

OMAR JARAMILLO RODRÍGUEZ   WLADIMIR MEJÍA AYALA 
PEDRO SIMÓN LAMPREA QUIROGA 

ARTÍCULO ORIGINAL

Afectaciones potenciales por el ascenso del nivel del mar en los hospedajes con destinación turística en Santa Marta, Colombia

Recepción: 6 de junio de 2023 ▶ Evaluación: 20 de septiembre de 2023 ▶ Aceptado: 3 de julio de 2024

Sugerencia de citación. Jaramillo, O., Mejía, W., & Lamprea-Quiroga, P. S. (2024). Afectaciones potenciales por el ascenso del nivel del mar en los hospedajes con destinación turística en Santa Marta, Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 29(2), 1-21. <https://doi.org/10.19053/uptc.01233769.15366>

Resumen. Para definir las posibles afectaciones que se presentarían por el ascenso del nivel medio del mar derivado del cambio climático en el municipio de Santa Marta, capital del departamento del Magdalena, se realizó este estudio con base en el conocimiento detallado de las geoformas de origen litoral reciente a subreciente, su dinámica y su evolución geomorfológica como aspectos fundamentales de la susceptibilidad frente al cambio climático. Para esto, se emplearon sistemas de información geográfica (SIG) e imágenes de sensores remotos de la costa, además de evaluar las características geológicas, morfodinámicas y ambientales de la zona costera. Aunque existen múltiples efectos potenciales, esta investigación hace énfasis en la inundación litoral y su afectación sobre los hospedajes con destinación turística, los cuales se encuentra asociados principalmente a la modalidad de turismo de sol y playa. Con la zonificación de la susceptibilidad por inundación marina, se encontró que el 0,91% del municipio presenta alguna categoría de susceptibilidad a las inundaciones. Sin embargo, se logró establecer que el 55,12% de la infraestructura hotelera asociada al hospedaje se encuentra en zonas que potencialmente sufrirán afectación por el ascenso del nivel medio del mar durante el presente siglo.

Palabras clave: cambio climático, ascenso del nivel del mar, geomorfología, susceptibilidad, inundación litoral, turismo.

- 1 Geógrafo, M. Sc. en Geografía. Investigador adscrito al grupo de investigación en Geografía y Ordenamiento Territorial (GEOT) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Bogotá, Colombia. Autor para correspondencia. omarjaramillo.rodriguez@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-0741-9499>
- 2 Ing. agroforestal y Ph. D. en Geografía. Coordinador de Estudios de Posgrado en Geografía de la UPTC en convenio con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). wladimir.mejia@uptc.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-4091-9885>
- 3 Ing. forestal y Ph. D. en Geografía. Investigador adscrito al grupo de investigación GEOT de la UPTC, Bogotá, Colombia. plamprea@yahoo.com. <https://orcid.org/0000-0003-4641-624X>



Potential Affects by the Rise of Sea Level in Accommodations for Tourist Destination in Santa Marta, Colombia

Abstract. To define the possible effects that would occur due to the rise in the average sea level derived from climate change in the municipality of Santa Marta, capital of the department of Magdalena, the study was carried out based on detailed knowledge of the geofoms of recent coastal origin to subrecent, its dynamics and geomorphological evolution as fundamental aspects to susceptibility to climate change. For this, geographic information systems, GIS, and remote sensing images of the coast were used, in addition to evaluating the geological, morphodynamic and environmental characteristics of the coastal zone. Although there are multiple potential effects, this research emphasizes coastal flooding and its impact on tourist accommodation, which is mainly associated with the form of sun and beach tourism. With the zoning of susceptibility to marine flooding, it was found that 0.91% of the municipality has some category of susceptibility to flooding. However, it was established that 55.12% of the hotel infrastructure associated with lodging is located in areas that will potentially be affected by the rise in average sea level during this century.

Keywords: *climate change, sea level rise, geomorphology, susceptibility, coastal flooding, tourism.*

Potenciais efeitos da elevação do nível do mar nas acomodações de destinos turísticos em Santa Marta, Colômbia

Resumo. Para definir os possíveis efeitos que ocorreriam devido ao aumento do nível médio do mar derivado das mudanças climáticas no município de Santa Marta, capital do departamento de Magdalena, o estudo foi realizado com base no conhecimento detalhado das geoformas das regiões costeiras recentes. Origem ao subrecente, sua dinâmica e evolução geomorfológica como aspectos fundamentais da susceptibilidade às alterações climáticas. Para isso foram utilizados sistemas de informação geográfica, SIG e imagens de sensoriamento remoto do litoral, além de avaliar as características geológicas, morfodinâmicas e ambientais da zona costeira. Embora existam múltiplos efeitos potenciais, esta investigação dá ênfase às inundações costeiras e ao seu impacto no alojamento turístico, que está principalmente associado à forma de turismo de sol e praia. Com o zoneamento de susceptibilidade às inundações marinhas, constatou-se que 0,91% do município possui alguma categoria de susceptibilidade às inundações. No entanto, constatou-se que 55,12% da infraestrutura hoteleira associada ao alojamento está localizada em zonas que serão potencialmente afetadas pela subida do nível médio do mar durante este século.

Palavras-chave: *mudança climática, aumento do nível do mar, inundações, turismo.*

Introducción

El cambio climático afectará diferencialmente los diversos espacios alrededor del mundo causando impactos socioeconómicos y ambientales de considerables proporciones que se sentirán en sectores económicos claves como el turismo (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático [IPCC], 2019). No obstante, la significación del riesgo no es solo para los habitantes de las áreas donde se presentan las amenazas, sino que los tomadores de decisiones, los formuladores de políticas públicas y los ejecutores de las gestiones del riesgo se convierten en actores clave que inciden en la vulnerabilidad (Romo, 2023). Por estas y otras razones, los resultados obtenidos de la presente investigación permiten identificar las afectaciones potenciales de los procesos que conlleva el ascenso del nivel medio del mar (ANM), en un territorio donde la exposición a este fenómeno hace que las actividades turísticas tengan que adaptarse para enfrentar el nivel de susceptibilidad de la mejor forma, con los ajustes adecuados por parte de los diferentes involucrados.

A nivel nacional, diferentes autores establecen que los cambios del clima impactarán los ecosistemas, alterarán las relaciones sociedad-naturaleza que se tienen establecidas en la actualidad y, a través de ello, afectarán los sistemas socioeconómicos (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam], 2001; Pérez et al., 1998; Pabón, 2012; Ochoa & Poveda, 2008; Lau et al., 2011; García et al., 2012; Alarcón & Pabón, 2013; Alarcón, 2017; Ideam, 2017; Bernal et al., 2022). Tales autores, desde diferentes ópticas, destacan la alta vulnerabilidad de Colombia derivada de los cambios globales en la temperatura y otras variables climáticas que conllevarán cambios en la humedad del suelo, incrementos en el nivel medio del mar y la ocurrencia más frecuente y severa de eventos extremos como inundaciones y sequías.

El estudio de los procesos de ANM es de vital importancia en el contexto actual del cambio climático. De-

bido al calentamiento global, se estima un incremento generalizado del nivel medio del mar mundial para los próximos años (IPCC, 2001; 2014; 2021). Según el IPCC (2014), el nivel medio del mar ha aumentado 19 cm en el periodo 1901-2010, a razón de 1,7 mm/año de media entre 1901 y 2012. Para el futuro, se espera que el ascenso del nivel medio del mar sea más acelerado debido al acentuado incremento de los gases que refuerzan el efecto invernadero y a su efecto retardado y acumulativo sobre la expansión térmica de los océanos y mares (IPCC, 2021), lo cual quiere decir que la expansión térmica seguiría produciendo un ascenso del nivel del mar durante los siguientes siglos (Dabrio & Polo, 2015).

Las proyecciones del ANM a nivel global señalan que el incremento esperado para mediados del presente siglo en escenarios de bajas emisiones (SSP1-1.9) está entre 0,15 y 0,23 m y en escenarios de altas emisiones (SSP5-8.5) está entre 0,20 y 0,30 m, mientras que al finalizar el siglo XXI se proyecta que el aumento puede estar entre 0,28 a 0,55 m y 0,63 a 1,02 m para dichos escenarios (IPCC, 2021).

Las características ambientales que hacen de Santa Marta un destino turístico apreciado por sus extensas playas de arenas blancas, su agradable temperatura y su diversidad de paisajes también generan unos factores de vulnerabilidad al cambio climático. Por ejemplo, sobre la zona litoral se concentran los desarrollos urbanos y turísticos, los cuales, además de presentar una mayor densidad poblacional (>110 hab./ha), sobre todo en el norte de la ciudad (Alcaldía Distrital de Santa Marta, 2020), exigen mayor cantidad de bienes y servicios ambientales (Bahamón et al., 2009). Las consecuencias del cambio climático llegarían a ser críticas si se mantienen las tendencias en el futuro porque se agudizarían los problemas ambientales regionales al someter a una presión aún mayor las actuales estructuras sociales, políticas y económicas (Convención de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación [UNCCD], 2014). En este contexto, el turismo que se desarro-

lla en el municipio de Santa Marta afronta grandes retos ante las evidencias y perspectivas asociadas al cambio climático.

Según el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (2024), el área aprobada bajo licencia de construcción con destino a alojamiento en el departamento del Magdalena, si bien presentó una disminución del 86,5% entre los años 2021 a 2022 (97.758 m² a 13.196 m²), a noviembre de 2023 presenta una recuperación en parte de la dinámica habitacional y alcanzó los 50.719 m². Tales cifras se encuentran relacionadas con la cantidad de visitantes internos que salieron de Santa Marta en los años 2019 (27.600), 2020 (10.300), 2021 (19.500) y 2022 (27.400), mientras que los pasajeros aéreos nacionales se incrementaron del año 2021 (1.258.560) al 2022 (1.820.432).

Barton (2009) establece la importancia de las ciudades en el contexto de cambio climático y el rol de la planificación estratégica para reducir las consecuencias nocivas y adaptarse a los impactos que ya están en curso. Esta visión desde un enfoque geográfico con una perspectiva de países en desarrollo establece la planificación territorial como un ejercicio de anticipación para reducir riesgos y, a la vez, promover el bienestar.

Tomando en cuenta el contexto anterior, el objetivo de la investigación fue identificar la susceptibilidad frente a las potenciales afectaciones asociadas al ANM derivado del cambio climático en la costa del municipio de Santa Marta.

Localización de la zona de estudio

El municipio de Santa Marta fue elevado a la categoría de distrito turístico, cultural e histórico (DTCH-SM)¹ mediante el acto legislativo 3 de 1989. Está ubicado en el norte de Colombia y es la capital del departamento del Magdalena (Figura 1). La mayor concen-

tración urbanística del municipio se localiza entre las estribaciones del macizo de la Sierra Nevada de Santa Marta y el litoral caribe.

El municipio alberga una población proyectada para el 2024 de 501.744 habitantes en la cabecera y 59.537 personas en los centros poblados y el área rural dispersa (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2022). De acuerdo con la cartografía de la división política administrativa de Colombia (DANE, 2021), abarca elevaciones entre el nivel del mar y los 5.775 m s. n. m. en el pico Colón, el cual alberga un área glaciaria a escasos 48 km. La cabecera urbana se localiza sobre la costa del mar, en la parte occidental del municipio, aproximadamente a los 11° 14' 01" de latitud norte y 74° 12', 50" de longitud oeste, dentro de la cuenca baja del río Manzanares, con una extensión cercana a los 2.350 km² (23.500 hectáreas). La zona litoral de Santa Marta presenta una morfología abrupta con numerosas bahías y cabos que deben sus formas a la disección del macizo rocoso a causa de los drenajes que descienden de la sierra nevada en su recorrido al mar.

Según el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (Invemar, 2018), el ciclo anual del oleaje en el departamento del Magdalena presenta un comportamiento bimodal asociado con los vientos alisios del noreste. El primer periodo presenta vientos y oleaje intensos con altura media de ola significativa en la bahía de Taganga de entre 1,6 m en mayo a 2,25 m en febrero (bajas precipitaciones, temporada seca) y en el segundo periodo se presentan vientos y oleajes débiles, de cerca de 1,3 m en octubre, sin exceder los 1,8 m en diciembre (altas precipitaciones o temporada húmeda). La erosión crítica se observa sobre el km 19 y afecta la vía que conduce de Santa Marta a Barranquilla, con valores máximos de -24,75 m/año. Hacia la bahía de Santa Marta, la erosión depende de la geomorfología y la dinámica costera local, con registros de retroceso de la línea de costa de entre -0,36 y -3,10 m/año.

¹ En adelante, cuando se haga referencia al municipio de Santa Marta, se utilizará el acrónimo DTCH-SM o Distrito.

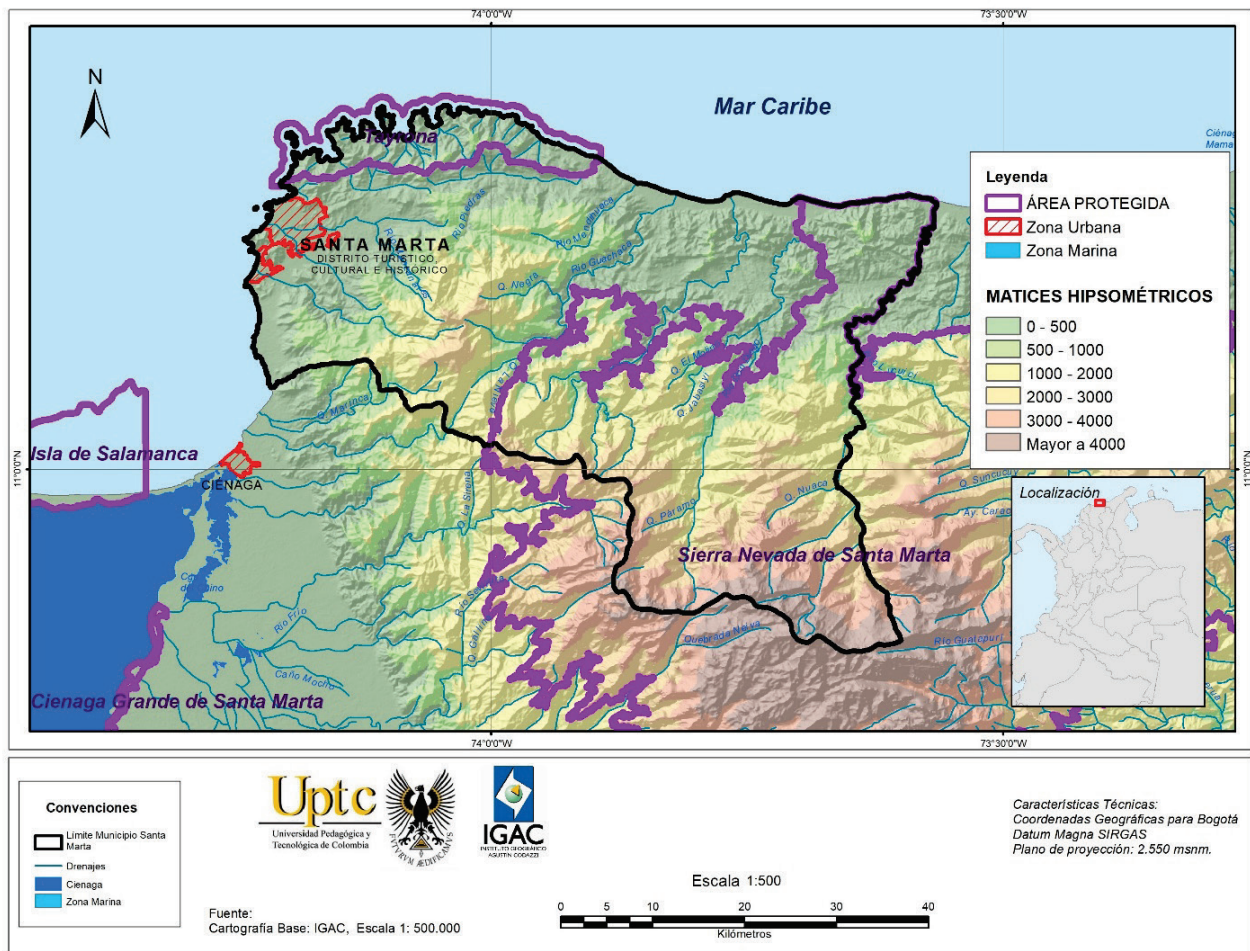


FIGURA 1. Localización de la zona de estudio

FUENTE: elaboración propia.

La precipitación mensual (Ideam, periodo 1981-2010, citado en Invepar, 2018) es menor a 30 mm de enero a marzo en el Parque Tayrona, se incrementa a 130 mm en mayo y sigue con un leve descenso en junio y julio para mostrar su nivel mensual máximo en octubre, con cerca de 260 mm. En el Aeropuerto Simón Bolívar (sur del municipio), se registran valores inferiores a 15 mm de enero a abril, con similar ritmo al mostrado, pero sin superar los 130 mm multianuales en octubre.

La topografía marina, derivada de la presencia de la sierra, facilitó el desarrollo portuario del municipio al permitir el calado natural para el arribo de grandes buques. Esta condición es estratégica para el comercio de Colombia. Por ejemplo, por los puertos multimodales de Santa Marta se exporta principalmente ba-

nano, aceite de palma, uchuva, flores y carbón hacia la Unión Europea y Estados Unidos. Es el segundo puerto en operaciones de transporte marítimo internacional en el país, con un 18,6% del total nacional, y registra 33.150.591 t con un valor FOB² aproximado de 3.600 millones de USD (Dirección General Marítima de Colombia [Dimar], 2023). No obstante, las implicaciones por el ANM estimadas por el Ministerio de Transporte et al. (2017) alcanzarían un 3% del área portuaria, un 20% de las vías de la zona y una afectación respecto a la exposición de la infraestructura portuaria cercana a los 600 millones de dólares.

2 El valor FOB (*free on board*, libre a bordo) es el precio de venta de los bienes puestos en un medio de transporte marítimo sin incluir el valor del seguro y los fletes.

Marco de referencia

Los estudios sobre el clima a partir de las redes hidrometeorológicas localizadas a nivel global que se han realizado en las últimas décadas muestran que el clima está cambiando y que estas variaciones se encuentran muy ligadas a la influencia del hombre, tal como lo evidencian los informes del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), que recogen los conocimientos científicos relativos al tema alrededor del planeta (IPCC, 2019).

Por su parte, el turismo es una actividad que presenta una alta exposición a los efectos del cambio climático. Las playas asociadas a zonas costeras son uno de los grandes atractivos que seducen año tras año a millones de turistas en el mundo; no obstante, la erosión de estas por el ascenso del nivel medio del mar, el aumento de temperaturas y la intensificación de los procesos de variabilidad climática asociados al calentamiento global podrían generar una alta vulnerabilidad de la población que depende de esta actividad económica (Ayala et al., 2003). Es procedente destacar que el enfoque de análisis se orientó con base en los conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o mayor susceptibilidad de las geoformas al daño y la afectación potencial a la que podrían estar sometidos los hospedajes con destinación turística en función de la capacidad para afrontar el ascenso del nivel medio del mar, según la definición del IPCC (2023).

De acuerdo con Hernández et al. (2019), las afectaciones debido a las amenazas por el ANM y la erosión costera en los hábitats humanos, principalmente en la infraestructura portuaria y las actividades productivas como el turismo en los municipios costeros de Colombia, presentan similitudes con los impactos del cambio climático en países como Venezuela, Uruguay y Perú.

No obstante, y a pesar de que Colombia presenta una alta vulnerabilidad al cambio climático, los estudios de los impactos potenciales sobre el sector turístico en esta zona no se han desarrollado a profundidad, como en el caso de Cartagena (Bahamón et al., 2009).

Las investigaciones en Colombia se han desarrollado a escalas regionales y nacionales y se focalizan en el inventario de gases de efecto invernadero, las proyecciones de cambio climático e indicadores municipales de vulnerabilidad, como los desarrollados en las Comunicaciones Nacionales de Cambio Climático (CNCC), elaboradas por el Ideam, así como los generados en zonas costeras por Pabón y Lozano (2005) y el Invemar (2017).

En el litoral caribe colombiano se han desarrollado estudios regionales y locales sobre los factores de pérdida de terreno por el ANM, tales como la erosión y la inundación. Estos trabajos se han desarrollado predominantemente a escalas pequeñas 1:100.000. Sin embargo, esta información no es lo suficientemente detallada para analizar con exactitud temática los impactos sobre la actividad turística. Entre las investigaciones que abordan las afectaciones potenciales del ascenso del nivel del mar en las zonas costeras se encuentran las de Robertson y Martínez (1999), Martínez (2001), Robertson et al. (2003), Correa y Lurduy (2008), Invemar (2010; 2017) y Hernández et al. (2019), quienes se han orientado a la evaluación de la vulnerabilidad de la zona costera ante los impactos del ANM con información de carácter regional o nacional.

Con base en la revisión adelantada por el Invemar (2010) de los registros de los datos del mareógrafo de Cartagena, se reportaron variaciones medias de 5,6 mm/año de 1951 a 2000. No obstante, Lerma et al. (2008, citados en Invemar, 2010) sugieren que un ritmo de elevación plausible del nivel del mar, a un horizonte al año 2030, tendría una media cercana 2,8 mm/año, lo que se traduce en un aumento en el nivel del mar para el año 2100 de más de 26 cm.

Específicamente en el DTCH-SM, Ruiz (2018) analizó las terrazas marinas en playa Macuaca y playa Brava en el Parque Nacional Natural Tayrona con el fin de asociarlas a cambios del nivel del mar. Sin embargo, su orientación estaba enfocada en la datación y caracterización de antiguos niveles del mar.

En algunos trabajos se ha realizado una evaluación para comprender los impactos y afectaciones del cambio climático sobre el turismo, como en el estudio de Bahamón et al. (2009), en el cual definieron unos lineamientos generales a 2030 para la adaptación al riesgo por el ANM en la ciudad de Cartagena. Adicionalmente, Hernández et al. (2019) identificaron los impactos del cambio climático en la zona costera de Colombia a partir de indicadores ambientales y socioeconómicos, y algunos de estos evalúan la exposición del sector turístico a la erosión e inundación litoral asociada al ANM.

Metodología

Caracterización de la zonificación geomorfológica en Santa Marta

Las repercusiones del ANM en el distrito de Santa Marta se analizaron con base en la susceptibilidad de las geoformas litorales a las inundaciones tomando en cuenta las propuestas de Nicholls et al. (1995), Robertson et al. (2003) y Ramos et al. (2016), quienes

analizan los factores de pérdida de terreno a partir del concepto de susceptibilidad a la inundación litoral.

La caracterización geomorfológica se generó con énfasis en las zonas altitudinalmente cercanas a la línea de costa del DTCH-SM, por debajo de los 100 m s. n. m. En estas zonas predominan las geoformas aluviales y litorales, las cuales tendrán las mayores afectaciones por el ascenso del nivel del mar.

Elaboración de la geomorfología litoral.

Dada las deficiencias en la información topográfica detallada para Santa Marta, especialmente la referida a la cota de un metro sobre el nivel del mar, se recurrió a la zonificación geomorfológica a escala 1:25.000, como una importante base para la evaluación de las afectaciones potenciales del actual ANM.

La clasificación utilizada en la zonificación geomorfológica tomó en cuenta las principales características morfológicas y genéticas, las cuales podían ser detectadas a partir de la interpretación de fotografías aéreas, el análisis de fuentes de información secundaria y la revisión en campo. En la Tabla 1 se describen los insumos de información analizados para la fotointerpretación.

TABLA 1. Insumos usados en la fotointerpretación

| Tipo | Vuelo | Número de fotografías o planchas | Escala o resolución | Año |
|--|--|----------------------------------|---------------------|----------|
| Fotografías aéreas análogas (IGAC) | M-1453 | 47928 a la 47932 | 1:60.000 | 1974 |
| | M-27 | 2446 a la 2444 | 1:60.000 | 1954 |
| Base cartográfica digital integrada (IGAC) | Geodatabase integrada (datos abiertos) | | 1:500.000 | 2009 |
| | | | 1:100.000 | |
| | Geodatabase integrada | | | 1:25.000 |
| | | | | 1:10.000 |
| | | | 5 metros | 2007 |
| Imagen SPOT | | | 7 metros | 2009 |
| Imagen RapidEye | | Banco de imágenes IGAC | | 2010 |
| Ortofotomosaico digital | | | | 2014 |
| MDT (Aster) | | | 1 metro | |
| Imagen de satélite del portal Google Earth | | | | 2020 |
| Imagen de satélite del portal Bing | | | | |
| Imagen de satélite Base Map de ArcGis | | | 1 metro | 2019 |
| Mapa geomorfológico (Ingeominas) | | 11; 12; 18; 19 | | 2018 |
| Mapa geológico (Ingeominas) | | 11; 12; 18; 19 | 1:100.000 | |
| Mapa geomorfológico del proyecto Ideam-UNAL (1998) | | --- | | 1997 |

NOTAS: MDT: modelo digital del terreno (DTM); Ingeominas: Instituto Colombiano de Geología y Minería, hoy Servicio Geológico Colombiano; UNAL: Universidad Nacional de Colombia.

FUENTE: elaboración propia.

La interpretación se realizó con apoyo del MDT proveniente del proyecto ALOS PALSAR (12,5 m). Este satélite avanzado de observación de la Tierra (ALOS) de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA) permite identificar características altitudinales confiables a nivel regional.

Susceptibilidad a la inundación litoral. El análisis de inundación se evaluó con base en el escenario SSP5-8.5 generado por el IPCC (2021). Esto permite contar con un margen de seguridad ante los eventuales impactos del ANM.

Para evaluar las afectaciones potenciales del ANM se analizó la susceptibilidad de las zonas costeras a la inundación, que se relaciona directamente con el microrrelieve de la zona litoral, la posición altitudinal aproximada de la geoforma, las características texturales y geométricas de la unidad y su relación con la dinámica marina. Estos aspectos se generaron tomando como referencia la clasificación geomorfológica de sistemas morfogénicos propuesta por el Ideam y la Universidad Nacional de Colombia (1998), mediante la cual se conceptualizan las unidades geomorfológicas para permitir ver en forma integral la susceptibilidad a la inundación litoral por el ANM. A continuación, se describen los ambientes morfogenéticos del municipio

Ambiente antrópico. Corresponden a geoformas creadas por la intervención del hombre sobre el terreno. En la mayoría de los casos están asociadas a obras de ingeniería, disposición de desechos o escombros y adecuación de muelles que modifican la morfología natural del terreno (Ideam, 2013).

Ambiente litoral. El ambiente litoral se encuentra en las zonas bajas cercanas a la línea de costa donde se presenta una interacción de los factores oceánicos y terrestres condicionados por acciones atmosféricas y geológicas y modificados por las formas de ocupación humana (Ideam & UNAL, 1998).

Los cambios recientes del nivel del mar han afectado la configuración de la línea de costa en el municipio de Santa Marta, ya que han modelado acantilados rocosos

y han generado plataformas, terrazas marinas y barras de playa por encima del nivel actual del mar (Robertson & Martínez, 1999). Muchas de estas geoformas se encuentran entre uno y dos metros por encima del nivel actual del mar, como evidencia de los niveles altos del mar durante el Holoceno (Robertson et al., 2003).

Ambiente fluvial. El clima en la Sierra Nevada de Santa Marta ha permitido la formación de drenajes que en las estribaciones del macizo montañoso permiten la acumulación de sedimentos por escorrentía y forman depósitos en las partes bajas de las montañas.

Ambiente estructural. El DTCH-SM está dominado por un conjunto morfoestructural compuesto por un mosaico de rocas ígneas y metamórficas de edad terciaria principalmente (Sierra & Kammer, 2015). Este complejo de rocas ofrece la suficiente resistencia para que sobre él se haya formado un relieve de formas lineales abruptas, con laderas escarpadas de fuerte pendiente que se denominan *crestas estructurales*.

Metodología para analizar la exposición del sector turístico

En la investigación se identificó, a nivel nacional y regional, un déficit de bases de datos espaciales actualizadas sobre hospedajes y sitios de interés de carácter turístico. En este sentido, para evaluar la exposición del sector turístico se realizó una identificación de los principales sitios de interés turístico en el Distrito. Además, se construyó una base cartográfica de localización de la oferta habitacional de hospedajes turísticos tomando como referencia el año 2021. Para esto, se revisó y georreferenció sobre cartografía escala 1:25.000 la información de las principales plataformas de búsqueda de alojamientos, como Booking, Airbnb y Tripadvisor. Con esta información se generó un mapa de calor que muestra la densidad de la infraestructura turística habitacional para el hospedaje de turistas.

Finalmente, la información de localización de hospedajes turísticos se superpuso con la zonificación de susceptibilidad a las inundaciones por el ANM como

factor determinante de la vulnerabilidad por exposición del sector turístico.

Resultados y discusión

Caracterización de la zonificación geomorfológica en Santa Marta

Para la caracterización del DTCH-SM, las unidades geomorfológicas fueron clasificadas en cuatro ambientes

morfogenéticos: antrópico, estructural, marino y fluvial (Figura 2). Las geoformas de los centros poblados más importantes del DTCH-SM se muestran en la Figura 3.

La zonificación geomorfológica permitió establecer que el ambiente estructural es el que ocupa mayor extensión, con 4.175 km² que representan el 92,6% del municipio, mientras que el ambiente antrópico solo cubre el 0,006% del municipio.

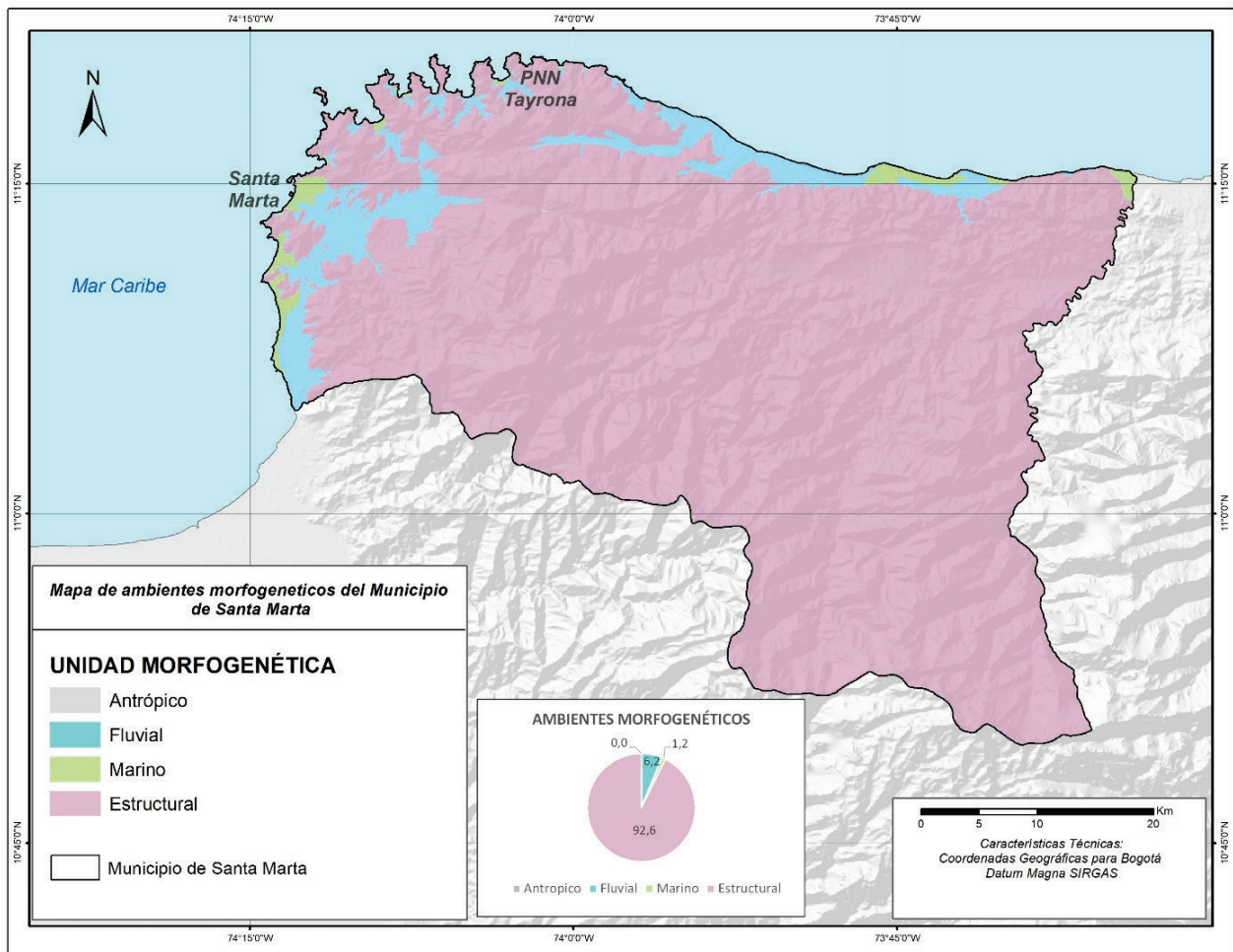


FIGURA 2. Ambientes morfogenéticos en el distrito turístico, cultural e histórico de Santa Marta (DTCH-SM)

FUENTE: elaboración propia.

Geoformas de las principales Zonas Urbanas del Municipio de Santa Marta

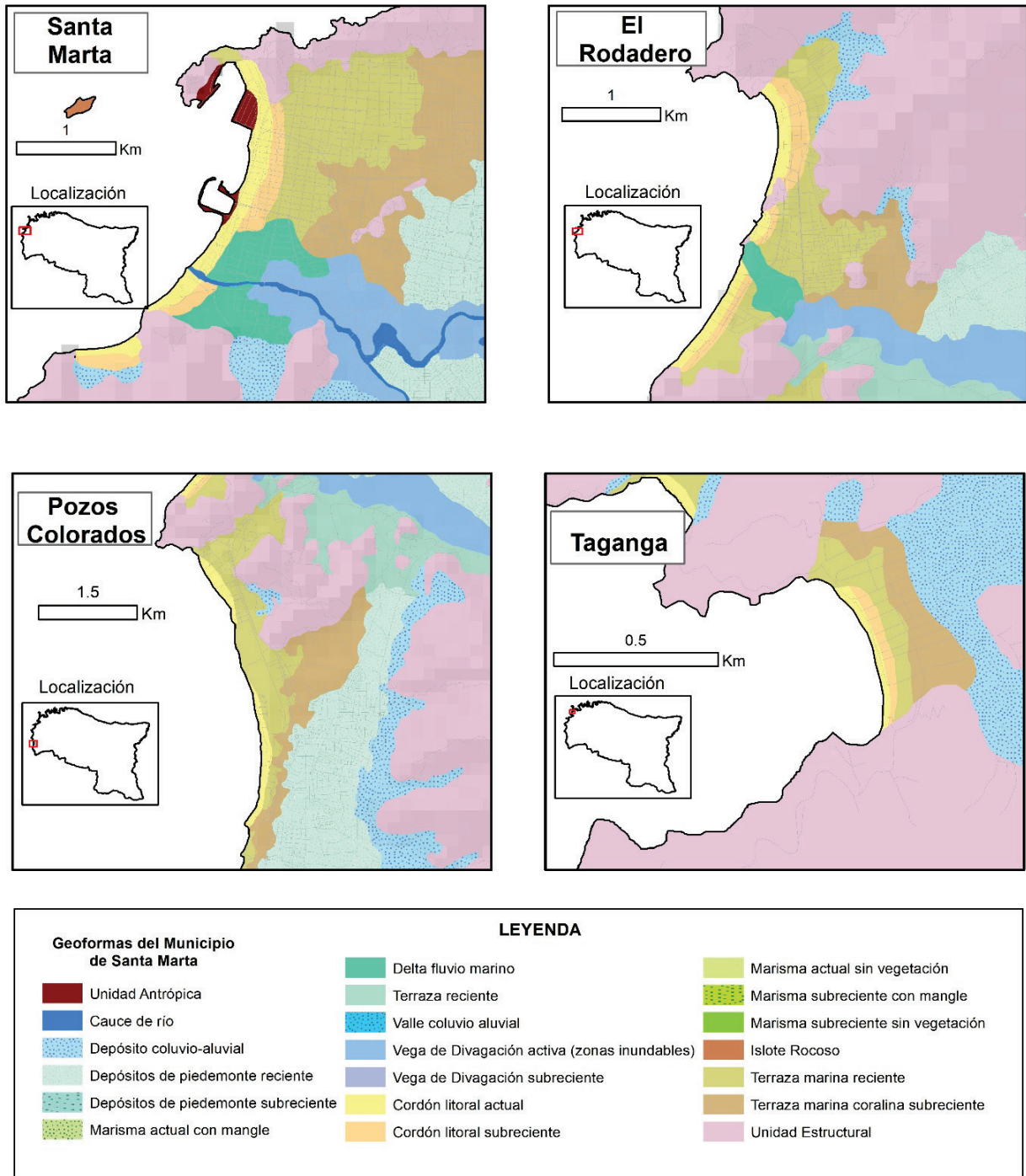


FIGURA 3. Geoformas de los principales centros poblados del DTCH-SM

FUENTE: elaboración propia.

Evaluación de la inundación litoral

Teniendo en cuenta que el calentamiento global tendrá como una de sus manifestaciones más importan-

tes el ANM, debido a este fenómeno se generará un reacondicionamiento de las dinámicas costeras en la franja litoral, además de provocar la inundación de la franja litoral cercana al nivel del mar actual y la ero-

sión de amplios sectores de línea de costa (IPCC, 2019). Por consiguiente, de acuerdo con las características morfológicas del terreno, se presentará la inundación de los pantanos y las tierras bajas de la franja litoral. A raíz de este proceso, se espera que la zona costera experimente algún grado de inundación gradual en la escala de varias décadas, con algunos posibles impactos ecosistémicos, sociales y económicos en actividades de gran importancia como el turismo.

Con base en la caracterización realizada, tenemos que las geoformas localizadas sobre o cerca de la línea de costa presentan una susceptibilidad a la inundación en función de sus particularidades morfoló-

gicas, texturales y su altura relativa con respecto al actual nivel del mar. A partir de estas características, se definió la susceptibilidad a la inundación litoral tomando como referente las propuestas de Robertson et al. (2003) y Ramos et al. (2016), que la definen como el grado de propensión del terreno a presentar efectos de inundación o encharcamiento, entendidos como fenómenos potencialmente dañinos, y donde la presencia de los efectos es determinada a partir de la interacción de las propiedades intrínsecas de las geoformas. Para la definición y zonificación de la susceptibilidad se definieron seis categorías, tal como se muestra en la Tabla 2.

TABLA 2. Susceptibilidad de las geoformas a la inundación marina asociada al ascenso del nivel del mar

| Grado de susceptibilidad | | Leyenda |
|--------------------------|----------|--|
| 5 | Muy alta | Geoformas por debajo del nivel del mar actual (<0 m s. n. m.) con exposición directa total. Presentarán un incremento de la columna de agua sobre ellas. |
| 4 | Alta | Geoformas a nivel del mar (± 0 a 0,7 m s. n. m.) que pueden estar temporalmente sumergidas o parcialmente emergidas y están localizadas directamente en la línea de costa o contiguas a esta. Se encuentran conformadas por sedimentos no consolidados (unidades naturales), expuestas a erosión y acumulación por procesos litorales. Presentan una pendiente plana (<1%). |
| 3 | Moderada | Geoformas muy bajas (0 a 1 m s. n. m.) localizadas directamente en la línea de costa o contiguas a esta. Se encuentran conformadas por sedimentos no consolidados de carácter litoral, fluvial o palustre. Presentan una pendiente plana (1 a 3%) y los cordones litorales pueden estar expuestos a procesos de erosión y acumulación. |
| 2 | Baja | Geoformas bajas (1 a 3 m s. n. m.) localizadas predominantemente por detrás de geoformas que se encuentran sobre la línea de costa. No presentan impactos directos en la mayor parte de la unidad. Se desarrollan sobre pendientes planas (1 a 3%). |
| 1 | Muy baja | Geoformas altas (3 a 5 m s. n. m.) no expuestas, aunque puede presentar efectos indirectos en algunas partes menores de la unidad. Presentan una pendiente plana (1 a 3%). |
| 0 | Nula | Geoformas dispuestas de forma general por encima de los 5 m s. n. m., cuando no se encuentran sobre la línea de costa. No están expuestas a los procesos de inundación; presentan morfologías inclinadas, onduladas o abruptas, con pendientes levemente inclinadas a muy fuertes (>3%). |

FUENTE: elaboración propia con base en Robertson et al. (2003) y Ramos et al. (2016).

La caracterización de la susceptibilidad a la inundación litoral se basa fundamentalmente en las respuestas de las geoformas ante la inundación esperada al final del siglo de acuerdo con el escenario SSP5-8.5. Esta aproximación permite realizar un análisis rápido para identificar zonas potencialmente críticas, en especial tomando en cuenta que aunque los modelos de elevación digital con información submétrica permiten modelar con precisión la topografía de zonas cos-

teras, en especial los generados a partir de tecnologías como Lidar (*laser imaging detection and ranging*; con este emisor láser, desde una aeronave, se logra determinar la posición y distancia a un objeto), la generación de dicha información es costosa para investigaciones particulares no financiadas.

Geoformas con muy alta susceptibilidad.

Son geoformas que actualmente se sitúan por debajo del nivel del mar, con una profundidad que va

desde algunos pocos decímetros hasta varios metros. En estas unidades se presenta un espejo de agua permanente. El Invemar (2010) destaca que las lagunas costeras presentan vulnerabilidad crítica, ya que son raras y pequeñas, pero representan ecosistemas relevantes para la conservación de la biodiversidad.

Geoformas con alta susceptibilidad. Este grupo de geoformas se encuentran cerca al nivel de base del nivel del mar actual. Debido a la dinámica marina, su posición varía temporalmente y fluctúan levemente respecto a este nivel. Generalmente están ubicadas sobre la línea de costa y expuestas al mar abierto o separadas del límite marino por un cordón litoral, el cual es altamente permeable, además de permitir el sostenimiento de los niveles freáticos altos.

Geoformas con moderada susceptibilidad. Las geoformas con moderada susceptibilidad se caracterizan por presentar una altura que puede estar entre cero y un metro sobre el nivel del mar, con superficies planas a levemente planas y alta tendencia al encharcamiento y la inundación temporal. Aunque la mayor parte de estas unidades no se encuentran expuestas sobre la línea de costa o se sitúan en zonas alejadas de la playa, su disposición muy baja las expone a sufrir en forma gradual el proceso de incremento del nivel del mar, efecto que dependerá de la pendiente de la geoforma.

Geoformas con baja susceptibilidad. En este grupo se incluyen las geoformas bajas situadas entre uno y tres metros de altura respecto al nivel del mar. Las unidades que conforman este grupo se caracterizan por presentar un nivel freático cercano a la superficie, estar compuestas por material consolidado, excepto las terrazas coralinas, y tener tendencia al encharcamiento.

Geoformas con muy baja susceptibilidad. Son geoformas altas que ocupan una posición que va desde los tres hasta los cinco metros, las cuales en general presentan buenas condiciones de drenaje, terre-

no levemente plano a levemente inclinado y disección incipiente. Son geoformas que representan una transición entre las formas estructurales y las geoformas de origen marino reciente.

Geoformas no susceptibles. Son las geoformas que alcanzan la mayor altitud y por lo general superan los cinco metros de altura sobre el nivel del mar. Aunque pueden estar sobre la línea de costa, su morfología abrupta y sus pendientes fuertes no permiten su inundación. Las geoformas incluidas en esta categoría son predominantemente de origen estructural. No obstante, en esta categoría se encuentran los depósitos aluviales que bordean el ambiente estructural (depósitos de piedemonte y terrazas) o que se encuentran asociados a los valles aluviales de los ríos que descienden de las montañas. En términos generales, son unidades caracterizadas por tener buena pendiente y drenaje superficial, así como por estar compuestas por materiales consolidados.

Principales atractivos turísticos en Santa Marta y densidad de hospedajes

El desarrollo turístico del DTCH-SM está asociado en el imaginario de muchas personas a las estancias de sol y playa. Esto se debe a la morfología de la línea de costa, donde se encuentran diferentes bahías con aguas claras sobre playas formadas por arenas blancas y brillantes. Las más reconocidas corresponden a las que están asociadas a desarrollos urbanos, como el centro urbano tradicional de Santa Marta, el Rodadero y Taganga. Sin embargo, debido a la extensión y diversidad topográfica y climática que presenta el Distrito, las zonas de montañas y su rica historia etnográfica y cultural ofrecen otros atractivos turísticos que, aunque aún no se han comercializado a gran escala, encuentran un mercado cada vez con mayor demanda (Figura 4). En la Tabla 3 se relacionan los sitios de mayor interés turístico en la actualidad.

Los sitios identificados como críticos por el Inve-mar (2010, p. 141) corresponden al aeropuerto, la bahía de Santa Marta, Pozos Colorados, el puerto de Prodeco, el hotel Decamerón, el sector de muelles carboneros, Casa Loma y Poblado.

De acuerdo con el inventario de hospedajes generado, el Rodadero, Pozos Colorados y Taganga son los sitios que tienen mayor densidad de alojamientos, ya que pueden alcanzar los 62 hospedajes por km².

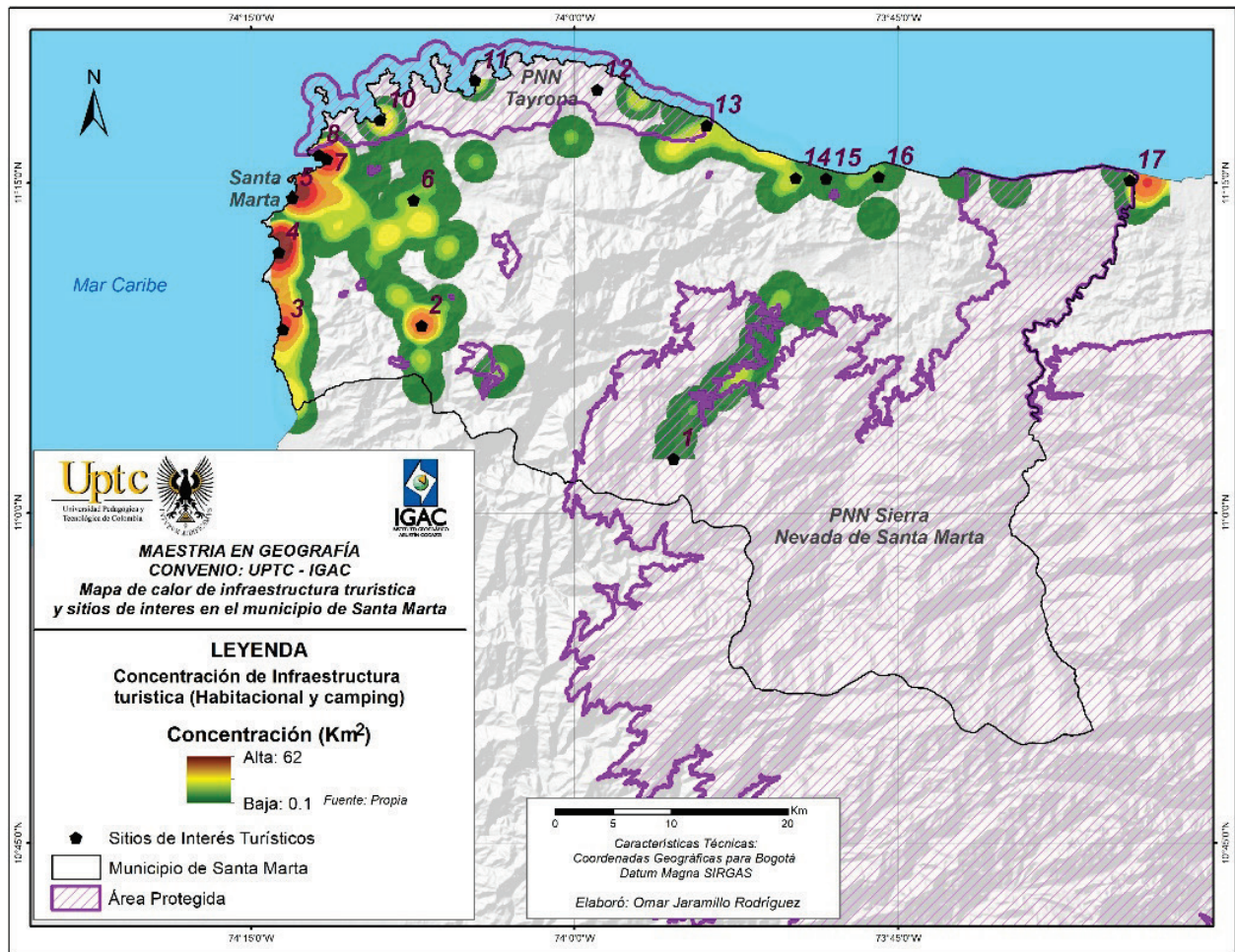


FIGURA 4. Mapa de calor de infraestructura turística y sitios de interés turístico en el DTCH-SM

NOTA: los números corresponden a los dígitos de identificación (ID) que se relacionan en la Tabla 3.

FUENTE: elaboración propia.

| TABLA 3. Sitios turísticos de la ciudad de Santa Marta | |
|--|----------------------|
| ID | Sitio de referencia |
| 1 | Ciudad Perdida |
| 2 | Minca |
| 3 | Pozos Colorados |
| 4 | El Rodadero |
| 5 | Bahía de Santa Marta |
| 6 | Bonda |
| 7 | Taganga |
| 8 | Playa Blanca |

TABLA 3. Sitios turísticos de la ciudad de Santa Marta

| ID | Sitio de referencia |
|----|----------------------------------|
| 10 | Bahía Concha |
| 11 | Playa Cristal o Playa del Muerto |
| 12 | Pueblito Chairama |
| 13 | Río Piedras |
| 14 | Río Guachaca |
| 15 | Quebrada Valencia |
| 16 | Río Don Diego |
| 17 | Palomino |

NOTA: el dígito identificador (ID) se localiza en el mapa de la Figura 4.

FUENTE: elaboración propia.

Exposición del sector turístico al ascenso del nivel medio del mar

La identificación de las afectaciones potenciales que se producirán sobre las geoformas del Distrito se basa en la respuesta geomorfológica que presentará el litoral ante un nivel del mar generado en el escenario SSP5-8.5, el cual plantea un incremento de cerca de un metro al finalizar el presente siglo.

Con respecto al ascenso del nivel marino, las geoformas buscarán el equilibrio con el nuevo nivel de base y los efectos dependerán en gran parte de su geometría, textura, posición altitudinal, pendiente y de la topografía. Los principales efectos esperados sobre las geoformas por el ANM, teniendo en cuenta diferentes estudios (Bird, 1993; Nicholls et al., 1995; Robertson et al., 2003; Ramos et al., 2016; Palm & Bolsen, 2020), son: mayor sumergimiento de zonas anegadas, inundación permanente de áreas muy bajas y pantanosas, encharcamiento de áreas adyacentes e incremento de la erosión litoral en los sedimentos no consolidados como las playas.

La inundación permanente se refiere al efecto que sufrirán las áreas costeras bajas, que son las que se encuentran hoy por debajo de un metro de altura respecto al nivel del mar y que serán potencialmente cubiertas por un incremento del nivel marino de similar magnitud. Este efecto es permanente, el área costera quedará sumergida todo el tiempo y ello causará la

pérdida efectiva de tierra que se producirá principalmente por el avance del mar.

Asociado con el incremento del nivel del mar y la inundación de tierras bajas, se presenta de manera concurrente un proceso de encharcamiento superficial de las zonas adyacentes que se encuentran levemente más altas respecto al nivel del mar. El grado de encharcamiento dependerá principalmente de las condiciones de permeabilidad del material, la pendiente, la topografía, el drenaje superficial y otras características físicas de las geoformas. Por consiguiente, los anteriores factores tendrán influencia en el comportamiento de la escorrentía, la infiltración y la posición del nivel freático local. En el DTCH-SM, se verían potencialmente afectados 10 km² por susceptibilidad baja (0,43% del área del Distrito).

Dicho incremento en la saturación de los depósitos superficiales puede causar, entre otros efectos, el deterioro de las bases o del soporte de las construcciones, además de una disminución de la capacidad portante del suelo; la modificación de las velocidades de flujo y direcciones del agua en el suelo; la obstrucción de drenajes por la menor pendiente en los canales de flujo naturales y los sistemas de drenaje construidos, como alcantarillados, descoles y otras estructuras, debido en parte al incremento en el nivel de base y, por ende, a una menor velocidad para la evacuación de las aguas servidas. En términos generales, las modificaciones de los factores o parámetros hidráulicos terminarán

alterando las condiciones sanitarias, lo cual afectará negativamente la calidad del paisaje y, por ende, la percepción de los turistas sobre la calidad de los sitios.

Con el ascenso del nivel del mar también se pronostica que se podría producir un ascenso del nivel freático, junto con la ocurrencia de procesos de encharcamiento temporal y el posible deterioro de acuíferos y fuentes superficiales. Feenstra et al. (1998) consideran que el alcance de la afectación dependerá de variables como la topografía, la elevación del terreno y la permeabilidad subsuperficial. Los efectos negativos más relevantes podrían derivarse de una mayor intrusión de la cuña salina sobre los cimientos de las construcciones y los sistemas de drenajes y de los procesos de salinización de los suelos.

A partir de la evaluación de las geoformas respecto a la inundación por ANM, se identificó que el

0,91% del municipio presenta alguna categoría de susceptibilidad a las inundaciones (Tabla 4). Dicho porcentaje, si bien se puede entender como una cantidad reducida, se debe principalmente a la topografía escarpada de la Sierra Nevada de Santa Marta y su cercanía al litoral sobre el costado norte del Distrito. Sin embargo, al analizar la infraestructura hotelera y habitacional identificada a partir de la información disponible, se logró establecer que cerca del 55,12% se encuentra en zonas que presentan niveles de susceptibilidad entre muy bajo a medio respecto al ANM durante el presente siglo. En la Figura 6 se presenta el reparto proporcional y se muestra cómo está dispuesta la infraestructura hotelera y habitacional de los principales centros poblados del DTCH-SM con relación a la zonificación de la susceptibilidad a las inundaciones por ascenso del nivel medio del mar.

TABLA 4. Relación de áreas por categoría de susceptibilidad a la inundación por ANM

| Susceptibilidad | Área (km ²) | DTCH-SM (%) |
|-----------------|-------------------------|---------------|
| Alta | 0,77 | 0,03 |
| Moderada | 4,19 | 0,18 |
| Baja | 10,00 | 0,43 |
| Muy baja | 6,42 | 0,27 |
| Nula | 2.328,13 | 99,09 |
| Total | 2.349,51 | 100,00 |

FUENTE: elaboración propia.

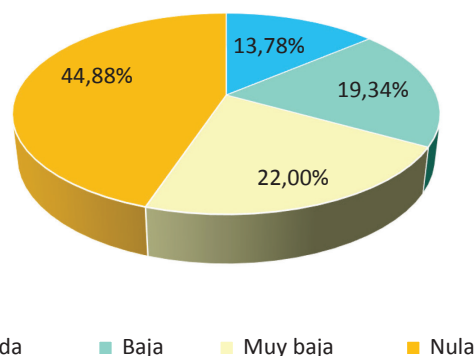


FIGURA 6. Porcentaje de infraestructura hotelera y habitacional por categoría de susceptibilidad a las inundaciones por el ANM en el DTCH-SM

FUENTE: elaboración propia.

Es importante tener en cuenta que, a pesar de no representar una proporción significativa (<1%) del área frente al área total (2,349,5 km²) del municipio, la superficie (21,38 km²) alberga más de la mitad de la infraestructura hotelera y habitacional del municipio (55,12%).

Los datos de esta investigación se contrastaron con las cifras del Invenmar (2010), las cuales presentan para el año 2040 un ANM esperado de 0,20 m que afectará un área cercana a 1,99 km² en las zonas urbanas. Esta misma investigación estima para el año 2040 que el ANM afectará 12,4 km², con las mayores afectaciones en las playas y el tejido urbano discontinuo.

En este sentido, es importante aclarar que las estimaciones de la presente investigación se realizaron tomando como referencia el año 2100, con un incremento aproximado de un metro de altura. Por lo tanto, los datos de las investigaciones no son comparables en tiempos y magnitudes, si bien presentan una magnitud de afectación coherente entre los dos estudios.

En el departamento del Magdalena, el Invenmar (2024), sobre 255 km de costa, reporta la siguiente proporción de población que puede ser afectada para los años 2040 (1,78%), 2070 (1,90%) y 2100 (9,19%), mientras que el área que podría resultar afectada se estima en un 5,08% para 2040, 5,41% en 2070 y 6,08% para 2100.

Por su parte, Nicholls et al. (1995) destacan que las posibles estrategias, respuestas y acciones que asuma la sociedad y los sectores especializados como el turismo frente al cambio climático están estrechamente relacionadas con el conocimiento, las características y la evolución de sus efectos. Es decir, entre mayor sea el entendimiento sobre las dinámicas del cambio climático y su posible afectación, se puede planificar de forma más adecuada el territorio, situación que permite, por consiguiente, evaluar la susceptibilidad orientada a disminuir la vulnerabilidad basada en una mayor resiliencia ante el ANM.

La vulnerabilidad del DTCH-SM al cambio climático, y en especial la del sector turístico frente al ANM, debería evaluarse en un contexto de la geografía del riesgo, de tal forma que se incluyan las dinámicas de los medios físico y social para colocarlos en función de los abordajes del territorio (Caruso et al., 2019). Esto se destaca porque el fenómeno físico del ANM estaría afectando significativamente el crecimiento demográfico y la expansión urbana, además de las dinámicas económicas del sector inmobiliario en torno al turismo. Con base en tales enfoques de análisis mixtos y perspectiva geográfica, la planeación articulada en la solución de las problemáticas actuales debe ser el foco de los procesos de planificación para realizar una proyección adecuada de los procesos de adaptación ante el ANM.

Conclusiones

Teniendo en cuenta el comportamiento de la zona litoral por las afectaciones potenciales del ascenso del nivel medio del mar asociado al calentamiento global, a partir de las características de las geoformas frente a la amenaza de inundación, se encontró que, de los 2.349,5 km² del distrito turístico, cultural e histórico (DTCH) de Santa Marta, el 0,03% se encuentra en una susceptibilidad alta, localizada principalmente en depresiones litorales asociadas a marismas en pequeñas bahías y ensenadas del Parque Nacional Natural Tayrona.

La susceptibilidad media comprende el 0,18% del área del DTCH-SM, la cual será potencialmente afectada por encharcamiento fuerte a inundación permanente. Dicha área está localizada principalmente en los cordones de playa de las diferentes ensenadas y bahías del municipio. La susceptibilidad baja comprende el 0,43% del municipio, con posible encharcamiento leve a moderado en cordones subrecientes y zonas deltaicas.

Zonificación de la susceptibilidad de las geoformas a la inundación litoral derivada del ascenso del nivel medio del mar. Zonas Urbanas

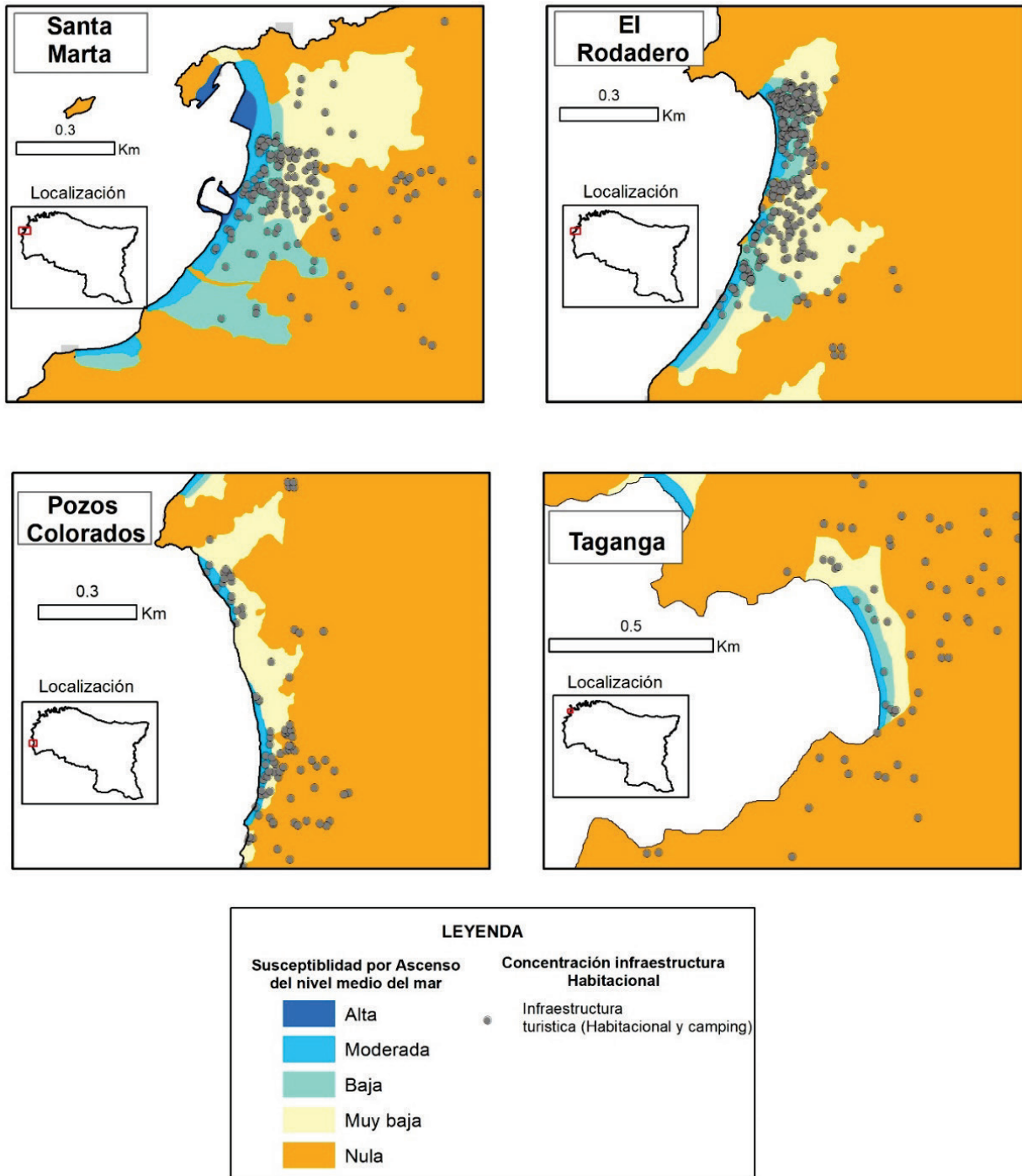


FIGURA 6. Susceptibilidad a las inundaciones por el ANM en los principales centros poblados del DTCH-SM

FUENTE: elaboración propia.

El 99,09% del DTCH-SM no se encuentra expuesto a la susceptibilidad del terreno a sufrir inundación por el ascenso del nivel medio del mar. Sin embargo, en el área potencialmente susceptible se encuentran los principales centros poblados con la infraestructura de hospedajes para turistas. No obstante, el 55,12% de esta infraestructura del Distrito, con cerca de 21 km², puede ser afectada por algún proceso de inundación en el presente siglo.

Con los resultados de la presente investigación geográfica se aportan métodos y técnicas basadas en el análisis geomorfológico que permiten mejorar la toma de decisiones en los procesos de planificación y ordenamiento ambiental de los territorios costeros. De esta forma, se facilitan las gestiones del municipio, en el sentido de identificar y evaluar la vulnerabilidad con base en la susceptibilidad del territorio frente al cambio climático, además de servir como insumo para establecer y priorizar medidas de adaptación.

Conflictos de interés. Los autores no tienen conflictos de interés en la escritura o publicación de este artículo.

Financiación. Los autores no recibieron financiación para la escritura o publicación de este artículo.

Implicaciones éticas. Al tratarse de una investigación sin intereses particulares ni financiación externa, el presente artículo no tiene implicaciones éticas.

Contribuciones. *Omar Jaramillo:* conceptualización, análisis formal de información, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, *software*, validación, visualización, escritura del borrador original, escritura y corrección final. *Wladimir Mejía:* supervisión, revisión del borrador y revisión/corrección final. *Pedro Simón Lamprea-Quiroga:* análisis formal de información, supervisión, escritura y revisión del borrador, y revisión/corrección final.

Referencias

Acto legislativo 3 de 1989 (diciembre 29), por medio del cual se erige a la ciudad de Santa Marta, capital del

departamento del Magdalena, en Distrito Turístico, Cultural e Histórico. <https://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Acto/1825666>

Alarcón Hincapié, J. C. (2017). *El cambio climático como factor transformador del territorio*. [Tesis de doctorado]. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/60117>

Alarcón Hincapié, J. C., & Pabón Caicedo, J. D. (2013). El cambio climático y la distribución espacial de las formaciones vegetales en Colombia. *Colombia Forestal*, 16(2), 171-185.

Alcaldía Distrital de Santa Marta. (2020). *Plan de Ordenamiento Territorial Santa Marta 2020-2032. Documento de diagnóstico. Geografía urbana*. <https://www.santamarta.gov.co/documentos/potsm-web-34-diagnostico-aneo-dimension-ambiental>

Ayala, H., Martín, R., & Masiques, J. (2003). *El turismo de sol y playa en el siglo XXI. Teoría y práctica del turismo*. Escuela de Altos Estudios de Hotelería y Turismo de La Habana.

Bahamón Restrepo, A., Fernández Naar, L., & González Sánchez, E. (2009). *Lineamientos a 2030 para la adaptación y mitigación al riesgo del aumento del nivel del mar (ANM) en el sector turístico del borde litoral de Cartagena de Indias, Colombia*. http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0070_PU-SA-VIII-2012-B_RESTREPO.pdf

Barton, J. R. (2009). Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regiones. *Revista de Geografía Norte Grande*, (43), 5-30.

Bernal-Ramírez, J., Ojeda-Joya, J. N., Agudelo-Rivera, C., Clavijo-Ramírez, F., Durana-Ángel, C., Granger-Castaño, C., ... & Toro-Córdoba, J. H. (2022). Impacto macroeconómico del cambio climático en Colombia. *Ensayos sobre Política Económica*, 102, 1-62. <https://investiga.banrep.gov.co/es/espe102>

Bird, E. C. F. (1993). *Submerging Coasts: The Effects of a Rising Sea Level on Coastal Environments*. Jhon Wiley and Sons.

Caruso, S., Schofrin, A., & Bachmann, L. (2019). Ecogeografía y riesgo de desastre: aportes analíticos desde la geografía física. *Boletín Geográfico*, 41(2), 125-143. <https://revele.uncoma.edu.ar/index.php/geografia/article/view/2543/59265>

Convención de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD). (2014). *Adaptación y resiliencia basada en la tierra impulsadas por la naturaleza*. Naciones Unidas. https://catalogue.unccd.int/856_Land_Based_Adaptation_SPA.pdf

- Correa-Arango, I. D., & Lorduy, R. (2008). Implicaciones del ascenso del nivel del mar sobre los litorales de Colombia. En *Cambio climático: ¿una caja de Pandora?* (1ª ed., pp. 26-38). Corantioquia, Oficina Asesora de Comunicaciones. <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/1597>
- Dabrio, C. J., & Polo, M. D. (2015). Cambios del nivel del mar. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23(2), 171-171. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/306517>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2021). *División político-administrativa de Colombia*. DANE.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2022). *La información del DANE en la toma de decisiones regionales. Santa Marta-Magdalena*. DANE.
- Dirección General Marítima de Colombia (Dimar). (2023). *Estadísticas anuales de transporte marítimo en Colombia 2021-2022*. Ministerio de Defensa Nacional. <https://www.dimar.mil.co/sites/default/files/noticias/PDFA%20Estad%20C3%ADstica%20Anuales%20de%20Transporte%20Mar%20C3%ADtimo%20en%20Colombia%202022.pdf>
- Feenstra, J. F., Burton, I., Smith, J. B., & Tol, R. S. (Eds.). (1998). *Handbook on methods for climate change impact assessment and adaptation strategies*. United Nations Environment Programme.
- García, M. C., Piñeros Botero, A., Bernal Quiroga, F. A., & Ardila Robles, E. (2012). Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. *Revista de Ingeniería*, (36), 60-64. <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n36/n36a12.pdf>
- Hernández-Narváez, D., Vega-Cabrera, A., Zamora-Bornachera, A., & Sierra-Correa, P. C. (2019). El cambio climático y los impactos socioeconómicos sobre la zona costera e insular colombiana. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 48(2), 9-32. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2019.48.2.764>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) & Universidad Nacional de Colombia (UNAL) (1998). *Litoral caribe: morfodinámica y amenazas naturales*. Convenio Ideam-UNAL.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2001). *Primera comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. <https://unfccc.int/resource/docs/natc/colnc1.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2013). *Guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000*. Ideam. http://www.ideam.gov.co/documents/11769/152722/Guia_Enero_201401+%281%29.pdf
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2017). *Tercera comunicación nacional de cambio climático a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC)*. <http://www.cambioclimatico.gov.co/resultados>
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (Invemar). (2024, mayo 3). *Ascenso del nivel del mar*. Climares. <http://climares.invemar.org.co/ascenso-del-nivel-del-mar>
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (Invemar). (2018). *Amenaza y vulnerabilidad por erosión costera en Colombia: enfoque regional para la gestión del riesgo*. Invemar. <https://n2t.net/ark:/81239/m9ss72>
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (Invemar). (2017). *Análisis de vulnerabilidad marino-costera e insular ante el cambio climático para Colombia como insumo para la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. [Documento técnico de investigación]. Invemar.
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (Invemar). (2010). *Perfil de vulnerabilidad y propuesta de opciones para Santa Marta en el marco de la evaluación de la vulnerabilidad por el ascenso al nivel del mar (ANM) en la zona costera del departamento del Magdalena*. Invemar. http://climares.invemar.org.co/documents/67562/73982/Vulnerabilidad_ANM_Santa+Marta.pdf/79792893-de62-b242-f81d-46371f5d5ce7?t=1710810772734
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2021). *Base de datos vectorial básica. Colombia. Escala 1:25.000*. <https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-82.43784778320864,-0.17644239911865092,-71.23179309571162,9.90326984502256,4686&b=igac&u=0&t=23&servicio=205>
- Lau, C., Jarvis, A. y Ramírez Villegas, J. (2011). *Agricultura colombiana: Adaptación al cambio climático*. CIAT Políticas en síntesis, n.º 1. [Folleto]. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/57475>
- Martínez A., N. J. (2001). *La dinámica fluvial y litoral del delta del Magdalena. Bases para un manejo sostenible frente al as-*

- censo del nivel del mar*. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia.
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2024). *Perfiles económicos departamentales. Departamento del Magdalena*. <https://www.mincit.gov.co/getattachment/6ac71098-d892-400d-bc36-a20054f7cf79/Magdalena>
- Ministerio de Transporte, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, & Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (Inveamar). (2017). *Plan de gestión del cambio climático para los puertos marítimos de Colombia*. [Documento de trabajo]. <https://mintransporte.gov.co/loader.php?lServicio=-Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=descargar&idFile=28895>
- Nicholls, R. J., Leatherman, S. P., Dennis, K. C., & Volonte, C. R. (1995). Impacts and Responses to Sea-Level Rise: Qualitative and Quantitative Assessments. *Journal of Coastal Research*, (Special issue 14), 26-43. <https://www.jstor.org/stable/25735699>
- Ochoa Jaramillo, A., & Poveda Jaramillo, G. (2008, septiembre). Distribución espacial de señales de cambio climático en Colombia. En *xxiii Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Cartagena de Indias, Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7763/AA4156.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pabón, J. D. (2012). Cambio climático en Colombia: tendencias en la segunda mitad del siglo xx y escenarios posibles para el siglo xxi. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 36(139), 261-278. <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v36n139/v36n139a10.pdf>
- Pabón, J. D., & Lozano, J. A. (2005). Aspectos relacionados con las estimaciones globales y regionales del ascenso del nivel del mar y su aplicación a Colombia. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, (14), 97-106. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281821954007>
- Palm, R., & Bolsen, T. (2020). The Science of Climate Change and Sea-Level Rise. In *Climate Change and Sea Level Rise in South Florida* (pp. 5-13). Springer. https://www.researchgate.net/publication/338330766_The_Science_of_Climate_Change_and_Sea-Level_Rise
- Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (ipcc). (2001). *Climate change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Edited by J. T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. Van der Linden, X. Dai, K. Maskell, & C. A. Johnson]. Cambridge University Press
- Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (ipcc). (2014). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (ipcc). (2019). Resumen para responsables de políticas. En P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendía, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi & J. Malley (eds.), *El cambio climático y la Tierra. Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf
- Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (ipcc). (2021). Summary for Policymakers. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. Matthews, T. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGL_SPM.pdf
- Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (ipcc). (2023). Annex I: Glossary. In A. Reisinger, D. Cammarano, A. Fischlin, J. Fuglestedt, G. Hansen, Y. Jung, C. Ludden, V. Masson-Delmotte, R. Matthews, J. Mintenbeck, D. Orendain, A. Pirani, E. Poloczanska, & J. Romero (eds.), *Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the Sixth assessment report of the IPCC* (pp. 119-130). IPCC. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.002
- Pérez, C., Poveda, G., Mesa, O., Carvajal, L. F., & Ochoa, A. (1998). Evidencias de cambio climático en Colombia: tendencias y cambios de fase y amplitud de los ciclos anual y semianual. *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, 27(3). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12627318>

- Ramos Reyes, R., Zavala-Cruz, J., Gama Campillo, L. M., Pech Pool, D., & Ortiz Pérez, M. A. (2016). Indicadores geomorfológicos para evaluar la vulnerabilidad por inundación ante el ascenso del nivel del mar debido al cambio climático en la costa de Tabasco y Campeche, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 581-598. https://www.researchgate.net/publication/311681437_Indicadores_geomorfológicos_para_evaluar_la_vulnerabilidad_por_inundación_ante_el_ascenso_del_nivel_del_mar_debido_al_cambio_climático_en_la_costa_de_Tabasco_y_Campeche_Mexico
- Robertson, K., & Martínez A., N. J., (1999). Cambios del nivel del mar durante el Holoceno en el litoral caribe colombiano. *Cuadernos de Geografía*, 8(1), 168-198. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/71637/65663>
- Robertson, K., Martínez, N. J., & Jaramillo, O. (2003). Amenazas naturales asociadas al ascenso del nivel del mar en Caribe colombiano. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, (12), 135-153. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/10280/10798>
- Romo Aguilar, M. (2023). Vulnerabilidad a riesgos y actores sociales: ¿configuración recíproca? Estudio de caso en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Perspectiva Geográfica*, 28(1), 1-14. <https://doi.org/10.19053/01233769.15071>
- Ruiz Galeano, L. V. (2018). *Análisis de terrazas marinas asociadas a cambios del nivel del mar en las ensenadas Brava y Macuaca, Parque Nacional Natural Tayrona*. [Trabajo de grado]. Universidad EAFIT. https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/13306/LindaVanessa_RuizGaleano_2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Sierra, J. M. S., & Kammer, A. (2015). Marco geológico y rasgos estructurales del batolito de Santa Marta, flanco noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta. *Geología Colombiana*, 40, 57-60. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/article/view/59817/pdf>