la sede de las Naciones Unidas ha indicado que 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 imágenes 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.

La metodología de la investigación tiene un enfoque cuantitativo y empírico al obtenerse datos prospectivos de forma transversal al presentar el cálculo de los polígonos levantados desde el año 2003 hasta el 2023. Ello ha permitido observar el impacto erosivo en las costas de Punta Chame tomando como referencia la imagen lograda con el satélite Landsat 7 de la NASA en el año 2003 (nuestro punto de referencia), y programas sucesivos de Landsat 8 y 9 compararlos con la imagen tomada por el satélite Sentinel-2 del programa Copérnico de la Unión Europea de los año 2018 al

2023. Estas imágenes se sobrepusieron (luego de modificar la resolución de las fotos de Landsat 7, 8 y 9 mejorando la amplitud de estas. Posteriormente se empleó la herramienta Differential Symmetry Analysis como parte del software ArcGIS Pro y con ella se pudo visualizar las áreas afectadas. En este caso buscábamos conocer las áreas negativas para estimar los porcentajes de erosión costera. Al comparar las imágenes antes mencionadas pudimos observar la magnitud de las áreas afectadas.

El programa ArcGIS Pro sirvió para el conocer el impacto erosivo en las costas de Punta Chame y permitiendo realizar análisis espaciales precisos e integrar datos de diferentes fuentes y así 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.

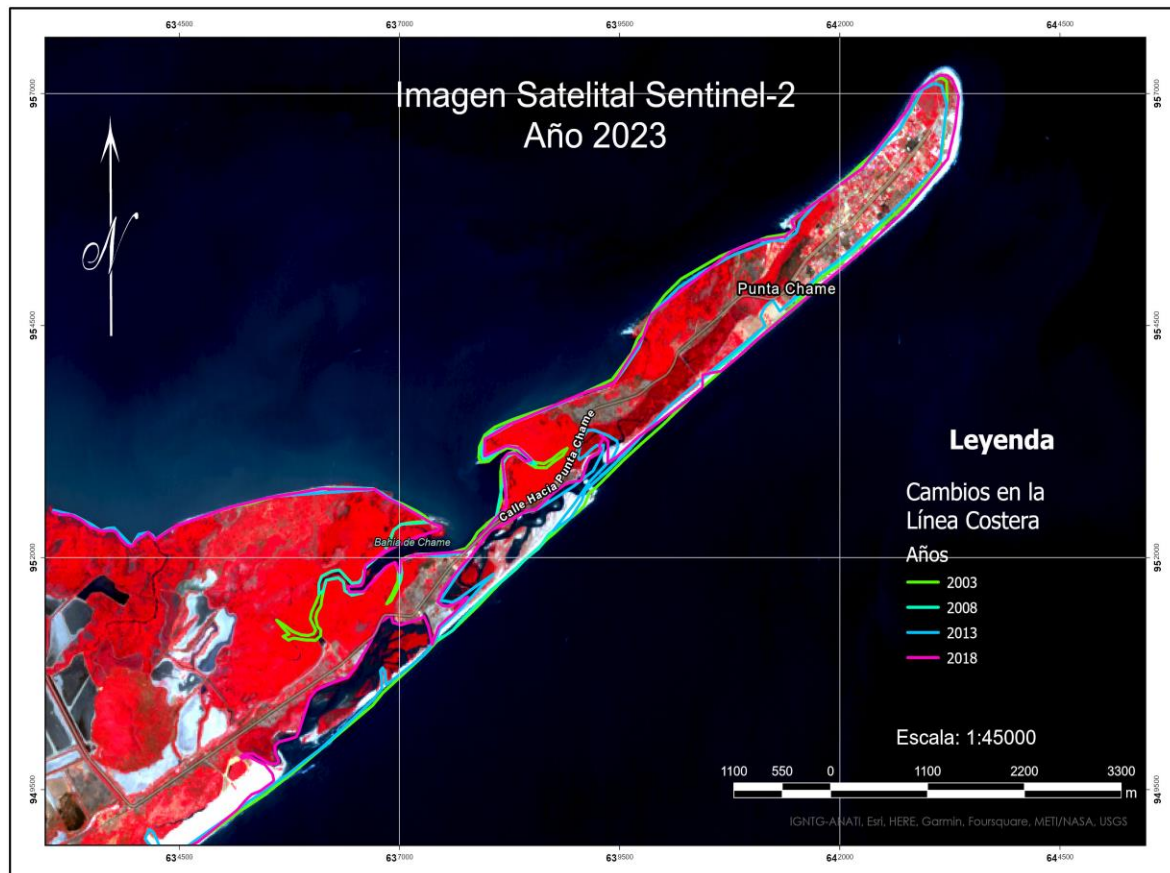
Cifuentes, M., (2016). En su tesis “Detección de cambios en la línea costera y los efectos del cambio climático relacionados con el incremento del nivel del mar: Distrito de Buenaventura” Se emplearon imágenes satelitales Landsat (1986, 2001 y 2015) para extraer las líneas costeras. Los cambios se estimaron 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. 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.

2.2 Unidad de Análisis

Este trabajo se realizó en las instalaciones de la empresa Esri Panamá empleando el software ArcGIS Pro, el cual pusieron a disposición para levantar la producción cartográfica digital; a través de su personal se pudo obtener las imágenes satelitales de Punta Chame desde los años 2003 hasta el 2023. El software se empleó en gabinete 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 (ver figura 1).

Figura 1

Imagen satelital Sentinel-2 año 2023



Nota. En esta imagen del sensor Sentinel 2 se recoge la información resultante de todas las imágenes obtenidas y se resalta con diferentes colores el estado actual de las líneas costeras. De esta forma podemos identificar como se ha transgredido los niveles marítimos ocasionando la erosión en los últimos 20 años.

2.3 Procesamiento y análisis de datos

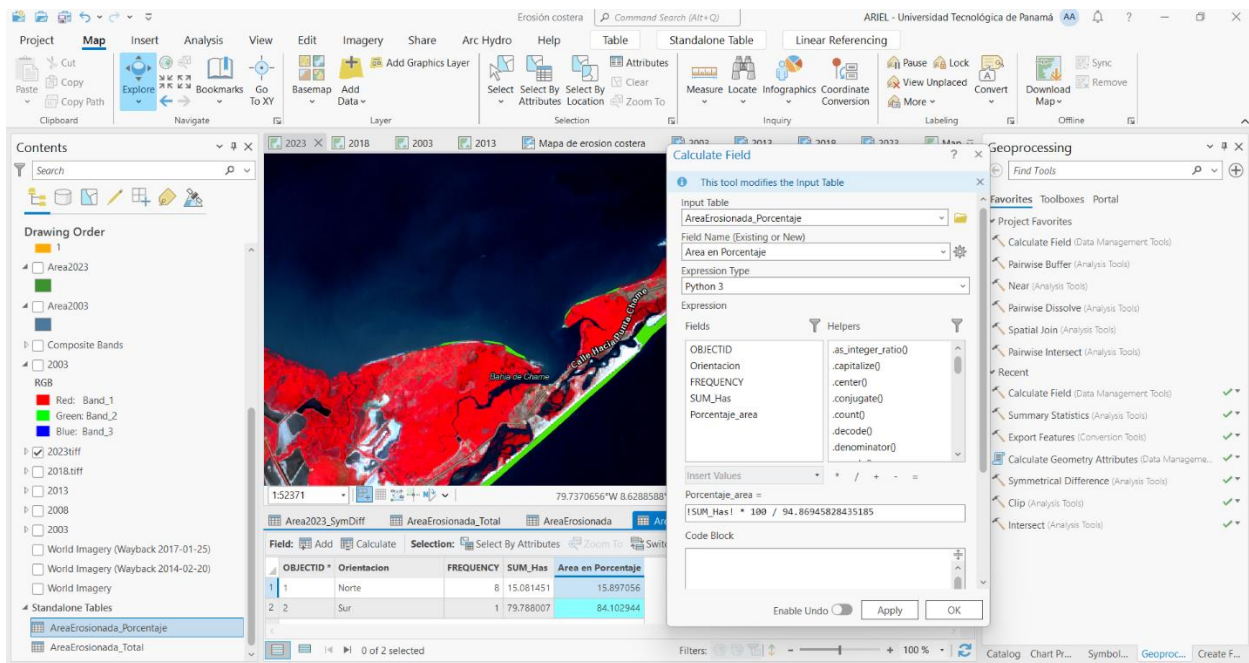
La herramienta empleada nos proporcionó un marco para lograr una edición rápida y eficaz de los datos. En este caso nos interesaba conocer las áreas negativas para estimar los porcentajes erosionados. Al comparar las imágenes citadas se pudo observar las áreas más erosionadas son: al nororiente y la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

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

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..

Para el trabajo se descargaron las mejores imágenes encontradas en Google para el debido análisis empleando el software ArcGIS Pro, se realizó una combinación de bandas para obtener 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 las líneas de costas y por último se empleó la herramienta Calculate Field del mismo software que nos permitió calcular el porcentaje de las áreas que había sido objeto de la erosión marina en las líneas costeras de mayor afectación; arrojando como información que al nororiente y al suroccidente de Punta Chame son las de mayor afectaciones y se encuentran en riesgo (ver figura 2).

Figura 2
Porcentajes de transgeneracional de la línea costera



Nota. Con el software Field Calculation se pudo conocer los porcentaje de transgresión de la línea costera desde el 2003 al 2023.

2.4 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 (Field Calculation) del software 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 1:45,000 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 Landast 7, 8 y 9 del portal de la nasa <https://glovis.usgs.gov/>. se logro confeccionar los mapas del 2003 hasta el 2013 cabe señalar que en las imágenes del 2013 se utilizó el sensor del Landast 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 obtener unas imagenes claras dentro de la zona de estudio.

3. Resultados

Al no contar con información cuantitativa sobre la transgresión marina por falta de un mareógrafo en el sitio. Se decidió con el apoyo de la empresa de servicios cartografía “Esri Panamá” empleando el programa ArcGIS Pro que nos permitió información geográfica de cómo fue evolucionando la erosión en las dos últimas décadas. Luego empleando la herramienta Field Calculation del Programa, que nos permitió el mismo software logramos alcanzar como resultados que en el sector nororiental de Punta Chame la erosión marina avanza en un 16% con respecto al punto de referencia que corresponde a su posición hace 20 años atrás y en sector suroccidental la erosión ha sido de mayor impacto alcanzando hasta un 84% considerando igual ubicación de la línea costera que existía en el año 2003.

Los resultados de nuestro trabajo después de analizar el impacto de la erosión en Punta Chame por medio de las imágenes satelitales que pudimos obtener desde el año 2003 hasta el año 2023 se

constata que la línea de costa ha sido erosionada por un proceso de transgresión marina con mayor énfasis al nororiente en un retroceso de su línea costera en 16% y al suroccidental de Punta Chame, la erosión es más agresiva perdiendo un 84% de territorialidad en los últimos 20 años. Esta referencia debe servir a las autoridades correspondientes y a sus pobladores para que tomen medidas precautorias con la finalidad de mitigar el impacto del aumento en el nivel del mar a tiempo. De no tomar correctivos a los posibles efectos que pudieran causar daños irreparables a ese sector de la geografía nacional de importancia turística. El método de emplear el software ArcGIS Pro con imágenes satelitales sirvió para tener un punto de referencia, en nuestro caso fue la imagen tomada con el programa Landsat del 2003 y luego comparar los polígonos geométricos para conocer como ha evolucionado de acuerdo a imágenes satelitales posteriores. Este método podría emplearse en otros estudios de áreas costeras que estén en riesgo de perder su territorialidad.

El software ArcGIS Pro y sus herramientas ofrecen una plataforma sólida para el análisis de líneas costeras y la cuantificación de la erosión utilizando imágenes satelitales, pero su eficiencia depende de los recursos disponibles y la calidad de los datos utilizados

4. Discusión

De acuerdo a la geomorfología litoral Punta Chame es una estrecha acumulación de arena que se ha formado en dirección oblicua a la costa del Pacífico de Panamá, la misma se denomina flecha litoral y se debe al proceso de la deriva litoral. Esta formación se adentra aproximadamente unos 25 kilómetros en el Golfo de Panamá, la misma tiene una orientación noroeste-sureste.

Punta Chame presenta áreas de manglares, especialmente en sus partes más estrechas y en los sitios costeros se encuentran con las aguas del golfo. Los manglares de este sitio son importantes para la biodiversidad local, proporcionando un hábitat esencial para el desarrollo aves y peces que conviven con otras especies marinas. Los manglares, en particular, son barreras de protección contra la erosión costera y sirven de reproductores para muchas especies de peces y crustáceos. Adicional la zona es un punto de llegadas de aves migratorias convirtiéndose en un importante sitio para la observación de aves.

En los últimos años Punta Chame se ha convertido en un destino turístico, por la combinación de poseer playas de sedimentos finos, condiciones favorables para el viento, accesibilidad vial y

una cercanía relativa a la ciudad de Panamá, convirtiendo sus playas en atractivo para el turismo local e internacional.

Con el creciente aumento del turismo, en Punta Chame hay un significativo aumento en la demanda de bienes inmuebles. Este aspecto puede considerarse positivo en términos económicos, pero también plantea desafíos para la gestión y conservación de los recursos naturales en la zona. Es importante profundizar los estudios sobre que tanto son vulnerables sus costas por la transgresión marina que ha sido más agresiva en los últimos años.

En este estudio arribamos que el aumento del nivel mar es un problema global con implicaciones especiales en las líneas costera como Punta Chame. Este fenómeno plantea desafíos y oportunidades para la gestión y planificación costera de la región.

4.1 Desafíos

Erosión costera: Al revisar las imágenes satelitales y con la aplicación del software Field Calculation podemos manifestar que Punta Chame, está en riesgo de sufrir una mayor erosión de seguir el aumento del nivel del mar. La erosión costera puede ser más agresiva por una mayor frecuencia de las olas que impactan directamente la costa.

Tomando en cuenta la baja elevación topográfica y la estreches de Puntaa Chame, es susceptible a inundaciones principalmente en momentos de mareas altas.

Los manglares y otros ecosistemas costeros son vulnerables al aumento del nivel del mar. Estos hábitas son importantes para el desarrollo de la biodiversidad local y son valiosos para la protección contra los fuertes vientos y olas.

El impacto socioeconómico basados en el desarrollo pesquero y la afluencia de turistas podrian verse seriamente afectados negativamente por la pérdidas de playas y áreas de manglares que sustenta la pesca local.

4.2 Oportunidades

Estamos a tiempo de invertir en infraestructura verde que puede mitigar los efectos del aumento del nivel del mar, la restauración de manglares y la construcción de arrecifes artificiales que proporcionarán barreras que minimizarían la erosión.

Se nos ofrece como sociedad la oportunidad de repensar y rediseñar el desarrollo constructivo y turístico en Punta Chame para que sea sostenible y resiliente. Regulaciones de construcciones más estrictas, zonas de no desarrollo constructivo y elevar las infraestructuras en puntos críticos.

Para los desafíos y las oportunidades que se presentan en Punta Chame es necesario implementar estrategias de gestión y planificación costera a largo plazo, pero se debe iniciar prontamente. Esto podría incluir el no uso de las tierras que pueden estar en riesgo de acuerdo al aumento proyectado del nivel del mar, la necesidad de continuar con la implementación de infraestructuras que puedan aumentar la resiliencia costera y la aplicación de políticas encaminadas a fomentar la restauración de hábitats naturales. Es vital la colaboración entre el gobierno y las comunidades locales, gobierno nacional, la academia, organizaciones no gubernamentales para juntos gestionar los impactos del aumento del nivel del mar en la región.

5. 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 el planeta por la acción de los GEI, 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 e iniciar el calculo de los porcentajes de la erosión en las costas de Punta Chame en los últimos 20 años. Las ventajas de utilizar el software ArcGIS Pro como herramienta para medir líneas costeras y cuantificar la erosión en una región específica permitió integrar fácilmente datos de imágenes satelitales en diferentes formatos y resoluciones como fue en nuestro estudio, imágenes obtenidas del programa espacial de la NASA, los satelites Landsat 7, 8 y 9 las imágenes de Sentinel-2 del programa Cópernico, para poder analizar, comparar y dar seguimiento en el tiempo.

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 costera en algunos sectores del litoral debido a la erosión marina, este evento ya presenta zozobras a los pobladores que ven en riesgos sus bienes para los próximos años de no implementarse algunos controles con la finalidad de evitar la pérdida de espacios con las concebidas perjuicios económicos y sociales a las comunidades allí asentadas.

El tema de esta investigación se sitúa como un problema de emergencia para el estado panameño por las consecuencia que comenzamos a sentir debido al aumento del nivel del mar, en el caso particular de Punta Chame de acuerdo al mapa de la universidad de Utah al 2050 de no tomarse

los correctivos a tiempo la flecha litoral denominada Punta Chame tiende a desaparecer bajo las aguas del océano Pacífico.

El estado tiene una mora con en el establecimiento de estaciones de monitoreo en puntos críticos en tiempo real en varios puntos costeros del istmo que se encuentran en riesgos de inmersión territorial parcial, en especial en Punta Chame. Ello es así porque el sitio posee elevaciones de apenas 5 metros snm. Sirva el llamado principalmente a las academias públicas para que unan esfuerzos con miras a realizar investigaciones de mayor precisión de las mediciones de temperaturas, salinidad y la acidez de nuestros cuerpos de agua. Se debe aprovechar al máximo las capacidades que proporciona el software ArcGIS Pro y sus herramientas, para ello los usuarios requerirán habilidades avanzadas en análisis geoespacial y programación en Python. Estos aportes ayudaran al Estado en la toma de decisiones y los correctivos necesarios ante la vulnerabilidad en que se encuentran nuestras costas.

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento a los ingenieros Emilce Mejía y Oscar Vega directivos de la empresa cartografica ESRI Panamá, a la Licenciada Maribel Pinto del departamento de Cambio Climático del Ministerio de Ambiente de Panamá, al ingeniero Rolando Velásquez del Instituto Geografico Nacional “Tommy Guardia”, a los Doctores Humberto Garcés y Beatriz Medina de la facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Marítima Internacional de Panamá, al Doctor Jorge Martínez de la facultad de ingeniería de la Universidad de Panamá por último a mis colegas y alumnos del departamento de Geociencias Aplicadas y Transporte de la Universidad Tecnológica de Panamá cuya colaboración y apoyo fueron esenciales en cada etapa de este estudio desde su concepción hasta la redacción final de este artículo científico.

Referencias Bibliográficas

- Álvarez, J. (2021). tesis doctoral. El uso educativo de las infraestructuras de datos espaciales (IDE) para mejorar la responsabilidad social de los ciudadanos del siglo XXI sobre el territorio. Universidad Complutense de Madrid, España).
- 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-america-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).

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/>

Gordón, C., (2021, 21 de agosto). Aumento del nivel del mar en el contexto de la ciudad de Panamá. Columna de opinión, La Estrella de Panamá. <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>

IPCC, (2014), Quinto Informe de Evaluación, sobre el Cambio Climático, ONU. <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change>

Lizano Araya, M. & Lizano Rodríguez, O. (2020). Escenarios ante el aumento del nivel del mar por cambio climático para la localidad del Cocal, Puntarenas, Costa Rica. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica. N°. 26. Universidad de Costa Rica. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7939047>

Ministerio de Ambiente (2021). Segundo Informe Bienal de Actualización. República de Panamá. https://dcc.miambiente.gob.pa/wp-content/uploads/2021/07/Segundo_Informe_Bienal_content/uploads/2021/07/Segundo_Informe_Bienal_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/>

National aeronautics and space administration, (2022). The causes of climate change: Vital Signs of the Planet, (2022). <https://climate.nasa.gov/causas/>

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>

Ortiz, O., Moreno del Niño, Y., Vargas, U., De la Cruz, V., y Lanuza-Garay, A., (2020), Situación Actual de las Áreas Protegidas de la Provincia de Colón, Panamá: Marco Descriptivo para una Mejor Gestión y Manejo. *Tecnociencias*, 22(2), p151-174. <https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/1367>

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: 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>