

# **Evaluación de riesgos litorales por medio de métodos multicriterio: caso específico Playas Urbanas y Playa la Martina, Distrito de Turbo, golfo de Urabá, Caribe colombiano.**

Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de:  
Magíster en Ciencias del Mar

**Kelis Maleibis Hinestroza Mena**  
Ingeniera Acuícola

**Universidad de Antioquia  
Corporación Académica Ambiental  
Turbo, Antioquia  
2021**

# **Evaluación de riesgos litorales por medio de métodos multicriterio: caso específico Playas Urbanas y Playa la Martina, Distrito de Turbo, golfo de Urabá, Caribe colombiano.**

**Kelis Maleibis Hinestroza Mena**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Magíster en Ciencias del Mar

Director:  
Ph. D. Vladimir G. Toro V

Línea de investigación:  
Dinámica costera y saneamiento del litoral.

Grupo de investigación:  
GIGA- Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental

Universidad de Antioquia  
Corporación Académica Ambiental  
Turbo, Colombia  
2021

*“Los científicos pueden describir los problemas que afectaran el medio ambiente basándose en la evidencia disponible. Sin embargo, su solución no es la responsabilidad de los científicos, sino de la sociedad en su totalidad”*

*Mario Molina*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá – CORPOURABA en cabeza de la Directora General por el apoyo, disposición y financiamiento de este proyecto de investigación que es un logro para el conocimiento científico de la región y que de seguro le aportara a la gestión de las zonas costeras enmarcado en las metas corporativas de la institución.

Al equipo de zonas costeras, Gloria Londoño, Katherine Garcia y Jonny Hernandez por el aporte y compromiso en la gestión técnica, y el trabajo en campo y su aporte profesional, a quienes valoro y considero amigos y compañeros de travesía.

Al equipo de aguas subterráneas CORPOURABA, el ingeniero Pedro Villegas y al profesional Carlos Orrego, por el aporte de información y por el direccionamiento en el componente litológico en el marco de la investigación, a ellos gracias por la disposición y el acompañamiento en este proceso.

A mi director de tesis el profesor Vladimir G Toro, por su apoyo, guía y aporte durante el desarrollo del proyecto, quien a su vez asumió como propio el compromiso de estar en una investigación, siempre en procura de articular el mismo a otros procesos y que con ello se logre un mayor impacto en la región.

A la Corporación Académica Ambiental de la Universidad de Antioquia y a todo el personal administrativo de la Sede Ciencias del mar por el soporte técnico y humano durante el proyecto.

A mi familia por apoyarme y creer en los procesos que siempre he asumido, aun con las adversidades que ello implique.

A la vida y al Dios mismo por siempre guiar mi camino e iluminarme en los sueños y retos que siempre he asumido.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	9
ABSTRACT .....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
1. HIPÓTESIS.....	14
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo general .....	14
2.2. Objetivos específicos.....	14
4. MARCO TEÓRICO .....	15
4.1. Cambio climático y sus efectos en la zona costera.....	15
4.2. Riesgo costero: amenaza-vulnerabilidad .....	17
5. ÁREA DE ESTUDIO .....	20
6. METODOLOGÍA .....	22
7. DESARROLLO METODOLÓGICO Y RESULTADO .....	23
7.1. Subcapítulo 1: Caracterización y priorización de los procesos presentes en la línea de costa del distrito de Turbo. ....	23
7.1.1. Desarrollo metodológico.....	23
7.1.1.1. Caracterización y priorización de las amenazas. ....	26
7.1.2. Resultados.....	36
7.2. Subcapítulo 2: Determinación de la vulnerabilidad.....	53
7.2.1. Desarrollo metodológico.....	53
7.2.2. Resultados .....	58
7.3. Subcapítulo 3: Índices de riesgo costero. ....	71
7.3.1. Desarrollo metodológico.....	71
7.3.2. Resultados.....	74
7.4. Subcapítulo 4. Riesgo costero y zonificación del área. ....	74
7.4.1. Desarrollo metodológico y resultados: riesgo parcial.....	74
7.4.2. Desarrollo metodológico y resultados: riesgo total. ....	76
7.4.3. Desarrollo metodológico y resultados: clasificación del riesgo. ....	77
8. DISCUSIONES .....	81
9. CONCLUSIONES .....	87

10. REFERENCIAS.....	89
ANEXOS.....	100

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Procesos asociados al cambio climático. ....	17
Figura 2. Amenaza x Vulnerabilidad = Riesgo. ....	18
Figura 3. Área de estudio. Izq. Arriba, se observa en un rectángulo rojo la ubicación de Colombia respecto al Caribe. Izq. Centro, ubicación del Departamento de Antioquia respecto a Colombia. Izq. Abajo, ubicación del golfo de Urabá en los departamentos de Antioquia y Chocó. Der. Zonas de estudio (áreas rojas), ubicadas en el Distrito de Turbo: Playa municipal (abajo) y La Martina (arriba).....	20
Figura 4. Localización detallada de las playas de estudio. (a) Playa la Martina; (b) Playa municipal del Distrito de Turbo.....	21
Figura 5. Estructura metodológica para el alcance de los objetivos. ....	22
Figura 6. Ubicación de las boyas virtuales obtenidas del modelo SWAN.....	35
Figura 7. Serie de marea de la estación guardacostas de Turbo. Fuente: (Higuita y Quintana, 2019). ....	37
Figura 8. Celdas correspondientes al cálculo de las tasas de aumento del nivel del mar en el golfo de Urabá. Fuente: (CORPOURABA, 2019). ....	38
Figura 9. Izq.) Histograma de frecuencias de Hs; Der) Función de distribución de Tp. (a) y (b) todos los datos; (c) y (d) época seca. ....	39
Figura 11. Ajuste de la serie de oleaje extremal a la función de distribución de Gumbel. (a) todos los datos; (b) época seca; (c) época húmeda; (d) época huracanes.....	40
Figura 12. Izq.) Histograma de frecuencias de Hs; Der) Función de distribución de Tp. (a) y (b) todos los datos; (c) y (d) época seca; (e) y (f) época húmeda; (g) y (h) época huracanes. ....	41
Figura 13. Ajuste de la serie de oleaje extremal a la función de distribución de Gumbel. (a) todos los datos; (b) época seca; (c) época húmeda; (d) época huracanes.....	43
Figura 14. Izq.) Histograma de frecuencias de Hs; Der) Función de distribución de Tp. (a) y (b) todos los datos; (c) y (d) época seca; (e) y (f) época húmeda; (g) y (h) época huracanes. ....	44
Figura 15. Ajuste de la serie de oleaje extremal a la función de distribución de Gumbel..	45
Figura 15. Representación gráfica del método de quintiles. Fuente: tomado de Emory Oxford College, 2021.....	77
Figura 16. Playa la Martina (a) Características espaciales. (b) Mapa de riesgo ante las amenazas para la línea de costa. ....	79
Figura 17. Playa Urbana de Turbo. (a) Características espaciales. (b) Mapa de riesgo ante las amenazas para la línea de costa. ....	80

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características físicas de la zona de estudio.....	25
Tabla 2. Características socioeconómicas – Turbo.....	26
Tabla 3. Investigaciones reportadas en la fase “ <i>Revisión bibliográfica de amenazas en la zona de estudio</i> ” .....	27
Tabla 4. Intervalo de representatividad y valores.....	29
Tabla 5. Valor asignado de a cada amenaza de acuerdo a la representatividad.....	30
Tabla 6. Matriz de valoración.....	30
Tabla 7. Variables y descripción.....	31
Tabla 8. Resultados consolidados Playa La Martina.....	47
Tabla 9. Resultados consolidados Playas Urbanas.....	50
Tabla 10. Elemento expuesto de acuerdo a la amenaza.....	53
Tabla 11. Variables de amenaza.....	54
Tabla 12. Relación de solicitudes a instituciones.....	57
Tabla 13. Resultados consolidados de vulnerabilidad antes amenazas Playas Urbanas.....	60
Tabla 14. Resultados consolidados de vulnerabilidad ante amenazas Playas La Martina.....	61
Tabla 15. Metodología ajustada con las variables de amenazas y vulnerabilidad.....	63
Tabla 16. Variables y los índices de vulnerabilidad que representan.....	72
Tabla 17. Índices de Vulnerabilidad Costera. Playa La Martina.....	74
Tabla 18. Índices de Vulnerabilidad Costera. Playas Urbanas de Turbo.....	74
Tabla 19. Riesgo de Vulnerabilidad Costera. Playas Municipales.....	76
Tabla 20. Riesgo de Vulnerabilidad Costera. Playas Municipales.....	76
Tabla 21. Valores de riesgo total para ambas playas de estudio.....	77
Tabla 22. Resultados del cálculo de los quintiles.....	78
Tabla 23. Valores de clasificación del riesgo costero.....	78
Tabla 24. Riesgo costero en Playa La Martina y Playas Municipales.....	78

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Acciones en Colombia frente al cambio climático.....	100
Anexo 2. Vulnerabilidad – Cambio Climático. La vulnerabilidad al cambio climático condicionada por factores como la exposición del sistema a experimentar pérdidas potenciales debido a la incidencia de un impacto, y por la sensibilidad o capacidad del sistema ante la manifestación de un evento de impacto potencial. ....	105
Anexo 3. Identificación preliminar de las principales amenazas presentes en las zonas costeras.....	106
Anexo 4. Evidencias fotográficas validación en campo de las amenazas en la zona de estudio.....	107
Anexo 5. Variables consideradas en diversos estudios.....	108
Anexo 6. Clasificación de variables que representan la amenaza.....	109
Anexo 7. ....	111
Anexo 8. Subcapítulo 1: Resultados – Geomorfología.....	113
Anexo 9. Subcapítulo 1: Resultados – Pendiente de playa frontal.....	114
Anexo 10. Subcapítulo 1: Resultados – Evolución de la línea de costa.....	115
Anexo 11. Subcapítulo 1: Resultados – Altura de ola significativa.....	117
Anexo 12. Subcapítulo 1: Resultados – Grado de exposición al oleaje.....	125
Anexo 13. Subcapítulo 1: Resultados – Perfil estratigráfico.....	126
Anexo 14. Subcapítulo 1: Resultados – Ancho de playa.....	130
Anexo 15. Subcapítulo 2: Desarrollo metodológico – Uso del suelo.....	131
Anexo 16. Subcapítulo 2: Desarrollo metodológico – Uso del suelo.....	133
Anexo 17. Subcapítulo 2: Desarrollo metodológico – Zonificación.....	134
Anexo 18. Subcapítulo 2: Variables que representan la vulnerabilidad ante las amenazas. ....	135
Anexo 19. Subcapítulo 2: Fotografías de la medición en campo de las variables de vulnerabilidad.....	136
Anexo 20. Clasificación de variables que representan la vulnerabilidad ante las amenazas. ....	137
Anexo 21. Subcapítulo 2: Resultados – Uso del suelo.....	142
Anexo 22. Subcapítulo 2: Resultados – Cobertura socioeconómica.....	143
Anexo 23. Subcapítulo 2: Resultados – Índice K – Estructuras.....	144
Anexo 24. Subcapítulo 2: Resultados – Porcentaje de área desarrollada.....	145
Anexo 25. Subcapítulo 2: Resultados – Patrimonio histórico artístico.....	146
Anexo 26. Subcapítulo 2: Resultados – Cobertura ecológica.....	147
Anexo 27. Subcapítulo 3: Ponderación de variables.....	148



## RESUMEN

El Distrito de Turbo se proyecta a futuro como un sector costero con altas dinámicas poblacionales y creciente desarrollo socioeconómico, resultantes de la construcción de infraestructuras portuarias y del crecimiento acelerado de las actividades turísticas, agropecuarias y pesqueras actuales. Todas estas actividades tendrán impactos económicos mayores sobre los PIB regional y nacional, y someterán al Distrito a altas presiones ambientales, en parte asociadas a las consecuencias e impactos del cambio climático global. Los adelantos en la definición del riesgo de sistemas biofísicos y socioeconómicos de áreas costeras recomiendan considerar con el máximo detalle los aspectos físicos, naturales y antropogénicos, a escalas espaciales tanto como regionales y locales. Con el objetivo general de aportar a la gestión y planificación territorial del Distrito de Turbo, esta investigación evalúa las condiciones locales de riesgo de dos de sus principales playas, denominadas como la Playa Urbana Municipal (2.4 km de longitud de línea de costa) y la playa La Martina (1.2 km de longitud de línea de costa). Para cada una de estas dos playas se: 1) Caracterizaron y priorizaron los procesos y las amenazas presentes; 2) Determinó la vulnerabilidad del litoral; 3) Definieron los índices de vulnerabilidad; 4) Calculó el riesgo para las amenazas :erosión, inundación, intrusión salina y pérdida ecosistémica, y se zonificó el área de cada playa por medio del cálculo de la Zona de colapso inminente (ZCI, definida como el área más propensa a degradarse físicamente debido a su vulnerabilidad ante las amenazas. La metodología utilizada se basó en evaluaciones multicriterio preexistentes de expertos nacionales e internacionales, validadas y mejoradas con base en la consideración de las condiciones físicas y morfológicas específicas de cada playa estudiada. Los principales resultados muestran: Para la Playa Urbana, el riesgo costero se clasifica entre bajo y muy alto. A partir del tramo número tres (3) se presentan los valores más altos, oscilando entre 111.44 y 214.68, los mismo coinciden con los mayores valores en uso del suelo, infraestructura de servicios, índice K, cobertura socioeconómica, geomorfología y litología, En esta playa, la ZCI se ubica a los 6.1 m de la línea de costa. Para Playa La Martina las áreas con mayor riesgo corresponden a los tramos uno (1) y dos (2), con valores de 124.74 y 97.88 respectivamente, en estos tramos ha habido un incremento en el desarrollo de infraestructura asociada al turismo, por lo que se considera que el incremento de intervenciones antrópicas incide en el aumento del riesgo. La ZCI en estas playas se ubica a los 7.4m de la línea de costa. En cuanto a la salinización del acuífero confinado del golfo de Urabá, el mayor riesgo se presenta en Playa La Martina, donde el espesor del acuífero es menor con respecto a la Playa Urbana. Los resultados sugieren la necesidad de incluir como determinante ambiental el riesgo costero calculado, en especial por el impacto que tiene para la priorización de la inversión económica en la línea costera y la aplicación, a nivel del Municipio, de planes, programas y proyectos en las líneas ambientales relacionadas con el manejo integrado de zonas costeras.

**PALABRAS CLAVES:** Amenaza, Vulnerabilidad, Riesgo, Erosión costera.

## ABSTRACT

The Turbo District is projected in the future as a coastal sector with high population dynamics and growing socioeconomic development, resulting from the construction of port infrastructures and the accelerated growth of current tourist, agricultural and fishing activities. All these activities will have major economic impacts on regional and national GDP, and will subject the District to high environmental pressures, in part associated with the consequences and impacts of global climate change. Advances in defining the risk of biophysical and socio-economic systems in coastal areas recommend considering in the greatest detail the physical, natural and anthropogenic aspects, at spatial scales both regional and local. With the general objective of contributing to the territorial management and planning of the Turbo District, this research evaluates the risk local conditions of two of its main beaches, known as the Municipal Urban Beach (2.4 km of coastline length) and the La Martina beach (1.2 km of coastline length). For each of these two beaches, the following were: 1) Characterized and prioritized the processes and threats present; 2) Determined the vulnerability of the coastline; 3) They defined the vulnerability indices; 4) Risk was calculated for threats: erosion, flooding, saline intrusion and ecosystem loss, and was zoned the area of each beach by calculating the zone of imminent collapse, defined as the area most prone to physical degradation due to its vulnerability to threat. The methodology used was based on pre-existing multi-criteria evaluations of national and international experts, validated and improved based on the consideration of the specific physical and morphological conditions of each beach studied. The main results show: For the Urban Beach, the coastal risk is classified between low and very high. Starting section number three (3) the highest values are presented, ranging between 111.44 and 214.68, they coincide with the highest values in land use, service infrastructure, K index, socioeconomic coverage, geomorphology and lithology. On this beach, the ZCI is located 6.1 m from the coastline. For Playa La Martina, the areas with the highest risk correspond to sections one (1) and two (2), with values of 124.74 and 97.88 respectively, in these sections there has been an increase in the development of infrastructure associated with tourism, therefore it is considered that the increase in anthropic interventions contributes to the increment in risk. The ICZ on these beaches is located 7.4m from the coastline. Regarding the salinization of the confined aquifer of the gulf of Urabá, the greatest risk occurs in Playa La Martina, where the thickness of the aquifer is less than that of Playa Urbana. The results suggest the need to include the calculated coastal risk as an environmental determinant, especially due to the impact it has on prioritizing economic investment in the coastline and the application, at the municipality level, of plans, programs and projects in the environmental lines related with the integrated management of coastal zones.

**KEYWORDS:** Threat, Vulnerability, Risk, Coastal erosion.

## INTRODUCCIÓN

Alrededor de un 50 % de la población mundial vive actualmente en las zonas costeras (IPCC, 2007; 2014). Esta alta ocupación y las condiciones del cambio climático han afectado gran parte de los ecosistemas naturales, situaciones reconocidas desde principios de siglo XXI como problemas globales (Moore y Griggs, 2002). Una de las consecuencias del cambio climático es el aumento del nivel del mar (ANM), el cual generará impactos significativos en las zonas litorales al exponerlas a oleajes energéticos, inundaciones y a la erosión de playas y acantilados, entre otras consecuencias (Battjes, 2006; IPCC, 2007; Usuarios, 2013). En este escenario se espera que el ANM tenga impactos serios en las regiones costeras de Latinoamérica y el Caribe (CEPAL, 2018). En países como Panamá, Venezuela y Costa Rica, se estima que las zonas costeras y sus recursos serán altamente vulnerables y se producirán pérdidas e inundaciones de terrenos en zonas bajas, modificaciones mayores de ecosistemas estratégicos, intrusiones de la cuña salina en acuíferos costaneros y, de la mayor importancia, desplazamiento de comunidades costeras (Cubit, 1985; Klein y Nicholls 1999; Fish *et al.*, 2005).

En Colombia, los estudios sugieren que las zonas costeras son las más vulnerables ante el cambio climático (INVEMAR *et al.*, 2014). Para el año 2002, los 53 municipios costeros concentraban sólo el 8.5% de la población total del país (421.329.000 hab) y se proyectó un incremento al 12% para el 2050 (INVEMAR, 2002; DANE, 2005), Para el 2100, se prevé que aproximadamente el 55% de la población de la costa Caribe y el 45% de la costa Pacífica estarán expuestas a amenazas naturales debidas al cambio climático (INVEMAR, 2003). Además del ascenso del nivel del mar, otros efectos previstos del cambio climático sobre las costas y litorales del País se relacionan con alteraciones en los patrones de vientos, en la energía de los oleajes, en el transporte de sedimentos y en los valores de salinidad, y de la temperatura superficial del mar (Bardají, 2009; IPPC, 2013; Rojas-Higuera y Pabón-Caicedo, 2015).

Dados estos antecedentes, las políticas de gestión del riesgo recomiendan avanzar prioritariamente en la identificación de las amenazas y en la evaluación de sus impactos, buscando mejorar la base de conocimientos y hacer más efectiva la toma de decisiones. Se han realizado avances en la caracterización de las amenazas para las poblaciones costeras y se han propuesto medidas para su mitigación (INVEMAR, 2003). En cuanto al ANM, se han identificado las áreas costeras más vulnerables, entre las que se incluyen a Cartagena de Indias, Santa Marta, Tumaco, San Andrés, Providencia y Santa Catalina (INVEMAR y PNUD, 2017). Adicionalmente se tienen diagnósticos de amenazas por erosión costera para el Pacífico, Caribe y zonas insulares (Posada y Henao, 2008; Posada *et al.*, 2011). Estos estudios recomiendan avanzar en la determinación del riesgo a escalas regionales y locales, considerando tanto los aspectos naturales como los antrópicos

En cuanto al litoral del Departamento de Antioquia se predice un ANM de ~ 30 cm para el año 2030. En este escenario, los 512.5 km de su línea de costa estarán sujetos a la intensificación de amenazas como la erosión costera, la salinización de acuíferos, las pérdidas de ecosistemas estratégicos (manglares y playas) y las inundaciones recurrentes. Para el litoral del este del Golfo de Urabá se han estimado tasas medias de erosión de 2,4 m/año y retrocesos hacia tierra de línea de costa de hasta 1,7 km. Para las playas del Distrito de Turbo, constituidas principalmente por arenas medias a finas (Molina *et al.*, 2016; Caicedo y Hernández, 2016; CORPOURABA, 2017; CORPOURABA, 2018), se han estudiado sus problemas de erosión y respuestas geomorfológicas. Algunos autores han definido patrones de circulación de sedimentos litorales y evidenciado que las épocas

climáticas (seca/húmeda) y las actividades antrópicas han determinado la erosión y degradación la evolución de las playas (Velásquez, 2000; Correa y Vernet, 2004; Bernal *et al.*, 2005; Correa *et al.*, 2010; CORPOURABA, 2017; Jaramillo, 2018; CORPOURABA, 2018). Sin embargo, la cercanía o no al delta del río Turbo, ha producido acreciones de hasta 1,4 km<sup>2</sup> en Punta Yarumal (Hinestroza *et al.* 2021). De acuerdo con la información disponible, la continuación del ANM en el área del Golfo de Urabá y litoral abierto de Antioquia tendría muy probablemente consecuencias como las siguientes:

- La afectación del acuífero confinado costero del eje Bananero, con impactos importantes sobre al menos 333.000 personas y 350 fincas bananeras que utilizan el agua de este recurso (Villegas, 2013). Los niveles piezométricos de este acuífero responden rápido a las variaciones climáticas, con mayores descensos en la época seca en la cual se incrementa la explotación del agua subterránea para el riego de cultivos y los procesos industriales y domésticos (Universidad de Antioquia y CORPOURABA, 2014). Cerca de la línea de costa se encontraron sedimentos con agua salada, lo cual sugiere un estado incipiente de salinización del acuífero (Cárdenas, 2006; Jarma, 2007; Paredes *et al.*, 2010) indicando que su límite costero sufre de deterioro de la calidad de debido a cargas laterales de agua marina (Paredes, 2010; POMCA Río Turbo-Currulao, 2018).
- Las coberturas de manglares sufrirían modificaciones mayores. (Blanco *et al.*, 2012; Blanco, 2016). La caracterización y zonificación de los manglares de Urabá identificaron seis áreas de protección con una superficie de 271 Ha (CORPOURABA y Universidad de Antioquia, 2003). En estas áreas la cobertura de manglar se ha reducido, siendo para el año 2013 de 154 Ha (CORPOURABA, 2013). Los estudios que analizaron la respuesta de manglares y los cambios en la cobertura en relación con el ANM. sugieren que, en general, las coberturas de manglar cercanas a la línea de costa tienen pérdidas anuales de hasta -6,3 %, excepto en la zona delta del Atrato donde se presenta un alto grado de conservación (Blanco *et al.*, 2012; Hoyos *et al.*, 2013).
- Aumento de las inundaciones y tasas de erosión de playas y acantilados, dado el escenario de un ANM de hasta 30 cm para el año 2030 (INVEMAR, 2003). Aumentarían las afectaciones actuales en los litorales de Arboletes, Necoclí, Turbo y San Juan de Urabá, estimando un área de afectación de aproximadamente 294 m<sup>2</sup> (INVEMAR, Gobernación de Antioquia, CORPOURABA y Municipio de Turbo, 2010; Paredes, 2010; Universidad de Antioquia y CORPOURABA, 2013; Blanco, 2016).
- Retrocesos de línea de costa de hasta 1,3 km en el Municipio de Turbo (INVEMAR, 2017). Evaluaciones del riesgo ecológico indican que el municipio de Turbo presenta una categoría de riesgo alto frente a erosión costera, cambios de uso del suelo y contaminación marina (Yanes *et al.*, 2019). Finalmente, proyecciones indican que para el año 2070 se presentará un grado alto de amenaza frente al aumento de la temperatura superficial y la elevación del nivel del mar (Martínez *et al.*, 2016).

Una manera de calcular el riesgo es a partir del uso de métodos multicriterio, en el cual se realiza el análisis de variables asociadas a la amenaza y vulnerabilidad. Tienen dos tipos de enfoque, uno semi-cuantitativo que usa índices (INVEMAR, 2003) y uno cuantitativo que usa mediciones (Rangel y Posada, 2013). En ambos casos los parámetros caracterizados/medidos son físicos y/o geomorfológicos. Algunas metodologías utilizan los valores de los parámetros y sus incertidumbres asociadas, con el fin de evitar la subestimación y sobrestimación de variables derivadas del análisis, lo que las hace más

consistentes (Bruun *et al.*, 1962; Gornitz *et al.*, 1991; USGS, 1999; Málvarez *et al.*, 2000; McLaughling *et al.*, 2002; Kokot *et al.*, 2004 y Codignotto, 2005; Rangel y Posada, 2013).

Los métodos semi-cuantitativos han propuesto índices de vulnerabilidad y riesgo, que han sido empleados y adaptados por diversos trabajos (Málvarez *et al.*, 2000; McLaughling *et al.*, 2002; Anfuso y Martínez del Pozo, 2008; Rangel y Anfuso, 2009). Estos índices se caracterizan porque las variables utilizadas para su cálculo pueden ser elegidas de acuerdo con las características específicas del área de estudio. En relación a la incertidumbre de estos índices, estudios han sugerido la utilización de métodos estadísticos para disminuir el error en el cálculo del riesgo (Martí, 2011; Rangel y Posada, 2013). Otros sugieren que la incertidumbre está asociada a la elección del número de variables, ya que al parecer la incorporación de múltiples variables sobrestima los índices y aumenta el valor de vulnerabilidad (Kokot *et al.*, 2004).

Sin importar el enfoque, los análisis presentan algunos inconvenientes. Cuando se calcula el riesgo asociado con el ANM, se utiliza la amenaza por erosión y no por inundación, y no se consideran otras amenazas de la zona costera como la salinización (Rangel y Posada, 2013). Algunos autores han sugerido que es necesario incorporar en los análisis de vulnerabilidad variables sociales, económicas, de conservación y de patrimonio cultural (McLaughlin *et al.*, 2002; Rangel y Posada, 2013). Un análisis integral de riesgo de la zona costera, debe realizar una cuantificación adecuada de las variables más representativas de sus amenazas y una adecuada identificación de su vulnerabilidad.

Lo expuesto hasta ahora sugiere la necesidad de realizar estudios que permitan relacionar a escala regional y de manera adecuada el ANM con diversas amenazas. En el distrito de Turbo la playa de La Martina y las Playas Municipales son los principales lugares de turismo. En estas playas y zonas aledañas se ha demostrado de manera independiente la ocurrencia de altas tasas de erosión y el retroceso de la línea de costa. Así mismo se ha identificado la alta vulnerabilidad del acuífero costero a la salinización, la disminución de área de los ecosistemas estratégicos y la tendencia a la inundación de terrenos (CORPOURABA, 2016; Yanes *et al.*, 2019). Debido a esto, surge la necesidad de desarrollar herramientas para la estimación del riesgo por ANM mediante un análisis a escala local que involucren de manera integral las amenazas.

Con este fin se propone la generación de una metodología a partir del método multicriterio Rangel y Posada (2013), en el cual se incluirán además de la erosión e inundación, 2 amenazas adicionales (pérdida de ecosistemas estratégicos y salinización del acuífero). La cual servirá para una apropiada planificación territorial, ambiental y socioeconómica de las áreas costeras- Así mismo, permitirá identificar los lugares que requieren acciones para prevenir y/o mitigar los efectos del ANM, lo que conllevaría a la priorización de las inversiones de los entes territoriales y servirá como un instrumento para la toma de decisiones.

## **1. HIPÓTESIS**

Debido a que en la zona litoral del Distrito de Turbo el riesgo ha sido evaluado sin considerar simultáneamente amenazas como el ascenso del nivel medio del mar, la erosión costera, la salinización del acuífero, la pérdida de ecosistemas, las evaluaciones disponibles no son las más adecuadas y el cálculo del riesgo puede mejorarse significativamente utilizando conceptos y metodologías más adecuadas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Determinar el riesgo costero en dos playas del Distrito de Turbo, utilizando un método multicriterio semicuantitativo adaptado a las circunstancias específicas de cada sector.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar y priorizar los procesos y las amenazas presentes en la línea de costa de las playas Urbanas municipales y de la playa La Martina
- Determinar la vulnerabilidad del litoral costero relacionado con las amenazas caracterizadas. En cada uno de estos sectores
- Determinar los índices de riesgo costero a partir de las amenazas y vulnerabilidad determinadas para la línea de costa.
- Zonificar el área cercana a la línea de costa en función de su mayor o menor susceptibilidad a sufrir cambios asociados a las amenazas caracterizadas.

## 4. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presentan los principales conceptos que serán utilizados en el desarrollo de este trabajo de investigación.

### 4.1. Cambio climático y sus efectos en la zona costera

El cambio climático hace referencia a la variación en el estado medio de clima y/o la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante un período de tiempo prolongado. Puede deberse a procesos internos naturales, forzamientos externos y/o factores antropogénicos (Yepes-Mayorga, 2012; Guido-Aldana, 2017).

En las últimas décadas, los impactos de la variación climática se han hecho especialmente evidentes en las zonas costeras (IPCC, 2013; IPCC, 2014). Se estima que en los próximos decenios las costas aumentarán considerablemente sus poblaciones y por ende las presiones sobre sus ecosistemas (Ramis, 2009; IPCC, 2014). Como consecuencia, sus ecosistemas presentarán una alta fragilidad frente a presiones de origen natural o antrópico, siendo el cambio climático una de las principales causantes (Losada *et al.*, 2014). Las simulaciones climáticas pronostican un ascenso del nivel del mar entre 0,25 m a 0,82 m para el año 2100 (Walsh *et al.*, 2004; IPCC, 2013), incremento que hará a muchas zonas costeras cada vez más vulnerables ante amenazas como las inundaciones, la erosión y/o pérdidas totales de ecosistemas estratégicos, la salinización de terrenos, suelos y acuíferos, entre muchas otras identificadas (Figura 1) (Kennedy, *et al.*, 2002; Hoegh-Guldberg, 2005. Vides *et al.*, 2012).

A nivel de Colombia, el Cambio climático se está incorporando en las políticas de desarrollo. En los últimos años, este fenómeno es considerado como una variable esencial para la toma de decisiones y la articulación entre los diferentes instrumentos de gestión (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). En el Anexo 1 se presentan los antecedentes de la Política Nacional del Cambio Climático en Colombia y la normatividad asociada (MinAmbiente, 2016).

La **erosión litoral** se evidencia (vista en planta) por el retroceso (avance en la dirección de tierra) de la línea de costa (Ojeda, 2000; Caicedo y Hernández, 2016). Se genera en el marco de interacciones complejas y multitemporales entre procesos climáticos, meteorológicos, oceanográficos y sedimentarios, y modifica tanto la morfología de las zonas emergidas (inter y submareales) como la batimetría de los fondos submareales adyacentes, hasta la llamada "Profundidad de cierre" (Holmes, 1980; Aldana *et al.*, 2009; Manrique, 2012). Cuando en una zona litoral la cantidad de sedimentos que ingresa es menor que la cantidad de sedimentos removidos, el déficit se refleja por la erosión de las playas; en caso contrario, las playas tenderán a aumentar sus dimensiones físicas (ancho, largo, espesores) (Freebairn *et al.*, 1996; Magbagbeola, 2011; Earle, 2015; Vargas *et al.*, 2016). En las últimas décadas, más del 70 % de las playas del mundo muestran tendencia neta a la erosión (Bird, 1996; Ricaurte *et al.*, 2018). En el Caribe colombiano, el 30% de los 1642 km de playas está en erosión: De manera especialmente notable han sido afectadas las playas de La Guajira (168 km) y del Atlántico (37 km) (Posada y Henao, 2018). El litoral antioqueño cuenta con 514 km de línea de costa, donde la erosión costera ha sido la tendencia histórica predominante. Se registran valores de erosión de -2.36 m/año y retrocesos de línea de costa del orden de los -174.34 m (Correa y Vernet, 2004; Bernal *et al.*, 2005; García y Sierra, 2007; INVEMAR, Gobernación de Antioquía, CORPOURABA y Alcaldía de Turbó, 2010).

Un acuífero costero es una formación geológica que almacena agua conectada hidráulicamente con el mar (López y Gómez, 2007). Se caracterizan por presentar un equilibrio hidrostático entre el agua dulce y el agua salada de origen marino que, debido a su mayor densidad intenta penetrar tierra adentro, en forma de cuña ubicada en la base del acuífero (Custodio, 2004; López y Gómez, 2007). Cuando se presenta una modificación natural o antrópica de las condiciones hidrostáticas, el flujo de agua dulce hacia el mar disminuye y el frente de agua marina invade el continente generando **intrusión salina** (Morell y Hernández, 2000; López y Gómez, 2007). En los últimos años, numerosos trabajos han evidenciado como el ANM ha incrementado la intrusión salina en acuíferos costeros (Sherif y Singh, 1999; Döll 2009; Ranjan *et al.*, 2009; Werner y Simmons 2009; Carretero y Kruse, 2012). Los aportes de agua salada al continente impiden que el agua dulce regrese a su ubicación inicial, se aumenta la salinidad en las aguas subterráneas con la consiguiente **salinización del acuífero**, afectando la calidad del agua y su uso (López y Gómez, 2007; Carretero *et al.*, 2012). Una vez que se produce el aumento de la salinidad, el proceso evoluciona con extrema rapidez (Morell & Hernández, 2000).

En cuanto a las inundaciones costeras, es definida como el proceso mediante el cual la tierra queda sumergida bajo una capa de agua por un determinado tiempo. Las causas de las inundaciones costeras son variadas, además de estar asociadas a diversos fenómenos y forzamientos que actúan a distintas escalas (Seisdedos *et al.*, 2013; Ballesteros *et al.*, 2017). La causa más frecuente es la acción de oleajes energéticos que provocan aumento del nivel del mar debido a la acción del viento soplando hacia la costa en periodos de mareas altas. Debido al cambio climático las inundaciones costeras son cada vez más frecuentes en las zonas litorales bajas. Las inundaciones pueden destruir comunidades ecológicas (vegetación, animales), bien porque las cubren o porque las arrastran, afectando a la capacidad de rebrotamiento y colonización (Saurí, 1997; Seisdedos *et al.*, 2013).

Los ecosistemas estratégicos por su parte son áreas definidas del territorio donde se concentran funciones naturales de las que dependen de manera especial y significativa bienes y servicios ecológicos (Fandiño, 2011). Se caracterizan por mantener procesos ecológicos básicos como: regulación de clima, depuración de aire, suelos y conservación de la biodiversidad. Para efectos del desarrollo de la presente investigación se abordarán los ecosistemas de playas y ecosistemas de manglares.

La playa se define como un volumen de materiales no consolidados (principalmente arenas y gravas) ubicado en la interfaz mar – continente. Sus materiales constituyentes han sido transportados al litoral por numerosos agentes geológicos y moldeado por corrientes, oleaje, viento. Las playas aparecen en numerosos ambientes, comúnmente en costas abiertas, en las bocanas de los estuarios, bahías y golfos y en las desembocaduras de los ríos (Castaño, 2002; Ceballos, 2002; Díaz, 2015). Ecológicamente las playas son espacios dinámicos influidos por redes de interacciones físicas, químicas y biológicas (Carranza y Nolzco, 1988; González y Torruco., 2012). Equivocadamente, se han entendido como un anexo de espacios turístico-hoteleros y urbanos, obviando sus características ambientales, las funciones de reservas sedimentológicas, y la importancia como hábitat de numerosas especies (Schmitt 1994; Ceballos, 2002). Los ecosistemas de playa representan uno de los ambientes marinos más completos para las comunidades de animales macrobentónicos (González y Torruco, 2012; Díaz, 2015; González *et al.*, 2017).

En cuanto a los manglares, pueden considerarse como una comunidad vegetal compuesta por arboles leñosos de especies adaptadas a condiciones anfibas, ubicados en litorales tropicales y subtropicales de suelo plano y fangoso (estuarios, bahías, ensenadas, lagunas



costeras (Mejía et al. 2014). Suelen estar directamente en contacto con el mar y con el ambiente terrestre. Los manglares presentan adaptaciones fisiológicas y morfológicas en sus raíces, hojas y tronco, que les permiten crecer en terrenos inestables, sin oxígeno y rodeados de agua de mar (Sánchez et al., 2000; Lara et al., 2008; Díaz, 2015). La ubicación de los manglares depende de la salinidad, nivel de agua, pH, aporte de sedimentos, niveles de oxígeno, estrés hidrodinámico, competencia con otras especies, y tipo de sustrato entre otros (Lara et al.; 2008). Las condiciones ambientales que propician el desarrollo de estos ecosistemas son: temperaturas superiores a 20 °C, terreno de grano fino, áreas con olas y vientos débiles y baja pendiente del perfil. El agua salada es un elemento fundamental, pero no indispensable, ya que para su normal desarrollo toleran amplios intervalos de salinidad del suelo y del agua (Castaño, 2002).



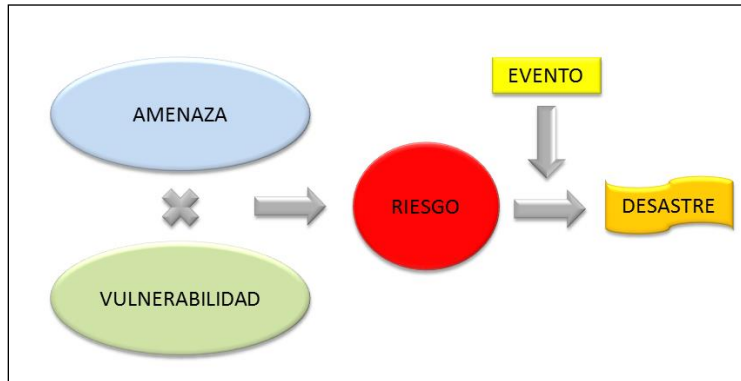
**Figura 1.** Procesos asociados al cambio climático.

#### 4.2. Riesgo costero: amenaza-vulnerabilidad

El riesgo costero puede ser definido como la expectativa de pérdidas en un ecosistema con un alto nivel de vulnerabilidad, debido a la ocurrencia de un evento amenazante, durante un período concreto (**Figura 2**) (Huang *et al.*, 2018). Matemáticamente, el riesgo puede representarse como el producto entre la amenaza y la vulnerabilidad (Granger *et al.*, 1999; Escudero *et al.*, 2012; Rumson *et al.*, 2017; Huang *et al.*, 2018) de acuerdo a la siguiente expresión:

$$R = A * V \quad \text{Ecuación (1)}$$

donde,  $R$  es el riesgo,  $A$  es la amenaza y  $V$  es la vulnerabilidad (todas adimensionales). Por lo tanto, una vez conocida la amenaza y la vulnerabilidad, el riesgo puede expresarse como la probabilidad de una pérdida sobre el sistema como resultado de la ocurrencia de un suceso.



**Figura 2.** Amenaza x Vulnerabilidad = Riesgo.

La amenaza costera puede ser definida como la probabilidad de que un fenómeno con potencial considerable para causar desequilibrios en los sistemas marino costeros, se manifieste con cierta intensidad, en un sitio específico y durante un tiempo de exposición determinado (Fernández *et al.*, 2017). Son muchas las amenazas a las que están expuestas las zonas costeras, sin embargo, debido al cambio climático que produce el aumento del nivel medio del mar, se resaltan: la erosión costera y las inundaciones (relacionadas con factores naturales como: dirección y velocidad del viento y de las corrientes marinas, energía del oleaje, intensidad de lluvias, nivel medio del mar y composición geomorfológica (tipo de sedimentos, geoformas) y por cambios inducidos por la actividad humana, la salinización de acuíferos (puede depender entre otras cosas de: distancia a la línea costa del acuífero, altura piezométrica, litología del acuífero, recarga neta y extracción de caudal (en caso de que se presenten intervenciones humanas) y la pérdida de ecosistemas como la playa puede estar determinada por: granulometría, porosidad, naturaleza del sustrato, pendiente de la playa y los factores oceánicos y atmosféricos antes mencionados. En el caso de ecosistemas de manglar, la amenaza puede asociarse a la temperatura del agua, la salinidad, el déficit hídrico y la energía del oleaje (Martí, 2011; Blanco, 2016).

La vulnerabilidad costera se define como el grado de pérdidas o daños de los ecosistemas costeros y su capacidad de absorber y/o adaptarse a determinado cambio, ante la probable ocurrencia de una amenaza (Martí, 2011; Rangel y Posada, 2013; Fernández *et al.*, 2017). Un ecosistema es muy vulnerable cuando con mínimos estímulos puede deteriorarse mucho (Huang *et al.*, 2018) (Ver anexo 2).

Entre las diversas metodologías desarrolladas para la evaluación de la vulnerabilidad costera, cabe destacar el Coastal Vulnerability Index (CVI), un índice que evalúa la vulnerabilidad costera inducida principalmente por el ascenso del nivel del mar (Gortniz y Kanciruk, 1989), y por amenazas de erosión y/o inundación (Koroglu *et al.*, 2019). El CVI puede ser utilizado en cualquier entorno costero, dado que a diferencia del rango mareal los demás factores responsables del cambio en la costa suelen ser similares (Pendleton *et al.*, 2010; Gómez *et al.*, 2016). Algunas de estas variables representan a los agentes inductores de los impactos de inundación y/o erosión, mientras que otras representan las características del sistema que modulan dichos impactos (Martí, 2011).

Este índice fue adaptado por la USGS (1999) y posteriormente utilizado en varios de estudios (Málvarez et al., 2000; Domínguez *et al.*, 2005; Anfuso y Martínez, 2008; Mendoza y Jiménez, 2009; Bosom y Jiménez, 2011; Martí, 2011; Rangel y Posada 2013; Ramos *et al.*, 2016; Huang *et al.*, 2018; Fernández *et al.*, 2018). El CVI se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$CVI = \sqrt{\frac{a * b * c * d * e * f}{6}} \text{ Ecuación (2)}$$

Dónde: *a* es la resistencia a la erosión, *b* es la tasa de erosión, *c* es un índice topográfico, *d* es la altura significativa del oleaje, *e* es la tasa de cambio del nivel medio del mar y *f* es el intervalo mareal.

#### Metodología para el cálculo del riesgo en la zona costera:

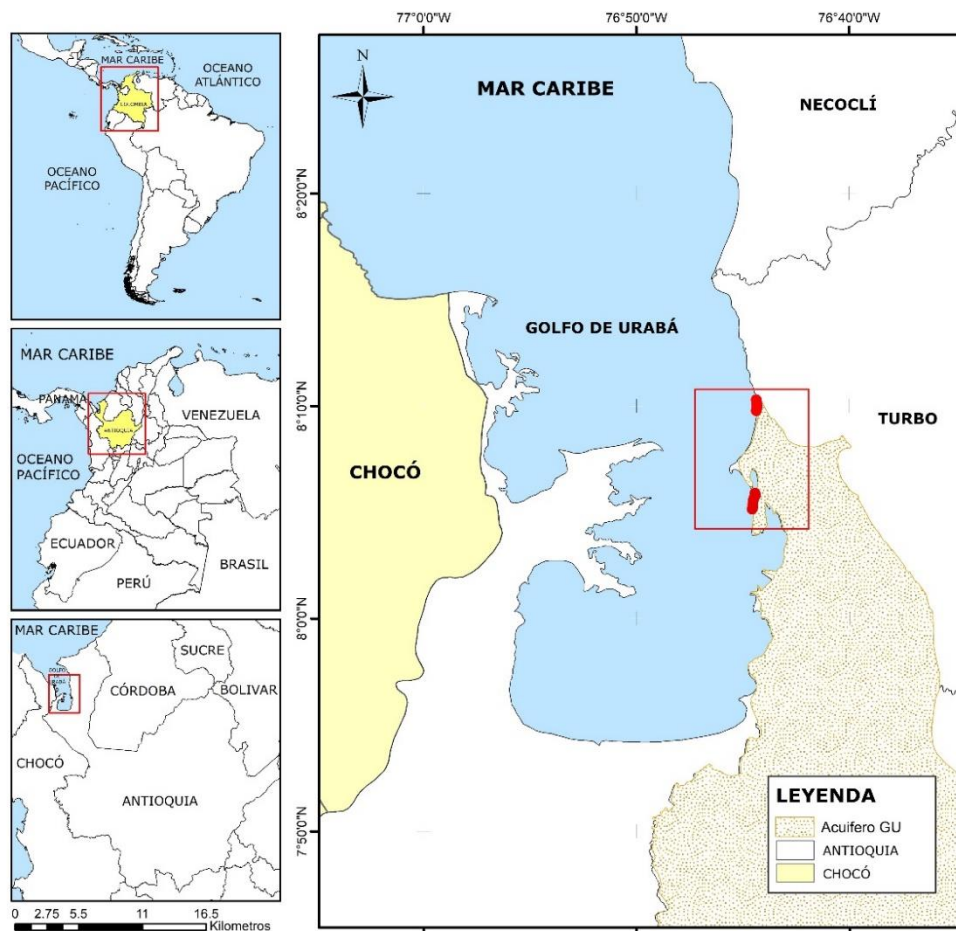
Para calcular el riesgo en la zona costera, existen métodos multicriterio que permiten el análisis de numerosas variables asociadas con la amenaza y vulnerabilidad. Estos métodos se usan sobre todo en sitios donde las variables son diversas, ya sea por su origen o por sus características (Nagata y Alvarado, 2013). El método consiste principalmente en la jerarquización de las variables a partir de su ponderación, de acuerdo con el nivel de influencia que estas pueden tener sobre los procesos costeros (Rivera *et al.*, 2010; Muñiz y Hernández, 2012).

Rangel y Posada (2013) utilizaron el método multicriterio para la determinación del riesgo costero. Para esto adaptaron la metodología desarrollada por Gornitz *et al.*, (1994) a las condiciones específicas de su área de estudio. Luego llevaron a cabo una evaluación detalla de la vulnerabilidad y la amenaza a partir de una aproximación semi-cuantitativa. Esta aproximación está basada en la utilización de índices, los cuales se definían mediante la evaluación de 17 variables: 10 correspondientes a las amenazas y 7 a la vulnerabilidad.

## 5. ÁREA DE ESTUDIO

El Distrito de Turbo se ubica en el extremo noreste del Departamento de Antioquia, en el denominado Urabá Antioqueño (Figura 3). Su extensión territorial es de 3.055 km<sup>2</sup> y tiene una longitud de línea de costa de 386 km. El área del Distrito está dentro de la región conocida como el Chocó biogeográfico, considerado como una importante reserva ecosistémica del planeta.

Para los fines de este estudio, se diseñó una serie de índices mediante la evaluación de los principales procesos costeros de interés. Los tramos litorales estudiados se seleccionaron en función de que tuvieran influencia sobre el acuífero costero del golfo de Urabá y presentaran ecosistemas de playas y manglares. Con estos criterios básicos, las dos zonas seleccionadas corresponden a las áreas conocidas como playa La Martina y las Playas Municipales.



**Figura 3.** Área de estudio. Izq. Arriba, se observa en un rectángulo rojo la ubicación de Colombia respecto al Caribe. Izq. Centro, ubicación del Departamento de Antioquia respecto a Colombia. Izq. Abajo, ubicación del golfo de Urabá en los departamentos de Antioquia y Chocó. Der. Zonas de estudio (áreas rojas), ubicadas en el Distrito de Turbo: Playa municipal (abajo) y La Martina (arriba).

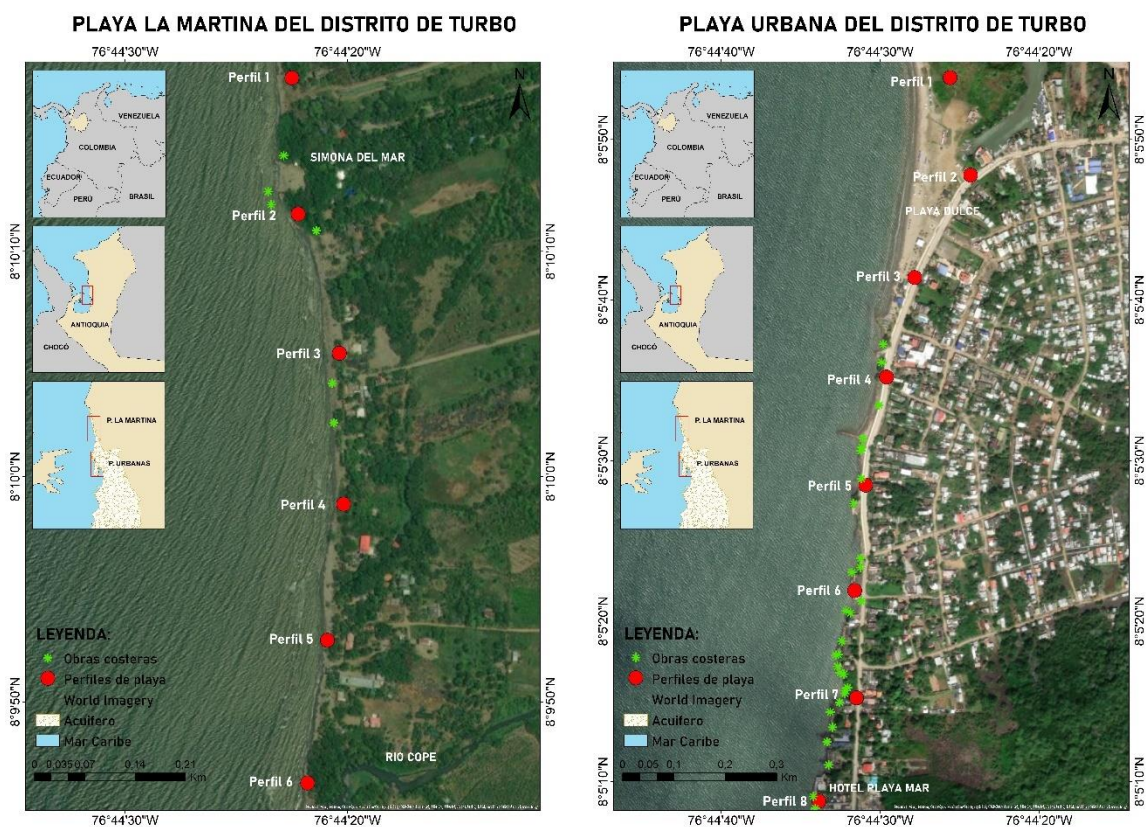
A continuación, se describe de manera general cada uno de los tramos de estudio:

## 5.1. La Martina

Se ubica entre las coordenadas  $76^{\circ}44'22,5''$  W -  $8^{\circ}10'17,7''$  N hasta las coordenadas  $76^{\circ}44'21,8''$  W -  $8^{\circ}09'46,4''$  N. Su línea de costa se encuentra segmentada en cinco (5) tramos, en una cuadrícula de 1,2 km x 0,5 m. Al norte se encuentra el Centro Ecoturístico Simona del Mar y hacia el sector sur está la desembocadura del río Cope (Figura 4a). A lo largo de los 1,2 km de longitud de esta playa se localizan numerosos locales comerciales (estaderos, restaurantes), hoteles y cabañas y seis (6) obras de protección costera no rígidas, elaboradas con troncos provenientes del mar.

## 5.2. Playa Municipal

Se extiende entre las coordenadas  $76^{\circ}44'25,6''$  W,  $8^{\circ}05'53,9''$  N y  $76^{\circ}44'33,8''$  W,  $8^{\circ}05'08,8''$  N y se segmentan en siete (7) tramos, en una cuadrícula de 2,4 km x 0,5 km. El sector comienza en Playa Dulce, incluye la Bahía del Uno; antigua bocana cerrada en 2015 por la acreción debida a depósitos sedimentarios (Caicedo y Hernández, 2016). Hacia el sur se encuentra el estadero Playa Mar (Figura 4b). Estas playas tienen alta intervención antrópica presentándose zonas urbanas, establecimientos comerciales y 38 obras rígidas de protección, principalmente muros de contención y espolones.



**Figura 4.** Localización detallada de las playas de estudio. (a) Playa la Martina; (b) Playa municipal del Distrito de Turbo.

## 6. METODOLOGÍA

Para la determinación del riesgo costero en las dos de estudio zonas se aplicó un método multicriterio, adaptando la metodología aplicada por Rangel y Posada (2013) y Fernández et al., (2017), caracterizada por ser integral y relacionar los diferentes procesos costeros. En el ítem siete (7) se presentan los resultados de la metodología aplicada para alcanzar los objetivos planteados en el ítem 2 (Figura 5).

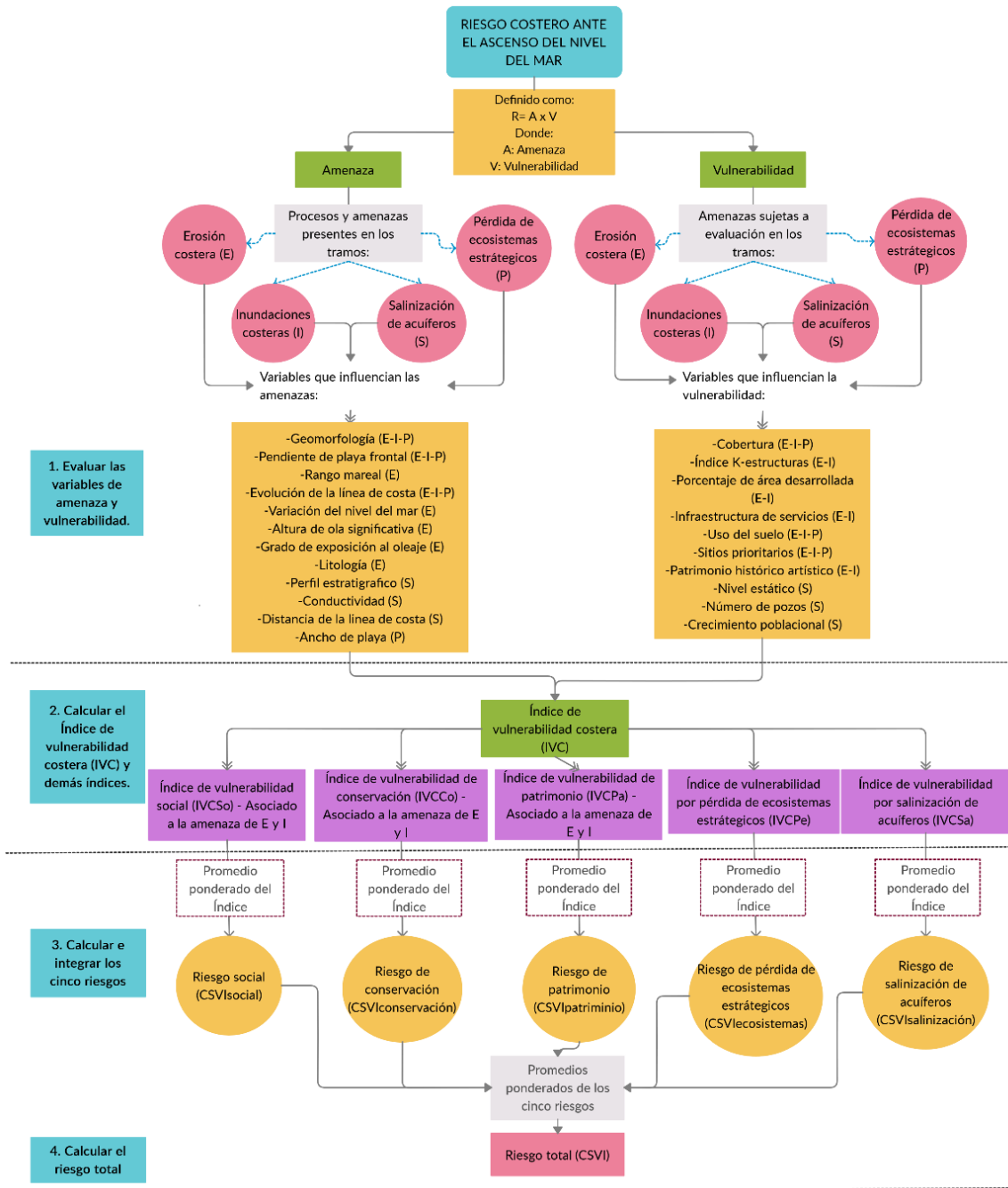


Figura 5. Estructura metodológica para el alcance de los objetivos.

## 7. DESARROLLO METODOLÓGICO Y RESULTADOS

A continuación, se describe el desarrollo metodológico y los resultados de acuerdo a los objetivos planteados.

### 7.1. Subcapítulo 1: Caracterización y priorización de los procesos presentes en la línea de costa del distrito de Turbo.

#### 7.1.1. Desarrollo metodológico.

Se realizó la caracterización general de los componentes bióticos, físicos y socioeconómicos del área de estudio, para lo cual se usó información primaria y secundaria.

##### *Componente biótico (Manglares)*

En relación al componente biótico asociado con el ecosistema de manglar, en el Distrito de Turbo se ha evidenciado disminución en la cobertura del ecosistema de manglar (CORPOURABA y Universidad de Antioquia, 2013; Blanco-Liberos, 2016). Los manglares ubicados cerca a centros poblados están sometidos a presiones, relacionadas principalmente con el crecimiento poblacional, concentración de la propiedad, ilegalidad en la tenencia de la tierra y la urbanización (Blanco-Liberos y Estrada-Urrea 2015, Bosire *et al.*, 2014, FAO 2007), las cuales generan entre otras, sobreexplotación de los manglares (Taborda-Marín *et al.*, 2013). Reconstrucciones históricas muestran una clara tendencia a la disminución de las coberturas vegetales boscosas dentro del caso urbano y en la zona rural, promovidos principalmente por la invasión de zonas de bajamar para el desarrollo urbanístico y el establecimiento de cultivos y potreros (Taborda-Marín *et al.*, 2013; Blanco-Liberos y Estrada-Urrea 2015; Blanco-Liberos, 2016; Aimée *et al.*, 2016). En la costa oriental de Turbo se encuentran planicies formadas por playas y playones y depósitos aluviales que se alternan con pantanos de manglar (Castaño, 2002).

En el sector correspondiente a Playas Municipales, a lo largo de la línea de costa se observan algunos relictos de mangle. En total se identificaron siete (7) árboles de la especie *Rhizophora mangle* (Mangle rojo) y dos (2) de *Laguncuraria racemosa* (Mangle Blanco), ubicados en zonas con un alto nivel de antropización. En cuanto al sector Playa La Martina, se indentificó en el lado norte de la desembocadura del río Cope un relikto de bosque manglar en un área de aproximadamente 80 m<sup>2</sup>, donde se observaron tres (3) especies de mangle: *Rhizophora mangle* (Mangle rojo), *Laguncuraria racemosa* (Mangle Blanco) y *Avicennia Germanis* (Mangle Humo), siendo el mangle rojo la especie predominante. Así mismo a lo largo del tramo se identificaron alrededor de nueve árboles de mangle rojo, de los cuales la mayoría se concentraban en la desembocadura la madre vieja del río Cope.

##### *Componente biótico (Playas)*

En relación al ecosistema de playas los procesos de erosión han sido la tendencia histórica predominante. En el Distrito de Turbo, se han registrado valores de erosión de -2.36 m/año y retrocesos de línea de costa (LC) de hasta -174 m, sin embargo es importante resaltar sectores como Punta Yarumal, donde la influencia de la dinámica del delta de río Turbo ha producido acreciones de hasta 1,4 km<sup>2</sup> del plano deltáico. Además, factores como el cambio estacional en el régimen de oleaje, entre la época seca y húmeda determina entre otras, la dinámica de las playas del Distrito (CORPOURABA, 2015; Molina *et al.*, 2016; Caicedo y Hernández, 2016, CORPOURABA, 2017).

El tramo correspondiente a Playas Municipales, puede dividirse en dos (2) sectores. Hacia el norte se evidencian playas con procesos de depósitos sedimentarios, en los primeros 600 m se presentan extensiones de playa que oscilan entre 60 m y 210 m esto puede deberse entre otras a las intervenciones antrópicas relacionadas con el depósito de material de playa y a la dinámica del delta de río Turbo que ha influenciado procesos de acreción en esta zona (Taborda-Marín *et al.*, 2013; Molina *et al.*, 2014; Caicedo y Hernández, 2016, CORPOURABA, 2019), así mismo se observa al inicio del tramo extensa cobertura vegetal. Para el año 2018 en esta zona se reportaron tasas de avance de la línea de costa entre 0,01 m/año y 6,4 m/año y valores máximos de movimiento de línea de costa de hasta 15 m. En el sector sur por su parte, se evidencian zonas con poca o nula extensión de playa y alta intervención antrópica presentándose intervenciones urbanas, establecimientos comerciales y 38 obras de protección costera. (tejido urbano, obras de protección costera). En el año 2018 se reportaron tasas de erosión de hasta 5,9 m/año y valores máximos de retroceso de la línea de costa de 6.0 m.

Playa La Martina se caracteriza por presentar una intervención antrópica más baja en relación con Playas Municipales. El norte del tramo se caracteriza por presentar las mayores extensiones de playa, en los primeros 400 m se pueden evidenciar anchos de playa que oscilan entre los 30 m y 90 m, con valores de acreción para el año 2018 que van desde los 3,18 m/año hasta los 12,86 m/año y valores de avance de línea de costa entre 9,76 m y 39,53 m. Hacia el sur se identifican playas menos extensas con tendencia a la erosión, las cuales presentaron para el año 2018 tasas de erosión de hasta -5.57 m/año y valores máximos de retroceso de línea de costa de -17,13 m. Durante la época seca se incrementan los procesos erosivos cuya mitigación se realiza con seis obras de protección costera no rígidas. En este tramo se encuentran viviendas y establecimientos comerciales. Así mismo es importante tener en cuenta que en una longitud de aproximadamente 75 m, se presenta vegetación rastrera propia de este tipo de ecosistemas, tales como el uvo de playa "*Coccoloba uvifera*".

### *Componente físico*

La climatología se encuentra influenciada por el movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical, que determina dos épocas climáticas: seca y húmeda. Entre los meses de junio y julio, con vientos débiles sin dirección definida se presenta una época de transición llamada Veranillo de San Juan y se produce antes de que la ZCIT capte la posición más septentrional (Andrade, 1993; Chevillot *et al.*, 1993; Poveda, 2004; Caicedo y Hernández, 2016; Osorio *et al.*, 2018; Higueta y Quintana, 2020). En el golfo de Urabá La temperatura superficial del mar oscila entre 25.5 °C y 29.7 °C (Bernal *et al.*, 2006) y se han reportado valores de ascenso del nivel del mar de hasta 17 mm/años (Londoño y Murillo, 2018). El ciclo mareal presenta un régimen micromareal de tipo semidiurno mixto con amplitudes de +/- 40 cm (Hinestroza *et al.*, 2021).

A continuación, se presenta un resumen de las principales de las principales variables físicas en la zona de estudio (Tabla 1).



**Tabla 1.** Características físicas de la zona de estudio.

<b>Climatológicas</b>		
<b>Variable</b>	<b>Época seca</b>	<b>Época húmeda</b>
Precipitación	40 – 100 mm/mes	200 - 300 mm/mes
Vientos	4,9 - 5,6 m/s	3,7 - 4,3 m/s
Migración ZCIT	2° N	15 ° N
<b>Oceanográficas</b>		
<b>Variable</b>	<b>Época seca</b>	<b>Época húmeda</b>
Oleaje	Mar de fondo - Tipo swell (predominante)	Mar de viento - Tipo wind sea (predominante)
Dirección del oleaje	NW (predominante)	NE (predominante)
Altura de ola significativa	0,6 m	0,4 m
Periodo pico	11 s	4 s
<b>Playas Municipales</b>		
Dirección de corriente	Sur (Predominante)	Norte (predominante)
Velocidad de corriente	0,1 m/s	0,1 m/s
<b>Playa la Martina</b>		
Dirección de corriente	Sur	Norte (predominante)
Velocidad de corriente	0.01 - 0.27 m/s	0,1 m/s
<b>Granulometría</b>		
Playa la Martina	Distribución de grano desde arenas gruesas a arenas medias	Sorteamiento sedimentario clasificados como muy bien, bien y moderadamente seleccionados
Playas Municipales	Distribución de grano desde arenas de grano medio con lodolitas	Sorteamiento sedimentario clasificado como moderadamente bueno

## Geología

El distrito de Turbo se encuentra sobre tres cuencas; Atrato, Urabá y Sinú. Estas presentan un basamento ígneo-sedimentario, constituido por corteza oceánica cretácica suprayacida por una unidad vulcanoclástica paleocénica con edades cretácicas y el paleocénicas. La zona en su parte baja está constituida por rocas sedimentarias del Terciario y depósitos aluviales del Cuaternario (Paredes, 2010; Villegas, 2013). Estas características permiten la configuración del acuífero costero del eje bananero de Urabá, con un área de 103.000 Ha. De esta área total el distrito de Turbo cuenta con 34.382 Ha (33 %). El acuífero puede alcanzar recargas de 29,1 millones m<sup>3</sup>/año. Este es un acuífero confinado con recarga en la parte oriental, en el pie de monte de la serranía de Abibe, entre los 50 msnm y 200 msnm. Diversos estudios han evidenciado en el acuífero la presencia de contenidos altos de sales que podrían estar ligados a la interacción agua-roca o a mezclas con agua marina como resultado de procesos de transgresión-regresión en la zona de estudio (Paredes et al., 2010; Paredes, 2010).

En el tema geológico, es necesario mencionar el fenómeno del diapirismo de lodo y subsidencia. Correa y Vernet (2004) mencionan que el diapirismo de lodo puede ser uno de los moduladores de la erosión litoral en Arboletes y Damaquiel. En estos lugares se ha evidenciado la formación de una extensa superficie regular (terrazza) con alturas de 5-10 metros sobre el nivel del mar probablemente debido a fenómenos de subsidencia local (Correa et al., 2016; Herrera y Diaz, 2018; Servicio Geológico Colombiano, 2017).

Turbo posee una línea costera de 386 km, compuesta por llanuras bajas y planas con superficies inundables cenagosas con fondo lodoso y abundante materia orgánica producida por el crecimiento de manglares.

### *Componente socioeconómico*

La población del distrito de Turbo corresponde al 2,6 % de la población del Departamento de Antioquia y el 0,35 % del País (DANE, 2005). La densidad demográfica y el índice de necesidades básicas insatisfechas están por encima del nacional (densidad: 43 hab/km<sup>2</sup> – NBI: 25,8 %), este último es atribuible al hacinamiento crítico (número de personas por hogar), viviendas inadecuadas, ausencia de sistemas de saneamiento básico y contaminación de fuentes hídricas (Tabla 2).

**Tabla 2.** Características socioeconómicas – Turbo.

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>
No de habitantes	176.813
Densidad demográfica (hab/km <sup>2</sup> )	58
NBI (%)	64,1

El distrito de Turbo posee un alto potencial ecoturístico. En cuanto al turismo de sol y playa, Turbo tiene la mayor infraestructura de hospedaje. El agroturismo gira en torno a la interacción con las plantaciones bananeras pues Turbo tiene la mayor área sembrada (INVEMAR y Gobernación de Antioquia, 2007). En el área se ofrecen caminatas y excursiones usando zonas de reserva y Parques Nacionales, así como actividades de visitas culturales, históricas y folclóricas. El etnoturismo está relacionado con las comunidades Emberas y Kunas, y con el turismo de artesanía alrededor de los tejidos de caña flecha, calceta de plátano, palma de iraca, al igual que la talla de madera y bisutería (Palacios, 2012). En el Distrito de Turbo se están ejecutando dos proyectos de infraestructura portuaria: Puerto Pisisí y Puerto Antioquia (ICP, 2018).

El distrito de Turbo el uso del suelo se da sobre bosque húmedo tropical (Pérez, 2007), el mayor porcentaje de uso de suelo (53,8%) está dedicado a pastos seguido por áreas urbanas, lagos, ciénagas, represas, ríos, etc. (30,1%), rastrojos (11%), cultivos (5%) y los bosques (0,1 %).

#### 7.1.1.1. Caracterización y priorización de las amenazas.

Con el fin de caracterizar las amenazas presentes en los tramos a estudiar se realizó una búsqueda de información secundaria. En relación a las amenazas globales, se tuvo en cuenta las planteadas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2014). A escala regional se consideraron los estudios desarrollados por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (INVEMAR, 2017) y el Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS, 2010), donde analizaron varias amenazas que pueden presentarse en el Caribe colombiano (Paredes, 2010; Blanco, 2016; Camacho y Pérez, 2014; CORPOURABA, 2017; 2018). Las amenazas identificadas en los estudios relacionados anteriormente se presentan en el Anexo 3.

A partir de los estudios relacionados anteriormente, se realizó una revisión bibliográfica en la cual se identificaron las amenazas reportadas en la línea de costa del área de estudio.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la ausencia de información relacionada con algunas amenazas, no indica que las mismas no se presente en el área de estudio. Además, que las investigaciones identificadas no corresponden al total de las realizadas en la zona, en relación a las amenazas, sino a aquellas que se lograron recolectar para el desarrollo de la presente investigación.

Revisión bibliográfica de amenazas en la zona de estudio:

A continuación, se describen de manera general los estudios encontrados en la zona, en relación a las diferentes amenazas. Los mismos se relacionan es la introducción del presente documento.

**Tabla 3.** Investigaciones reportadas en la fase “Revisión bibliográfica de amenazas en la zona de estudio”.

Amenaza	Número de estudios	Años	Autores	Datos relevantes
Erosión Costera	10	1987-2019	(Santamaría & Ramírez, 1987); (Aristizábal et al 1990); (Correa, 1992); (Correa & Vernet, 2004); (Agámez & Arrieta, 2005); (Correa et al 2010); (Córdoba & Ibarquén, 2016); (Hernández & Caicedo, 2016); (Universidad de Antioquia & Gobernación de Antioquia, 2018); (CORPOURABA, 2019).	Se han evidenciado perdidas de playas del orden de decenas de metros y la destrucción total o parcial de la infraestructura física y turística de la zona en las últimas décadas
Pérdida de ecosistemas estratégicos	8	1997-2019	(Díaz-Pullido, 1997); (Valencia & Polanco, 2010); (Pérez & Urrego, 2012); (Taborda-Marin et al 2013); (Camacho & Pérez, 2014); (Blanco, 2016); (Ramírez, 2018); (CORPOURABA, 2019).	Estudian la biodiversidad, la deforestación del ecosistema de manglar y sus impactos en los deltas de ríos y otras zonas de estudio. La extensión del área de manglar ha disminuido debido principalmente a factores antrópicos. Así mismo, estudian la evolución del ecosistema de playa, evidenciando sectores de acreción y retroceso.
Propagación de enfermedades transmitidas por vectores	2	1995-2004	(Carmona-Fonseca, 2003); (Carmona-Fonseca, 2004).	En la zona de Urabá, entre los años 1995 y 2001, los casos de malaria representaron entre el 16 % (año 2000) y el 45 % (año 2001) del total de los casos a nivel nacional

Salinización de acuíferos	3	2010-2013	(Paredes, 2010); (Paredes et al 2010); (Villegas, 2013).	Se encontró la presencia de contenidos altos de salinidad en algunos puntos muestreados, que podrían estar ligados a la interacción agua-roca, o a mezclas con aguas que se salinizaron como resultado de procesos de transgresión-regresión
Temperatura superficial del mar (TSM)	4	2006 - 2018	(Bernal, 2006); (Montoya, 2010); (Vélez & Aguirre, 2016); (Guevara & Velásquez, 2018).	Para la zona de Urabá se estimó una temperatura media de 28.16 °C, arrojando que la temperatura se mantiene oscilando entre 20 °C y 30 °C
Diapirismo de lodo y subsidencia	4	2004 - 2018	(Correa & Vernet, 2004); (Correa <i>et al.</i> , 2016); (Herrera & Diaz, 2018); (Servicio Geológico Colombiano, 2017).	Se identificó el diapirismo de lodo como una posible causa a la erosión entre las áreas de Arboletes y Damaquiel, ambas con importantes manifestaciones diapíricas en su franja litoral y plataforma somera adyacente.
Inundaciones costeras	1	2018	(POMCA Río Turbo-Curralao, 2018)	Inundaciones costeras causadas por olas ciclónicas, generadas por fuertes vientos costeros y/o por celdas de muy baja presión y tormentas oceánicas
Deshielo de los glaciares, expansión térmica, Intensidad/frecuencia de huracanes, acidificación marina	0	N/A	No se encontró estudios relacionados sobre estas variables en el golfo de Urabá.	N/A
Potencial de captura de peces	1	1992	(Romaña-Valencia & Acero, 1992)	Están relacionados con las tallas aptas para capturar los peces, el contenido estomacal de algunas especies de peces y la actividad pesquera como actividad económica

### Validación visual en campo de amenazas presentes en la zona de estudio

Se llevó a cabo una fase de campo comprendida entre los meses de enero y marzo (época seca). A partir de recorridos a lo largo de la línea de costa e inspección visual se identificaron diferentes amenazas:

Se encontraron diversas obras de protección costera; rígidas en Playas Municipales y no rígidas en Playa La Martina, usadas para contrarrestar los procesos erosivos en litorales

(Rangel-Buitrago *et al.*, 2012), esto en contraste con la información bibliográfica del área de estudio, es un indicio de que en la zona se presenta erosión costera.

El 18 de febrero del 2020 se identificó en Playas Municipales un evento de inundación costera. En esta fecha, se registraron niveles máximos de nivel de mar entre 0,3 m y 0,4 m, siendo 0,4 el valor pico del mes (Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, 2020). Así mismo, se presentaron pleamares de hasta 0,6 m los cuales son los datos más altos registrados para el mes de febrero (IDEAM, 2019) y vientos de dirección norte con intensidades de 7 a 11 nudos con alturas de oleaje máximas de 1,5 m (CIOH, 2020).

En ambas playas, se identificaron relictos de manglares de las especies *Rhizophora mangle* (Mangle rojo), *Laguncuraria racemosa* (Mangle Blanco) y *Avicennia Germanis* (Mangle Humo). Se destaca en playa La Martina al norte de la desembocadura del río Cope, un área de bosque de manglar de 80 m<sup>2</sup>. Los ecosistemas encontrados se encuentran en zonas con intervención antrópica. La cantidad y la ubicación es un indicio que ha habido una reducción de este ecosistema.

En playas Municipales se identificó un asentamiento del suelo en las viviendas aledañas a la línea de costa y las infraestructuras presentes a lo largo de los tramos de estudio. Se observó un desplazamiento vertical del terreno debido al peso o carga aplicada a las viviendas construidas en el sector, causando que éstas no estén niveladas sino asentadas.

El registro fotográfico de la salida se puede observar en el Anexo 4.

#### Valoración de amenazas:

La valoración de las amenazas se realizó teniendo en cuenta seis (6) criterios principales:

##### 1. Estudios previos

Relacionado con la cantidad de investigaciones reportadas en la fase “*Revisión bibliográfica de amenazas en la zona de estudio*”, donde se identificaron en total 47 estudios. Se tomó como referencia las 47 investigaciones encontradas (NET), considerándose estas como el 100 %. De acuerdo a esto, se aplicó para cada una de las amenazas la siguiente ecuación:

$$R (\%) = \frac{NE * 100}{NET} \text{Ecuación (3)}$$

dónde, R es la Representatividad, NE es el Número de estudios por amenaza. Se propusieron intervalos cada 25 y se les asignó el valor central de acuerdo con la Tabla 4.

**Tabla 4.** Intervalo de representatividad y valores.

Intervalo	Valor
0 – 25	25
26 – 50	50
51 - 75	75
76 - 100	100

A continuación, en la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos para cada una de las amenazas:

**Tabla 5.** Valor asignado de a cada amenaza de acuerdo a la representatividad.

Amenaza	NE	R (%)	Valor
Erosión costera	10	21	25
Inundaciones costeras	10	21	25
Pérdida de ecosistemas estratégicos	7	15	25
Propagación de enfermedades transmitida por vectores	2	4	25
Salinización de acuíferos	6	13	25
Temperatura superficial del mar	4	9	25
Diapirismo de lodo	4	9	25
Subsistencia	4	9	25

## 2. Validación en campo mediante inspección visual

Se propuso a partir de la “Validación visual en campo de amenazas presentes en la zona de estudio” y consistió en darle a cada una amenaza un valor de 100 si se observaba y de cero (0) si no era identificaba en campo.

## 3. Disponibilidad de equipos para la medición de la información relacionada con la amenaza.

Se tuvo en cuenta los equipos disponibles en CORPOURABA para la medición. Si se contaba con equipos se asignaba un valor de 100, si no se contaba se daba un valor de cero (0).

## 4. Disponibilidad de recursos económicos dirigidos a la medición de la información

Este criterio tuvo en cuenta los proyectos del Plan de Acción Institucional de CORPOURABA (PAI). Si la amenaza se encontraba enmarcada en uno de los programas se le asignaba un valor de 100, si no el valor que le correspondía era de 0.

De acuerdo a los cuatro criterios anteriores se construyó una matriz de valoración en la que se muestran los valores totales (Tabla 6). Considerando el alcance metodológico y la disponibilidad de recursos se seleccionaron las (4) amenazas con mayor puntaje: erosión costera, inundaciones costeras y pérdida de ecosistemas estratégicos con 325 puntos y salinización de acuíferos con 225.

**Tabla 6.** Matriz de valoración.

Amenazas/Criterios	Estudios previos	Validada en campo	Disponibilidad de equipos para la medición	Disponibilidad de recursos dirigidos a la medición	Total
Erosión costera	25	100	100	100	325
Inundaciones costeras	25	100	100	100	325
Pérdida de ecosistemas estratégicos	25	100	100	100	325
Propagación de enfermedades transmitida por vectores	25	0	100	0	125
Salinización de acuíferos	25	0	100	100	225

Amenazas/Criterios	Estudios previos	Validada en campo	Disponibilidad de equipos para la medición	Disponibilidad de recursos dirigidos a la medición	Total
Temperatura superficial del mar	25	0	100	0	125
Diapirismo de lodo	25	0	100	0	125
Subsidencia	25	100	0	0	125

Considerando el alcance metodológico y la disponibilidad de recursos se seleccionaron las (4) amenazas con mayor puntaje: erosión costera, inundaciones costeras y pérdida de ecosistemas estratégicos con 325 puntos y salinización de acuíferos con 225.

#### Selección de variables que representan las amenazas

Se realizó un ajuste a la metodología empleada por Rangel y Posada (2013), en la cual a partir del índice de vulnerabilidad costera evaluaron el riesgo ante amenazas de erosión e inundación. La metodología de Rangel y Posada (2013), tiene en cuenta las características propias de la zona de estudio.

La modificación metodológica del presente estudio consistió en la adición y evaluación de dos (2) nuevas amenazas: salinización de acuíferos y pérdidas de ecosistemas estratégicos. La salinización se tiene en cuenta por la cercanía del acuífero semi-confinado del golfo de Urabá a las dos playas de estudio. La pérdida de ecosistemas estratégicos fue incluida en Rangel y Posada (2013) como una variable que influenciaba la vulnerabilidad ante la erosión e inundación. Sin embargo, teniendo en cuenta que estos ecosistemas garantizan la oferta de bienes y servicios ambientales se consideró pertinente evaluarlo de manera individual.

En relación a las variables que modulan las amenazas por erosión e inundación costera se tuvo en cuenta la metodología de Rangel y Posada (2013), esta relaciona diez (10) variables que corresponden a los factores que condicionan o determinan la erosión en la línea de costa y por ende su grado de amenaza. Sin embargo, para la selección definitiva de las variables se consideraron las dadas en Fernández et al. (2017) (Anexo 5).

Para las variables que modulan la amenaza por salinización de acuíferos y pérdida de ecosistemas estratégicos, se tuvo en cuenta el método GALDIT (Vargas, 2010, Madera y Valderrama, 2014) y se consideraron los estudios donde se relacionaba la incidencia de las variables con el cambio de los ecosistemas de playa y manglares (Rangel y Posada; 2013; Urrego, 2013; Blanco, 2016), respectivamente.

A continuación, el detalle de las variables consideradas (Tabla 7).

**Tabla 7.** Variables y descripción.

Tipo de amenaza	Variable	Descripción
Erosión	Geomorfología	Se usó el criterio de Fernández et al. (2017)
	Pendiente de playa frontal (%)	La variable pendiente de playa (Rangel y Posada, 2013) se renombró conforme a Fernández et al. (2017) como pendiente de playa frontal. Los valores de esta variable se reclasificaron, teniendo en cuenta las condiciones intrínsecas del área de estudio.
	Rango mareal (m)	Se usó el criterio de Fernández et al. (2017)

Tipo de amenaza	Variable	Descripción
	Evolución de la línea de costa (m/año)	La variable erosión (Rangel y Posada, 2013) se renombró conforme a Fernández et al. (2017) evolución de la línea de costa. Los valores de esta variable se reclasificaron, teniendo en cuenta las condiciones intrínsecas del área de estudio.
	Variación de nivel del mar (mm/año)	La variable aumento del nivel del mar (Rangel y Posada, 2013) se renombró conforme a Fernández et al. (2017) como Variación de nivel del mar (mm/año). Los valores de esta variable se reclasificaron, teniendo en cuenta las condiciones intrínsecas del área de estudio.
	Altura de ola significativa (m)	La variable altura de ola (Rangel y Posada, 2013), se renombró como altura de ola significativa (Hs), considerando que era la información que estaba disponible en la zona de estudio. Se conservó el criterio de clasificación de la variable; pasando de muy baja a muy alta, conforme aumentaba el valor de Hs. Sin embargo, teniendo en cuenta las condiciones intrínsecas de la zona, se reclasificó la variable de acuerdo a los valores de Hs presentes en el área de estudio.
	Grado de exposición al oleaje (adimensional)	Para esta variable se tomó el nombre dado por Rangel y Posada (2013). Sin embargo, el descriptor de cada clasificación se ajustó conforme a Fernández et al. (2017).
	Litología	Se incluyó teniendo en cuenta que era considerada en la metodología de Fernández et al. (2017).
Inundación	Geomorfología	El relieve se consideró como uno de los factores principales que modulan la inundación (Gornitz et al., 1991). La franja situada a menos de 5 msnm se encuentra expuesta a un riesgo elevado de inundación, ya que pueden presentarse mareas meteorológicas fuertes que actúen en combinación con la marea astronómica (Martí, 2011). De acuerdo a esto, se clasificó de acuerdo con Fernández et al. (2017) y se relacionó con la variable geomorfología
	Pendiente de playa frontal (%)	La pendiente costera considerada en Martí (2011), se tomó teniendo en cuenta que valores bajos representan una mayor vulnerabilidad ya que, en caso de inundación por ascenso del nivel del mar, el área afectada será mayor. Sin embargo, fue renombrada como pendiente de playa frontal conforme a Fernández et al. (2017).
	Evolución de la línea de costa (m/año)	El desplazamiento de la línea de costa referenciado en Martí (2011), está relacionado con la erosión. Cuanto mayor es la erosión, la vulnerabilidad aumenta, mientras que, si existe acreción, el impacto es menor y también lo es la vulnerabilidad. De acuerdo a esto, la variable se clasificó según Fernández et al., (2017) y se consideró equivalente a evolución de la línea de costa.
Salinización de acuíferos	Perfil estratigráfico	La selección de las variables que representan salinización de acuíferos se realizó teniendo en cuenta la metodología de GALDIT, la cual evalúa la vulnerabilidad intrínseca por intrusión marina (Vargas, 2010; Madera y Valderrama, 2014). En esta se relacionan variables como la conductividad hidráulica del acuífero y la distancia a la línea de costa. Sin embargo, esta metodología no considera el tipo de suelo, parámetro importante para la determinación de la vulnerabilidad. Por lo tanto, se realizó una modificación adicionando la variable perfil estratigráfico (P), para tener en cuenta sus características texturales, partiendo de la clasificación dada por el Departamento de agricultura de los Estados Unidos (U.S.D.A).
	Conductividad (m/día)	
	Distancia de la línea de costa (m)	
Perdidas de ecosistemas estratégicos	Evolución de la línea de costa (m/año)	Los procesos ya sea de progradación o erosión costera influyen de manera directa en la permanencia de los ecosistemas de manglar y de playa. La clasificación de esta



Tipo de amenaza	Variable	Descripción
		variable se realizó a partir de la metodología empleada por Fernández et al., (2017). Los procesos ya sea de acreción o erosión costera influyen de manera directa en la permanencia de los ecosistemas de manglar y de playa. Los manglares persistirán en áreas con aporte de sedimentos que compensen las pérdidas por erosión (Blanco, 2016).
	Geomorfología	Tiene la capacidad de modular la vulnerabilidad generada por los demás agentes (evolución de la línea de costa, ancho de playa, pendiente de playa) (Martí, 2011). Para el intervalo de esta variable se empleó la clasificación dada por (Fernández et al., 2017).
	Ancho de playa (m)	En épocas de fuertes condiciones energéticas (oleaje, corrientes), la acumulación sedimentaria se traslada desde la playa hacia la zona submareal o puede ser transportada a otras zonas (Ancorim, 2012). A escala regional la disminución de sedimentos y retroceso de la línea de costa ha ocasionado la pérdida de manglares (Urrego et al., 2013). Para clasificar esta variable se tuvo en cuenta la metodología de Rangel et al., (2013). A partir de esta y con los datos de estudio se realizó una regionalización y reclasificación de los rangos.
	Pendiente de playa frontal (%)	Pendientes costeras bajas permiten que el área afectada por el suceso sea mayor (Martí, 2011). La clasificación de la variable se realizó teniendo en cuenta la metodología de Fernández et al., (2017).

En el Anexo 6 se presenta la clasificación de las variables seleccionadas para cada una de las amenazas y los intervalos de valores de acuerdo a los autores mencionados.

#### Caracterización de variables.

Luego de identificar las variables, se procedió a calcular sus valores. De acuerdo a las características de cada variable, los valores fueron tomados de fuentes secundarias y a partir de la medición en campo.

- Geomorfología

Se elaboró un formato de campo, basado en la clasificación dada por Fernández *et al.*, (2017). Mediante inspección visual se identificaron las geoformas presentes en cada uno de los tramos y se realizó un registro fotográfico. El procesamiento de la información permitió clasificar la geomorfología de acuerdo a Fernández *et al.* (2017).

- Pendiente de playa frontal

Se midieron perfiles de playas con estación total y GPS diferencial, en 13 puntos de las Playas Municipales y 23 en Playa la Martina. Los perfiles cubrieron la mayor cantidad de área de las playas, entre los cuales se tuvieron distancias promedio de 50 m. Los perfiles en playas Municipales se realizaron hasta lugar donde se están ubicados obras de protección costeras (enrocados, espolones).

Para cada perfil, la estación se ubicó en un mismo punto de referencia. Para mantener la línea del perfil recta, se proyectó el azimut con brújula planimétrica. El registro de datos se realizó midiendo puntos cada metro. En el caso de ocurrencia de geoformas como dunas, barras, escalones de tormenta, entre otros a lo largo del perfil, se registró la altura al inicio,

cresta y base. El perfil batimétrico se levantó hasta una profundidad máxima entre -1,5 m y -1,7 m, dependiendo del nivel de marea, oleaje y altura del bastonero. Los datos se almacenaron automáticamente en la estación total. Adicionalmente, se usaron formatos de campo de perfiles de playa, en los cuales se registró la hora de inicio y finalización de la medición para realizar corrección por marea (IDEAM, 2017; 2018 y 2019), altura (Z) y total puntos medidos por cada perfil.

La pendiente de playa frontal corresponde a la diferencia entre la pleamar y la bajamar, se establecieron límites de -0,24 para la Bajamar Máxima Viva Equinoccial y de 0,67 para la Pleamar Máxima Viva Equinoccial y en ese intervalo se calculó la pendiente. Teniendo en cuenta la pendiente de playa frontal no corresponde a una línea recta, el cálculo se realizó por transectos.

- Rango mareal

Esta variable se determinó a partir de información secundaria, correspondiente a datos del mareógrafo de Turbo ubicado en el muelle de guardacostas. Se tuvieron en cuenta los análisis realizados en el periodo de tiempo de diciembre del 2017 a enero del 2019 (Higuita y Quintana, 2020).

- Evolución de la línea de costa

La línea de costa se midió con GPS alrededor de los sitios donde se midieron los perfiles, incluyendo 200m más al norte y sur del último perfil. En playas Urbanas de Turbo se midió una línea de costa de 1.8 km y en la Martina una línea de costa de 1.2 km de extensión.

Se siguió la metodología del MADS, INVEMAR y Universidad Nacional Medellín (2014). El registro de datos coincide con la línea de cambio de arena húmeda a seca y se realizó durante la pleamar. Se tomaron puntos cada ~1 m, o de menor longitud dependiendo del cambio geomorfológico de la línea de costa. Los datos fueron almacenados en un programa tipo Sistemas de Información Geográficas (SIG) en donde se crearon shapefile de cada línea. En este se incluyeron metadatos como numeración, fecha, extensión de la línea de costa.

Las variaciones de la línea de costa se determinaron de acuerdo con Navarrete-Ramírez (2014). Además, se calcularon las tasas históricas de retroceso (end point rate, EPR), utilizando las líneas de costa medidas con un vehículo aéreo no tripulado (CORPOURABA, 2014) y datos in situ (CORPOURABA, 2015, 2017; 2018; 2019; 2020). Finalmente se realizó la correlación del movimiento neto y acumulado de las líneas de costas, determinando la evolución de línea de costa por año.

- Variación del nivel del mar

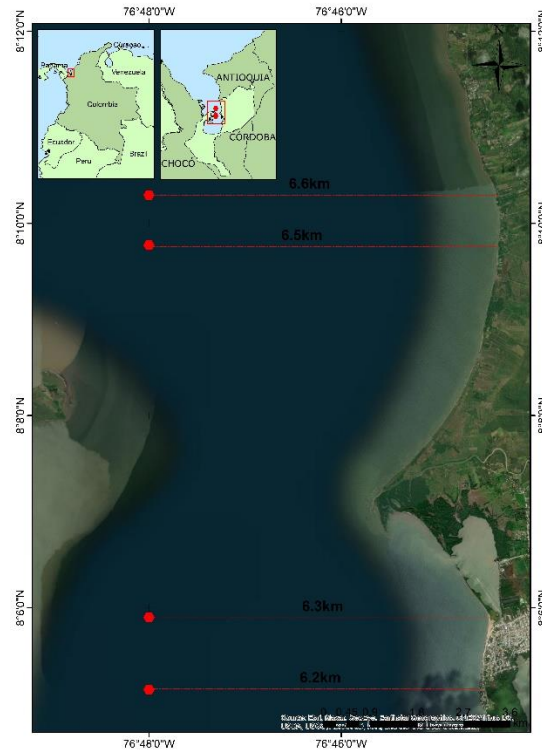
Las tasas de aumento del nivel fueron calculadas a partir de datos de altimetría satelital (CORPOURABA, 2019). Estos análisis consideran un periodo de tiempo entre enero de 1998 a diciembre del 2017.

- Altura de ola significativa (Hs)

Se analizaron los datos de cuatro (4) boyas sintéticas (MARP1, MARP6, MUNP1 y MUNP8), obtenidas del modelo numérico SWAN (gobernación de Antioquia, 2018). Los sitios de las

boyas están ubicados en los extremos de los perfiles en ambas playas de estudio. Se realizaron análisis extremales para tres (3) épocas del año: seca (diciembre a marzo), humedad (abril a noviembre) y temporada de huracanes (julio a noviembre).

La boya MUNP1 está ubicada en la misma latitud del perfil 1 a aproximadamente 6 km de playas Urbanas de Turbo. La boya MUNP8 ubicada en la misma latitud del perfil 8 a aproximadamente 6 km de playas Urbanas de Turbo. La boya MARP1 ubicada en la misma latitud del perfil 1 a aproximadamente 6 km de playa La Martina. La boya MARP6 ubicada en la misma latitud del perfil 6 a aproximadamente 6 km de playa La Martina.



**Figura 6.** Ubicación de las boyas virtuales obtenidas del modelo SWAN

- Grado de exposición al oleaje y Litología

Para la medición se elaboró un formato de campo, basado en la clasificación dada por Fernández *et al.*, (2017). Por medio de inspección visual se identificó el tipo de protección que predominaba en cada uno de los tramos y se realizó un registro fotográfico y mediciones *in situ*. Con esta información se escogió la característica más representativa y se clasificó de acuerdo a Fernández *et al.* (2017).

- Perfil estratigráfico

Para la medición de esta variable se realizaron un total de diez salidas de campo entre los meses de enero y febrero del año 2020. Se eligieron 10 sitios para realizar sondeos eléctricos verticales (SEV), 6 en playas Urbanas de Turbo y 4 en playa La Martina con una longitud de 100 metros en dirección paralela a la playa. Con esta información se construyó un modelo hidrogeológico bidimensional por capas. Teniendo en cuenta las resistividades medidas, se realizó la búsqueda del menor error entre los datos reales y los estimados.

- Conductividad hidráulica

Para la variable conductividad, se tomaron de información secundaria correspondiente al “Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos Sistema Hidrogeológico Golfo de Urabá-CORPOURABA-Universidad de Antioquia 2016”, en el cual muestra la distribución espacial de la conductividad hidráulica de los acuíferos de la cuenca.

- Distancia de la línea de costa

Teniendo en cuenta que el Acuífero semiconfinado del golfo de Urabá es un acuífero costero, para esta variable se supone que la distancia a la línea de costa es nula (0 m).

- Ancho de playa

Se realizó una recopilación de ortofotos obtenidas a partir de información *in situ*. Se procesaron mediante un programa tipo GIS, mediante el cual se trazaron dos líneas de referencias, una correspondiente a la línea de costa y otra a la línea donde termina la playa. Con las dos líneas se forma un polígono. Luego en cada tramo se trazaron transectos con una distancia de aproximadamente 25 m desde el inicio del perfil hasta el final del mismo.

- Litología:

El nombre, las características y su clasificación fueron tomadas de Fernández et al. (2017). Se utilizó el mismo formato que para el grado de exposición al oleaje.

En la Anexo 7a se muestra las evidencias fotográficas de las mediciones en campo y en el anexo 7b las variables seleccionadas para cada una de las amenazas.

### **7.1.2. Resultados.**

Las variables asociadas a las amenazas se procesaron empleando lenguajes de programación y SIG. El procesamiento de las variables se realizó en primer lugar para los datos obtenidos de información secundaria y segundo para las variables medidas en campo. A continuación, se describen los resultados obtenidos del procesamiento de las variables.

- Geomorfología:

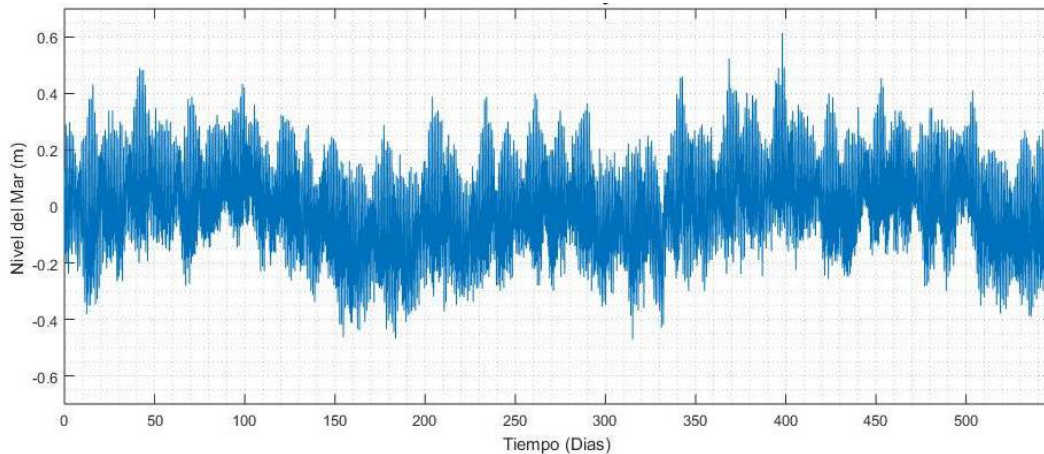
En las playas Urbanas de Turbo desde el tramo 1 (entre perfiles 1 y 2) hasta el tramo 3 (entre perfiles 3 y 4) la geomorfología es playa. Los tramos restantes se caracterizan tener obras de protección costeras rígidas (Anexo 8a). En playa La Martina los tramos están dominados por playa, a excepción del tramo 1 y 5 en el cual están presentes las obras de protección costeras blandas y marismas (Anexo 8b)

- Pendiente de playa frontal:

Las pendientes de playa frontal en playas municipales oscilaron entre 3.1 % y 5.1 % (Anexo 9a). En la Martina variaron entre 3,4 % y 6.7 % (Anexo 9b). En el anexo 9c se muestra la pendiente de playa frontal promedio en cada tramo.

- Rango mareal:

De acuerdo a (Higuita y Quintana, 2020), el valor máximo de los datos de la serie de tiempo es de 0,53 metros y el valor mínimo es de -0,53 metros. El pico máximo y mínimo del nivel del mar se presentó el 11 de noviembre y 20 de junio del 2018, respectivamente. Se calculó el rango mareal promedio para el golfo de Urabá, dando un valor de 0,45 m.



**Figura 7.** Serie de marea de la estación guardacostas de Turbo. **Fuente:** (Higuita y Quintana, 2019).

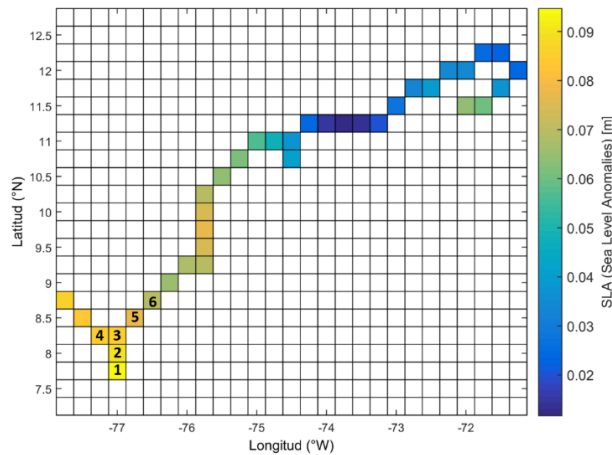
- Evolución de la línea de costa:

En playas Urbanas de Turbo, al norte entre el tramo 1 y 3 se evidencia playas en proceso de acreción con valores de EPR entre 3,3 m/año y 13,3 m/año. En los transectos 4, 5 y 6 los valores de EPR son 7,7, 10,5 y 13, 3 m/año respectivamente. En los tramos 4 y 5 se evidencia retrocesos de la línea de costa con valores de EPR entre -1,2 y -0,2 m/año. En los tramos 6 y 7 se evidencian procesos de acreción con un valor máximo de EPR 2,9 m/año en el transecto 19 (Anexo 10a).

En playa La Martina, en el sector norte entre el tramo 1 y 2, en los transectos 1, 5 y 6 se evidencian retrocesos de EPR de -1,0, 0,7 y 0,1 m/año respectivamente, y acreción en los transectos 2, 3 y 4 con valores de EPR 0,2, 1,0 y 0,3 m/año con un valor máximo de NSM de 5,7 m. Hacia el sector centro en el tramo 3 se observa retrocesos de -1,0 m/año y NSM de -5,4 m en el transecto 8, siendo el tramo en donde se presentan los peores valores de retroceso de la línea de costa. En la zona sur, en los tramos 4 y 5 los valores de retroceso oscilan entre -1,5 y -0,4 m/año, los cuales se presentan en los transectos 12, 15 y 16 con un valor máximo de NSM de -7,8 m, además se evidencian aportes sedimentarios con valores máximos de EPR 1,2 m/año y NSM de 6,2 m pertenecientes al transecto 11 (Anexo 10b).

- Variación del nivel del mar:

Las celdas más cercanas a playas Municipales (1) y La Martina (2), mostraron tasas de aumento del nivel del mar de 3,7 mm/año y 3,9 mm/año respectivamente (Figura 8).



**Figura 8.** Celdas correspondientes al cálculo de las tasas de aumento del nivel del mar en el golfo de Urabá. Fuente: (CORPOURABA, 2019).

- Altura de ola significativa:

Con la información de las cuatro boyas sintéticas se calcularon valores de regímenes (medio, extremal) y las frecuencias, cuantiles y distribución de probabilidad para Hs (altura significativa) y Tp (periodo asociado al pico espectral). Todo esto para los siguientes periodos: toda la serie, época seca, húmeda y de huracanes.

### 1) Playas Urbanas de Turbo (Boya MUNP1):

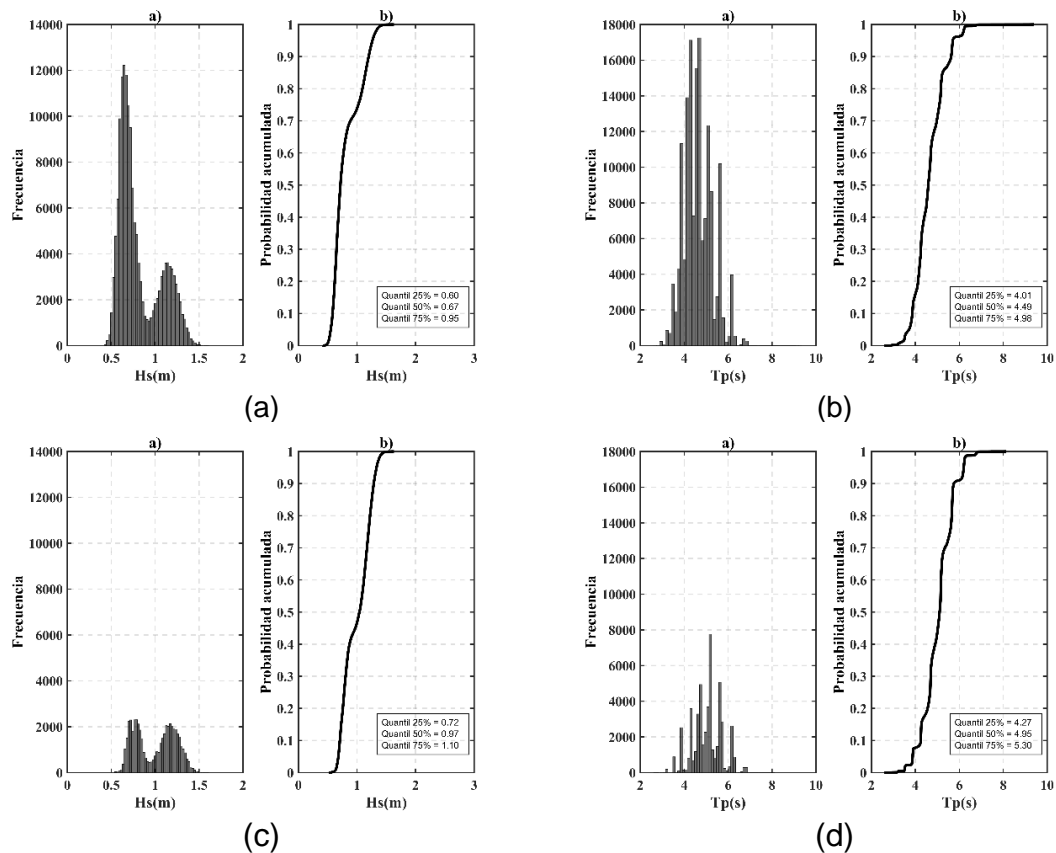
#### *Régimen medio*

En el análisis de todo el periodo para la boya MUNP8, la distribución de altura significativa (Hs) presenta para al 25%, 50% y 75% valores de 0,6 m, 0,7 m y 1,0 m respectivamente (Figura 9). En cuanto al periodo asociado al pico espectral (Tp) se observan que un 25% tiene periodos mayores de 4,2 segundos, el cuartil del 50% corresponde a un periodo de 4,6 segundos y el cuartil de 75% es el periodo de 5,1 segundos (Figura 9).

En la época seca, la distribución de altura significativa (Hs) presenta para al 25%, 50% y 75% valores de 0,8 m, 1,0 m y 1,2 m, respectivamente. En cuanto al periodo asociado al pico espectral (Tp) se observan que un 25% tiene periodos mayores de 4,7 segundos, el cuartil del 50% corresponde a un periodo de 5,1 segundos y el cuartil de 75% es el periodo de 5,6 segundos.

Respecto a la época húmeda, la distribución de altura significativa (Hs) presenta para al 25%, 50% y 75% valores de 0,6 m, 0,7 m y 0,8 m, respectivamente. En cuanto al periodo pico espectral (Tp) se observan que un 25% tiene periodos mayores de 4,1 segundos, el cuartil del 50% corresponde a un periodo de 4,4 segundos y el cuartil de 75% es el periodo de 4,7 segundos.

Por último, en la época de huracanes en función de la distribución de altura significativa (Hs) se observa el valor del cuartil correspondiente al 25%, 50% y 75% de las alturas de olas superadas, sus valores corresponden a 0,59 m, 0,65 m y 0,73 m respectivamente. En cuanto al periodo pico espectral (Tp), se observan que un 25% tiene periodos mayores de 4,1 segundos, el cuartil del 50% corresponde a un periodo de 4,3 segundos y el cuartil de 75% es el periodo de 4,7 segundos.



**Figura 9.** Izq.) Histograma de frecuencias de Hs; Der) Función de distribución de Tp. (a) y (b) todos los datos; (c) y (d) época seca.

En cuanto a las probabilidades de ocurrencia de las direcciones del oleaje respecto a la altura significativa (Hs), se calculan para todos los datos, época seca y húmeda, y temporada de huracanes. Para todas las épocas evaluadas se destaca una mayor probabilidad en la dirección oeste (W), y una menor probabilidad en la dirección oeste-sur-este (WSW). Por lo tanto, se utilizaron las alturas de olas con una mayor probabilidad de ser superadas, ya que representan un buen estadístico de las condiciones más críticas del régimen medio.

Para todos los datos, las alturas de ola con probabilidad de ser superada un 99% corresponde a un valor de 1,4 m. Para época seca, se calculó las alturas de ola con una probabilidad de ser superadas un 99 %, siendo de 1,4 m. Del mismo modo, para época húmeda, las alturas de ola con la probabilidad de ser superadas un 99 %, corresponde a 1,3 m. Y, por último, para la temporada de huracanes las alturas de ola con la probabilidad de ser superadas un 99 % corresponde son de 1,2 m (Ver anexo 11).

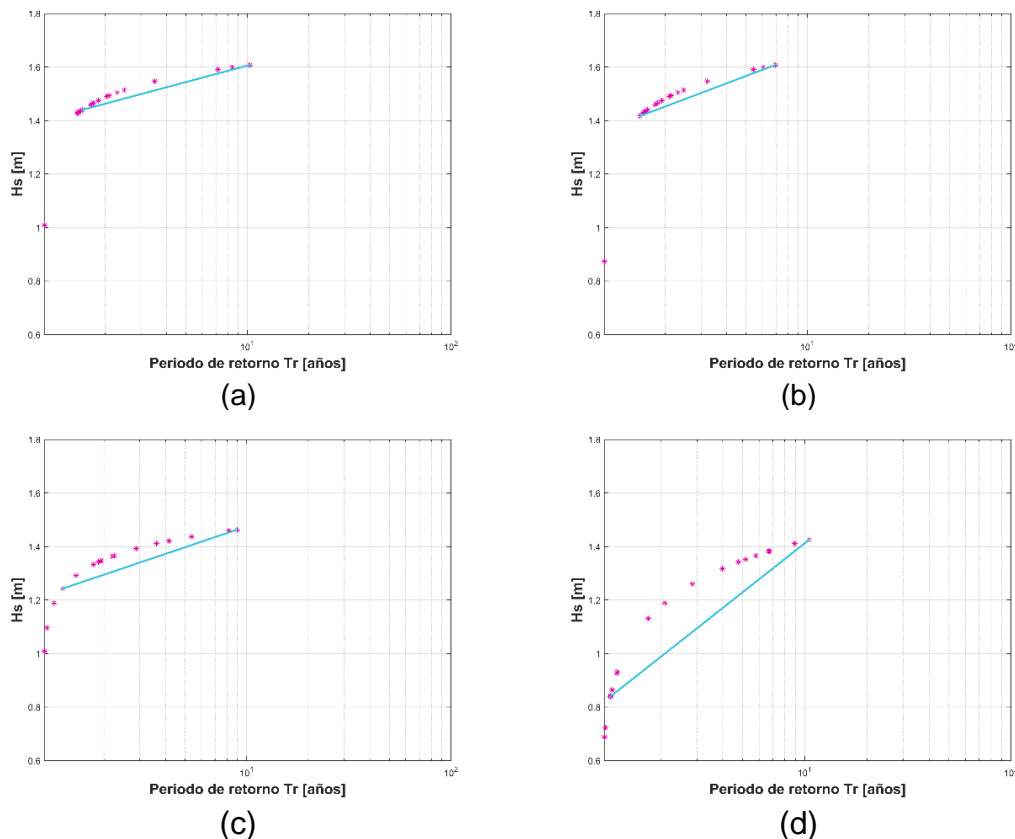
### **Régimen extremal**

También, para determinar el régimen extremal de oleaje de la serie de diecinueve años correspondiente a la boya MUNP1 se utilizó el método de máximos anual, el cual dividió la serie temporal en unidades de un año seleccionando los valores máximos de la altura significativa en el tiempo, logrando obtener una serie continua de valores extremos independientes a lo largo del tiempo. De igual forma, se procedió a ajustar los valores

extremos a la función de distribución de Gumbel con el objetivo de determinar los periodos de retorno de las alturas de oleaje en la zona de estudio. Para todos los datos, los resultados sugieren que para un  $Tr$  de 3 años la  $H_s$  registraría valores de 1,5 m, mientras que para un  $Tr$  de 10 años la  $H_s$  alcanzaría los 1,6 m (Figura 10).

Por lo tanto, para el régimen extremal del oleaje correspondiente a la época seca la figura indica que para un  $Tr$  de 3 años la  $H_s$  registraría valores de 1,5 m, mientras que para un  $Tr$  de 6,9 años la  $H_s$  en el mismo punto alcanzaría los 1,6 m.

Del mismo modo, para el régimen extremal del oleaje correspondiente a la época húmeda la figura indica que para un  $Tr$  de 2 años la  $H_s$  registraría valores de 1,4 m, mientras que para un  $Tr$  de 8,9 años la  $H_s$  en el mismo punto alcanzaría los 1,5 m. Y para la temporada de huracanes, en un  $Tr$  de 5,1 años la  $H_s$  registraría valores de 1,4 m, mientras que para un  $Tr$  de 10,5 años la  $H_s$  en el mismo punto alcanzaría los 1,42 m.



**Figura 10.** Ajuste de la serie de oleaje extremal a la función de distribución de Gumbel. (a) todos los datos; (b) época seca; (c) época húmeda; (d) época huracanes.

### 1) Playas Urbanas de Turbo (Boya MUNP8):

#### *Régimen medio*

En el análisis de todo el periodo para la boya MUNP8, en función la distribución de altura significativa ( $H_s$ ) presenta para al 25%, 50% y 75% valores de 0,6 m, 0,7 m y 0,9 m respectivamente (Figura 11). En cuanto al periodo asociado al pico espectral ( $T_p$ ) se observan que un 25% tiene periodos mayores de 4,0 segundos, el cuartil del 50%

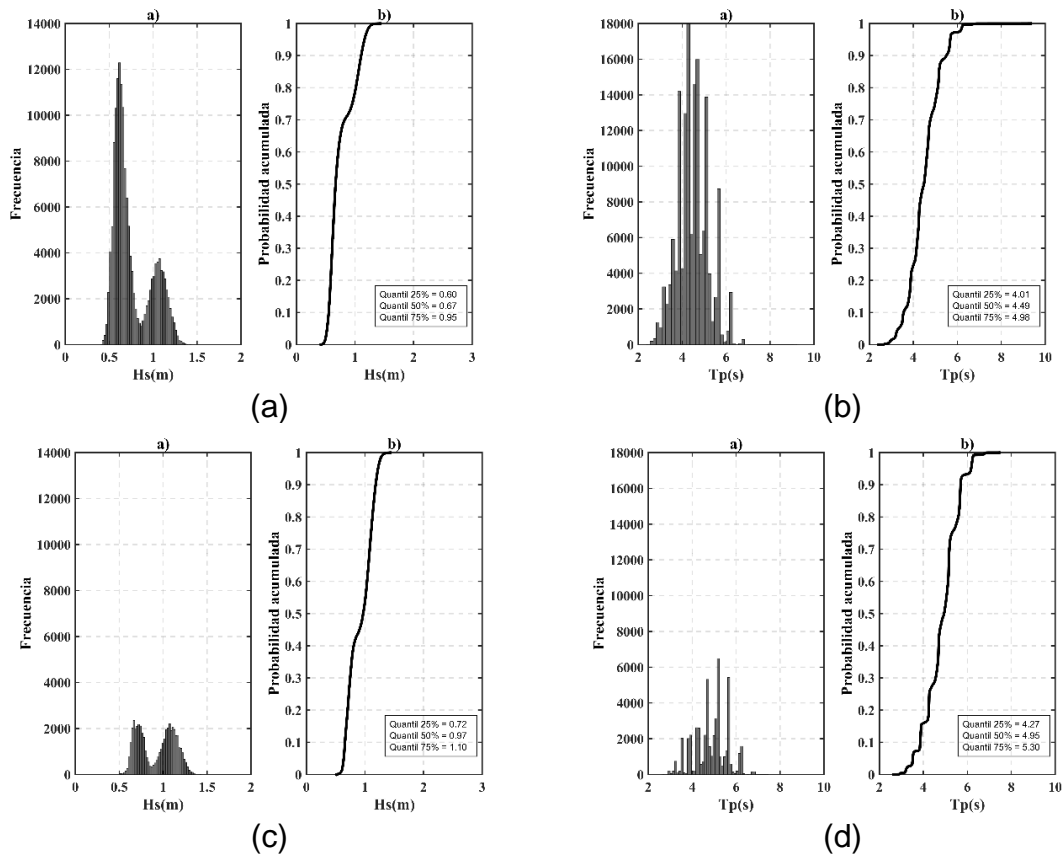


corresponde a un periodo de 4,5 segundos y el cuartil de 75% es el periodo de 4,9 segundos (Figura 11).

En la época seca, la distribución de altura significativa (Hs) presenta para al 25%, 50% y 75% valores de 0,7 m, 1,0 m y 1,1 m, respectivamente. En cuanto al periodo asociado al pico espectral (Tp) se observan que un 25% tiene periodos mayores de 4,3 segundos, el cuartil del 50% corresponde a un periodo de 5,0 segundos y el cuartil de 75% es el periodo de 5,3 segundos.

Respecto a la época húmeda, la distribución de altura significativa (Hs) presenta para al 25%, 50% y 75% valores de 0,5 m, 0,6 m y 0,7 m, respectivamente. En cuanto al período pico espectral (Tp) se observan que un 25% tiene periodos mayores de 3,6 segundos, el cuartil del 50% corresponde a un periodo de 4,3 segundos y el cuartil de 75% es el periodo de 4,7 segundos.

Por último, en la época de huracanes en función de la distribución de altura significativa (Hs) se observa el valor del cuartil correspondiente al 25%, 50% y 75% de las alturas de olas superadas, sus valores corresponden a 0,6 m, 0,6 m y 0,7 m respectivamente. En cuanto al período pico espectral (Tp), se observan que un 25% tiene periodos mayores de 3,6 segundos, el cuartil del 50% corresponde a un periodo de 4,3 segundos y el cuartil de 75% es el periodo de 4,6 segundos.



**Figura 11.** Izq.) Histograma de frecuencias de Hs; Der) Función de distribución de Tp. (a) y (b) todos los datos; (c) y (d) época seca; (e) y (f) época húmeda; (g) y (h) época huracanes.

En cuanto a las probabilidades de ocurrencia de las direcciones del oleaje respecto a la altura significativa (Hs), se calculan para todos los datos, época seca y húmeda, y

temporada de huracanes. Para todas las épocas evaluadas se destaca una mayor probabilidad en la dirección oeste (W), y una menor probabilidad en la dirección oeste-sur-este (WSW). Por lo tanto, se utilizaron las alturas de olas con una mayor probabilidad de ser superadas, ya que representan un buen estadístico de las condiciones más críticas del régimen medio.

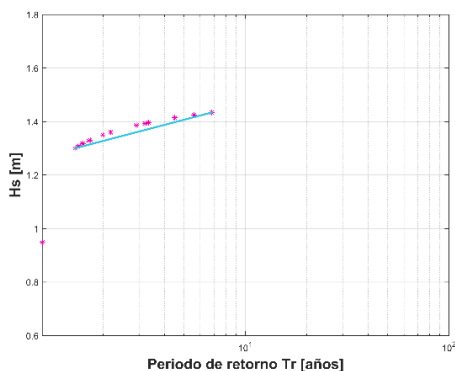
Para todos los datos, las alturas de ola con probabilidad de ser superada un 99% corresponde a un valor de 1,2 m, destacándose una probabilidad del 80,6% para la dirección W. Para época seca, se calculó las alturas de ola con una probabilidad de ser superadas un 99 %, siendo de 1,3 m, destacándose una probabilidad del 77,5% para la dirección W. Del mismo modo, para época húmeda, las alturas de ola con la probabilidad de ser superadas un 99 %, corresponde a 1,2 m, destacándose una probabilidad del 79,98% para la dirección W. Y, por último, para la temporada de huracanes las alturas de ola con la probabilidad de ser superadas un 99 % corresponde son de 1,1 m, destacándose una probabilidad del 80,65% para la dirección W (Ver anexo 11).

### **Régimen extremal**

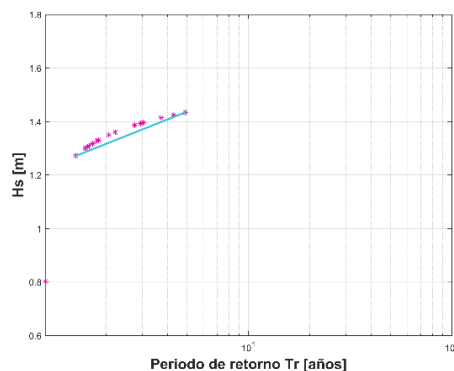
También, para determinar el régimen extremal de oleaje de la serie de diecinueve años correspondiente a la boya MUNP8 se utilizó el método de máximos anual, el cual dividió la serie temporal en unidades de un año seleccionando los valores máximos de la altura significativa en el tiempo, logrando obtener una serie continua de valores extremos independientes a lo largo del tiempo. De igual forma, se procedió a ajustar los valores extremos a la función de distribución de Gumbel con el objetivo de determinar lo periodos de retorno de las alturas de oleaje en la zona de estudio. Para todos los datos, los resultados sugieren que para un  $T_r$  de 4,5 años la  $H_s$  registraría valores de 1,4 m, mientras que para un  $T_r$  de 6,8 años la  $H_s$  alcanzaría los 1,4 m (Figura 12).

Por lo tanto, para el régimen extremal del oleaje correspondiente a la época seca la figura indica que para un  $T_r$  de 3 años la  $H_s$  registraría valores de 1,4 m, mientras que para un  $T_r$  de 4,8 años la  $H_s$  en el mismo punto alcanzaría los 1,4 m.

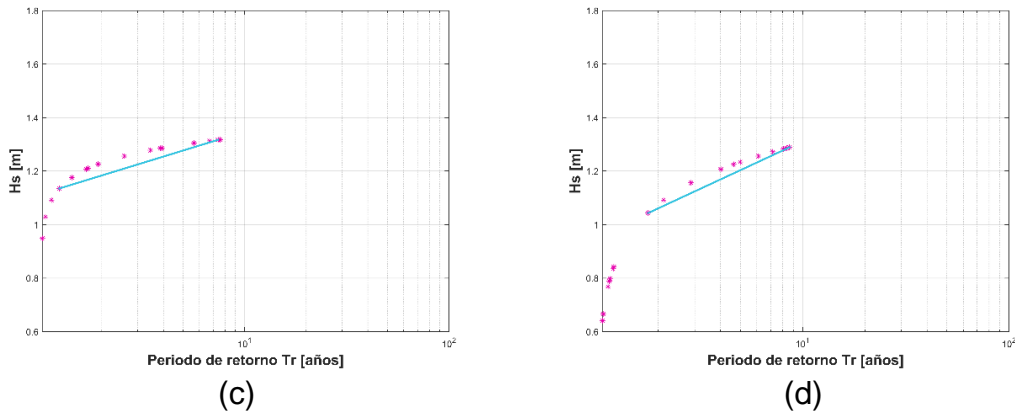
Del mismo modo, para el régimen extremal del oleaje correspondiente a la época húmeda la figura indica que para un  $T_r$  de 1,9 años la  $H_s$  registraría valores de 1,2 m, mientras que para un  $T_r$  de 7,6 años la  $H_s$  en el mismo punto alcanzaría los 1,3 m. Y para la temporada de huracanes, en un  $T_r$  de 2,1 años la  $H_s$  registraría valores de 1,1 m, mientras que para un  $T_r$  de 8,6 años la  $H_s$  en el mismo punto alcanzaría los 1,3 m.



(a)



(b)



**Figura 12.** Ajuste de la serie de oleaje extremal a la función de distribución de Gumbel. (a) todos los datos; (b) época seca; (c) época húmeda; (d) época huracanes.

### 1) Playa La Martina (Boya MARP1):

#### *Régimen medio*

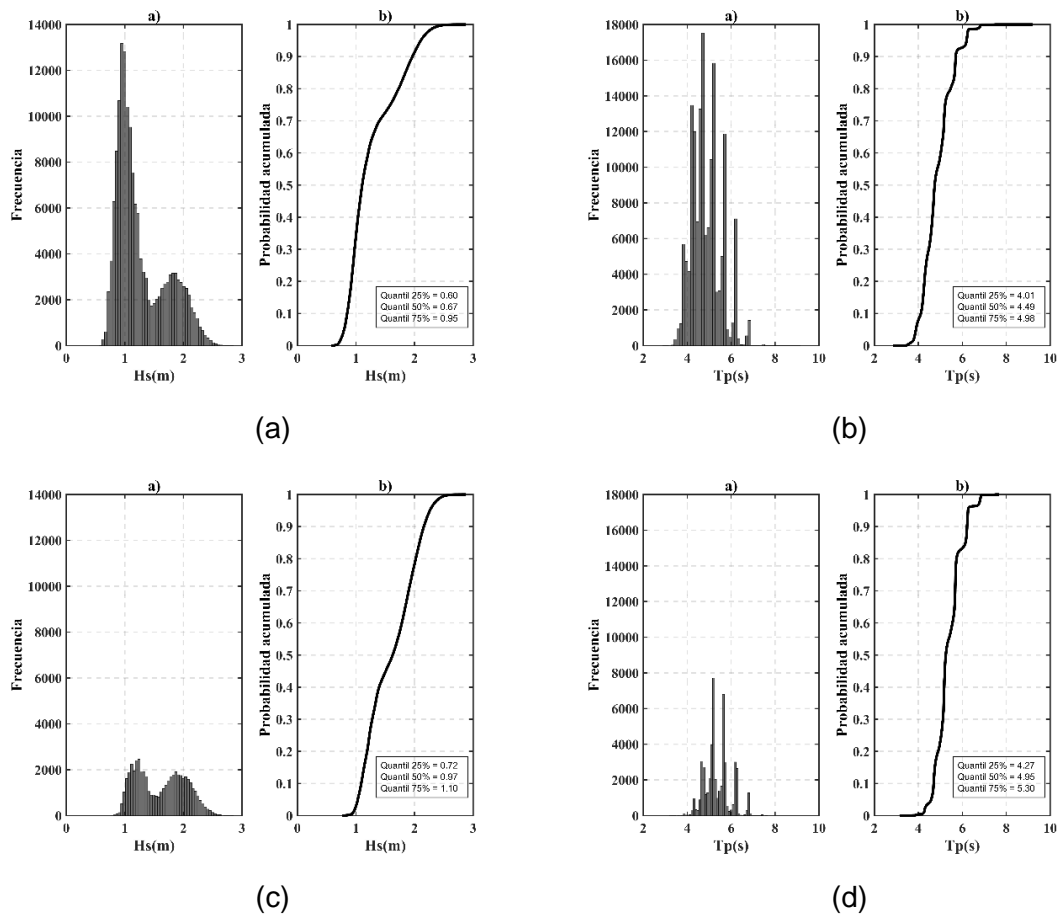
En el análisis de todo el periodo para la boya MARP1, en función la distribución de altura significativa ( $H_s$ ) presenta para al 25%, 50% y 75% valores de 0,9 m, 1,1 m y 1,6 m respectivamente (Figura 13). En cuanto al periodo asociado al pico espectral ( $T_p$ ) se observan que un 25% tiene periodos mayores de 4,3 segundos, el cuartil del 50% corresponde a un periodo de 4,7 segundos y el cuartil de 75% es el periodo de 5,2 segundos (Figura 13).

En la época seca, la distribución de altura significativa ( $H_s$ ) presenta para al 25%, 50% y 75% valores de 1,2 m, 1,6 m y 1,9 m, respectivamente. En cuanto al periodo asociado al pico espectral ( $T_p$ ) se observan que un 25% tiene periodos mayores de 4,3 segundos, el cuartil del 50% corresponde a un periodo de 5,3 segundos y el cuartil de 75% es el periodo de 5,7 segundos.

Respecto a la época húmeda, la distribución de altura significativa ( $H_s$ ) presenta para al 25%, 50% y 75% valores de 0,5 m, 0,6 m y 0,7 m, respectivamente. En cuanto al período pico espectral ( $T_p$ ) se observan que un 25% tiene periodos mayores de 3,6 segundos, el cuartil del 50% corresponde a un periodo de 4,3 segundos y el cuartil de 75% es el periodo de 4,7 segundos.

Para la época húmeda en función de distribución de altura significativa ( $H_s$ ), se observa el valor del cuartil correspondiente al 25%, 50% y 75% de las alturas de olas superadas en la boya MARP1, por lo tanto, sus valores corresponden a 0,90 m, 1,00 m y 1,17 m respectivamente. En cuanto al período pico se observan los cuartiles calculados para la boya MARP1, un 75% tiene periodos mayores de 4,24 segundos, los cuales corresponden al cuartil del 25%, el cuartil del 50% corresponde a un periodo de 4,59 segundos y el cuartil de 75% es el periodo de 4,97 segundos.

Por último, en la época de huracanes en función de la distribución de altura significativa ( $H_s$ ) se observa el valor del cuartil correspondiente al 25%, 50% y 75% de las alturas de olas superadas, sus valores corresponden a 0,8 m, 0,9 m y 1,1 m respectivamente. En cuanto al período pico espectral ( $T_p$ ), se observan que un 25% tiene periodos mayores de 4,2 segundos, el cuartil del 50% corresponde a un periodo de 4,5 segundos y el cuartil de 75% es el periodo de 4,9 segundos.



**Figura 13.** Izq.) Histograma de frecuencias de Hs; Der) Función de distribución de Tp. (a) y (b) todos los datos; (c) y (d) época seca; (e) y (f) época húmeda; (g) y (h) época huracanes.

En cuanto a las probabilidades de ocurrencia de las direcciones del oleaje respecto a la altura significativa (Hs), se calculan para todos los datos, época seca y húmeda, y temporada de huracanes. Para todas las épocas evaluadas se destaca una mayor probabilidad en la dirección oeste-norte-este (WNW). Por lo tanto, se utilizaron las alturas de olas con una mayor probabilidad de ser superadas, ya que representan un buen estadístico de las condiciones más críticas del régimen medio.

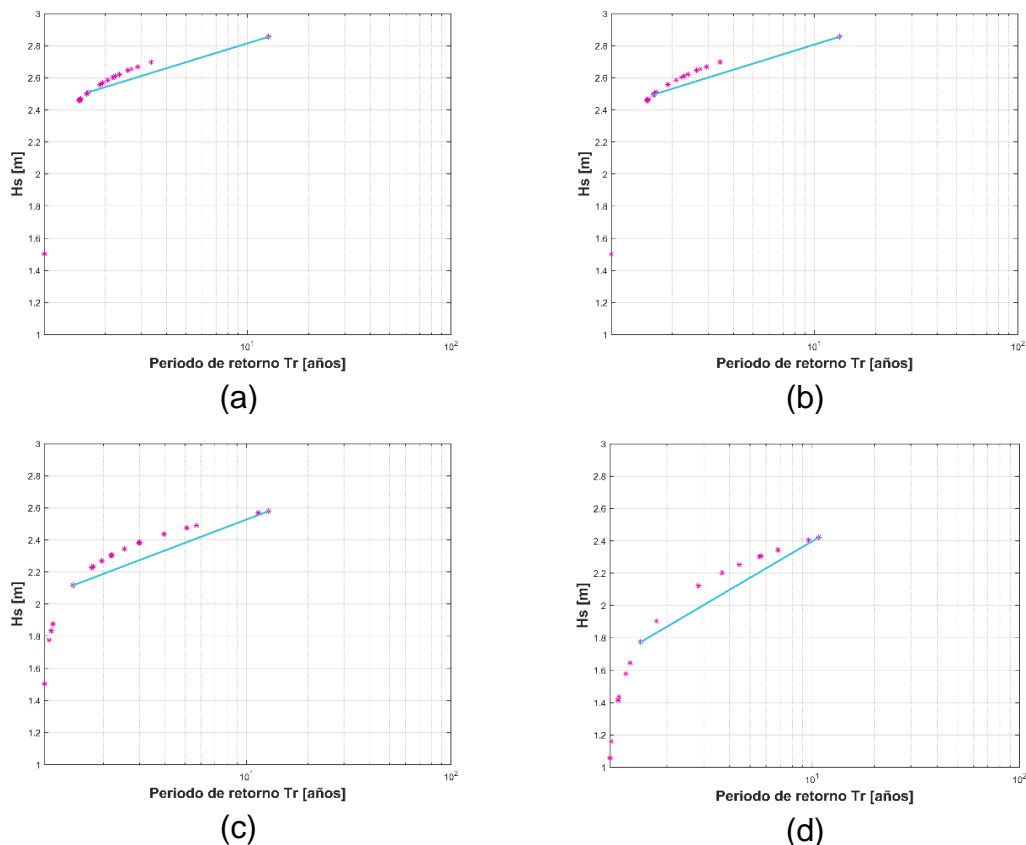
Para todos los datos, las alturas de ola con probabilidad de ser superada un 99% corresponde a un valor de 2,3 m, destacándose una probabilidad del 100% para la dirección WNW. Para época seca, se calculó las alturas de ola con una probabilidad de ser superadas un 99 %, siendo de 2,4 m, destacándose una probabilidad del 100% para la dirección WNW. Del mismo modo, para época húmeda, las alturas de ola con la probabilidad de ser superadas un 99 %, corresponde a 2,1 m, destacándose una probabilidad del 100% para la dirección WNW. Y, por último, para la temporada de huracanes las alturas de ola con la probabilidad de ser superadas un 99 % corresponde son de 2,0 m, destacándose una probabilidad del 100% para la dirección WNW (Ver anexo 11).

### **Régimen extremal**

También, para determinar el régimen extremal de oleaje de la serie de diecinueve años correspondiente a la boya MARP1 se utilizó el método de máximos anual, el cual dividió la serie temporal en unidades de un año seleccionando los valores máximos de la altura significativa en el tiempo, logrando obtener una serie continua de valores extremos independientes a lo largo del tiempo. De igual forma, se procedió a ajustar los valores extremos a la función de distribución de Gumbel con el objetivo de determinar los periodos de retorno de las alturas de oleaje en la zona de estudio. Para todos los datos, los resultados sugieren que para un  $Tr$  de 1,9 años la  $H_s$  registraría valores de 2,6 m, mientras que para un  $Tr$  de 12,7 años la  $H_s$  alcanzaría los 2,9 m (Figura 14).

Por lo tanto, para el régimen extremal del oleaje correspondiente a la época seca la figura indica que para un  $Tr$  de 2,9 años la  $H_s$  registraría valores de 2,6 m, mientras que para un  $Tr$  de 13,2 años la  $H_s$  en el mismo punto alcanzaría los 2,9 m.

Del mismo modo, para el régimen extremal del oleaje correspondiente a la época húmeda la figura indica que para un  $Tr$  de 3,9 años la  $H_s$  registraría valores de 2,4 m, mientras que para un  $Tr$  de 12,8 años la  $H_s$  en el mismo punto alcanzaría los 2,6 m. Y para la temporada de huracanes, en un  $Tr$  de 1,8 años la  $H_s$  registraría valores de 1,9 m, mientras que para un  $Tr$  de 10,7 años la  $H_s$  en el mismo punto alcanzaría los 2,4 m.



**Figura 14.** Ajuste de la serie de oleaje extremal a la función de distribución de Gumbel.

Teniendo en cuenta que los datos de las boyas sintéticas MARP1 y MAP6 están relativamente cerca, los resultados obtenidos en términos del análisis de oleaje son similares. Por lo tanto, los resultados de la boya MARP6 se muestran en el Anexo 11.

- Grado de exposición al oleaje:

De acuerdo a la clasificación, en playas Urbanas de Turbo los tramo 1 y 2 están denominados con la característica obras de protección costera no rígidas, con más exactitud por relleno de playa. Los tramos restantes (3, 4, 5, 6 y 7) están denominados como obras de protección costera rígidas y en algunos casos como costa natural tramo 4) (Anexo 12a). Por otro lado, en playa La Martina predomina la característica costa natural, los tramos 2, 3 y 5 están denominados como costa natural y los tramo 1 y 4 están definidos como obras de protección no rígidas, costa natural y drenaje urbano (tramo 4) (Anexo 12b)

- Litología:

De acuerdo a la información procesada los tramos pertenecientes tanto a playas Urbanas de Turbo y playa La Martina están clasificados como roca sedimentaria inconsolidada.

- Perfil estratigráfico:

Para Playa municipales, se identificaron horizontes que van desde rellenos de grano grueso compactado, arenas con aguas salobres, arcillas saturadas hasta arcillas limosas saturadas de agua salobre. En playa la Martina se identificaron desde relleno de grano grueso compacto húmedo, arenas con agua salobre, posiblemente de grano medio o con poca presencia de matriz hasta arcillas o Arcillas Limosas saturadas de agua salobre. En el anexo 13 se muestran las correlaciones de los sondeos eléctricos verticales en playas Urbanas y Playa la Martina.

- Ancho de playa:

Los anchos de playa en Playas Municipales oscilaron entre valores de 4 m y 125 m (Anexo 14a). En playa la Martina, esto valores estuvieron entre 7.3 m y 57.5 m (Anexo 14b).

A continuación, se muestra en consolidado de los resultados obtenidos para cada variable en las dos playas de estudio:

**Tabla 8.** Resultados consolidados Playa La Martina.

PLAYA LA MARTINA											
Amenaza	Variable	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 5	Perfil 6
		Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3		Tramo 4		Tramo 5	
Erosión	Geomorfología	Geomorfología obras de protección costeras y playa. Predomina la geomorfología playa a lo largo del tramo.		Geomorfología playa		Geomorfología playa		Geomorfología playa		Geomorfología playa y marisma (área de inundación con diferentes tipos de manglares). Predomina la geomorfología playa a lo largo del tramo.	
	Grado de exposición al oleaje	Obras de protección no rígidas (4) y costa natural.		Costa natural		Costa natural		Obra de protección no rígidas, costa natural y drenaje urbano. Predomina la clasificación costa natural a lo largo del tramo.		Costa natural	
	Pendiente de playa frontal (%)	3,4		3,4		6,7		5,9		4,5	
	Rango mareal (m)	0,5		0,5		0,5		0,5		0,5	
	Evolución de la LC (m/año)	0,1		-0,1		-0,7		0,5		-0,4	
	Litología	Roca sedimentaria inconsolidada		Roca sedimentaria inconsolidada		Roca sedimentaria inconsolidada		Roca sedimentaria inconsolidada		Roca sedimentaria inconsolidada	

PLAYA LA MARTINA											
Amenaza	Variable	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 5	Perfil 6
		Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3		Tramo 4		Tramo 5	
Amenaza	Altura de ola significante (m)	2,4		2,4		2,4		2,4		2,4	
	Variación del nivel del mar (mm/año)	4,0		4,0		4,0		4,0		4,0	
Inundación	Ancho de Playa (m)	37,2		30,9		22,7		27,8		25,3	
	Geomorfología	Geomorfología obras de protección costeras y playa. Predomina la geomorfología playa a lo largo del tramo.		Geomorfología playa		Geomorfología playa		Geomorfología playa		Geomorfología playa y marisma (área de inundación con diferentes tipos de manglares). Predomina la geomorfología playa a lo largo del tramo.	
	Pendiente de playa frontal (%)	3,4		3,4		6,7		5,9		4,5	
	Evolución de la línea de costa (m/año)	0,1		-0,1		-0,7		0,4		-0,4	
Salinización de acuíferos	Distancia de la línea de costa (m)	0		0		0		0		0	
	Conductividad hidráulica (m/día)	0 – 2,9		0 – 2,9		0 – 2,9		0 – 2,9		0 – 2,9	



PLAYA LA MARTINA											
Amenaza	Variable	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 5	Perfil 6
		Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3		Tramo 4		Tramo 5	
		Perfil estratigráfico	0.5% arcillas típicas de suelo incipiente saturado, 1.1 % Arenas con agua salobre. Posiblemente de grano fino o con buena presencia de matriz, 1.7 % Arcillas saturadas de agua salobre, 3.6 % Arcillas saturadas de agua salobre con una pequeña proporción mezclada de arenas, como pequeñas bandas de arenas o materia orgánica, 93.1 % Arcillas o Arcillas Limosas saturadas de agua salobre.	0.5% arcillas típicas de suelo incipiente saturado, 1.1 % Arenas con agua salobre. Posiblemente de grano fino o con buena presencia de matriz, 1.7 % Arcillas saturadas de agua salobre, 3.6 % Arcillas saturadas de agua salobre con una pequeña proporción mezclada de arenas, como pequeñas bandas de arenas o materia orgánica, 93.1 % Arcillas o Arcillas Limosas saturadas de agua salobre.	0.5% arcillas típicas de suelo incipiente saturado, 1.1 % Arenas con agua salobre. Posiblemente de grano fino o con buena presencia de matriz, 1.7 % Arcillas saturadas de agua salobre, 3.6 % Arcillas saturadas de agua salobre con una pequeña proporción mezclada de arenas, como pequeñas bandas de arenas o materia orgánica, 93.1 % Arcillas o Arcillas Limosas saturadas de agua salobre.	0.5% arcillas típicas de suelo incipiente saturado, 1.1 % Arenas con agua salobre. Posiblemente de grano fino o con buena presencia de matriz, 1.7 % Arcillas saturadas de agua salobre, 3.6 % Arcillas saturadas de agua salobre con una pequeña proporción mezclada de arenas, como pequeñas bandas de arenas o materia orgánica, 93.1 % Arcillas o Arcillas Limosas saturadas de agua salobre.	0.5% arcillas típicas de suelo incipiente saturado, 1.1 % Arenas con agua salobre. Posiblemente de grano fino o con buena presencia de matriz, 1.7 % Arcillas saturadas de agua salobre, 3.6 % Arcillas saturadas de agua salobre con una pequeña proporción mezclada de arenas, como pequeñas bandas de arenas o materia orgánica, 93.1 % Arcillas o Arcillas Limosas saturadas de agua salobre.	5% Arenas con agua salobre. Posiblemente de grano medio o con poca presencia de matriz, 11 % Arcillas saturadas de agua salobre con una pequeña proporción mezclada de arenas, como pequeñas bandas de arenas o materia orgánica, 39 % Arcillas saturadas de agua salobre y 46 % Arcillas saturadas de agua salobre con presencia de limos.	5% Arenas con agua salobre. Posiblemente de grano medio o con poca presencia de matriz, 11 % Arcillas saturadas de agua salobre con una pequeña proporción mezclada de arenas, como pequeñas bandas de arenas o materia orgánica, 39 % Arcillas saturadas de agua salobre y 46 % Arcillas saturadas de agua salobre con presencia de limos.		
Pérdida de ecosistemas estratégicos	Evolución de la línea de costa	0,1	-0,1	-0,7	0,4	-0,4					
	Geomorfología	Geomorfología obras de protección costeras y playa. Predomina la geomorfología playa a lo largo del tramo.	Geomorfología playa	Geomorfología playa	Geomorfología playa	Geomorfología playa y marisma (área de inundación con diferentes tipos de manglares). Predomina la geomorfología playa a lo largo del tramo.					
	Ancho de la playa	37,3	30,9	22,7	27,8	25,3					
	Pendiente de playa frontal (%)	3,4	3,4	6,7	5,9	4,4					

**Tabla 9.** Resultados consolidados Playas Urbanas.

PLAYAS URBANAS															
Amenaza	Variable	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 7	Perfil 8
		Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3		Tramo 4		Tramo 5		Tramo 6		Tramo 7	
Erosión	Geomorfología	Geomorfología playa		Geomorfología playa		Geomorfología playa		Geomorfología obras de protección costeras rígidas.		Geomorfología obras de protección costeras rígidas.		Geomorfología obras de protección costeras rígidas.		Geomorfología obras de protección costeras rígidas.	
	Grado de exposición al oleaje	Obra de protección no rígida (relleno de playa)		Obra de protección no rígida (relleno de playa)		Obra de protección costera rígida y costa natural		Obras de protección costera rígida		Obras de protección costera rígida		Obra de protección costera rígida y costa natural		Obra de protección costera rígida y costa natural	
	Pendiente de playa frontal (%)	3,1		3,7		5,1		0		0		0		0	
	Rango mareal (m)	0,5		0,5		0,5		0,5		0,5		0,5		0,5	
	Evolución de la LC (m/año)	4,6		10,5		2,6		-0,1		0,9		1,5		1,4	
	Litología	Roca sedimentaria inconsolidada		Roca sedimentaria inconsolidada		Roca sedimentaria inconsolidada		Roca sedimentaria inconsolidada		Roca sedimentaria inconsolidada		Roca sedimentaria inconsolidada		Roca sedimentaria inconsolidada	
	Altura de ola significativa (m)	1,4		1,4		1,4		1,4		1,3		1,3		1,3	
	Variación del nivel del mar (mm/año)	3,8		3,8		3,8		3,8		3,8		3,8		3,8	
Inundación	Ancho de Playa (m)	91,0		65,4		22,1		0		0		0		0	
	Geomorfología	Geomorfología playa		Geomorfología playa		Geomorfología playa		Geomorfología obras de protección costeras rígidas.		Geomorfología obras de protección costeras rígidas.		Geomorfología obras de protección costeras rígidas.		Geomorfología obras de protección costeras rígidas.	

PLAYAS URBANAS															
Amenaza	Variable	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 7	Perfil 8
		Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3		Tramo 4		Tramo 5		Tramo 6		Tramo 7	
	Pendiente de playa frontal (%)	3,1		3,7		5,1		0		0		0		0	
	Evolución de la línea de costa (m/año)	4,6		10,5		2,6		-0,1		0,9		1,5		1,4	
Salinización de acuíferos	Distancia de la línea de costa (m)	0		0		0		0		0		0		0	
	Conductividad hidráulica (m/día)	0 - 2.9		0 - 2.9		0 - 2.9		0 - 2.9		0 - 2.9		0 - 2.9		0 - 2.9	
	Perfil estratigráfico	3.7 % Relleno de grano grueso compacto húmedo, 23 % Arcillas saturadas de agua salobre, 2.1 % Arcillas o Arcillas limosas saturadas de agua salobre, unas leves cantidades de materiales gruesos mezclados (probablemente arenas finas)		3.7 % Relleno de grano grueso compacto húmedo, 23 % Arcillas saturadas de agua salobre, 2.1 % Arcillas o Arcillas limosas saturadas de agua salobre, unas leves cantidades de materiales gruesos mezclados (probablemente arenas finas)		3.6 % Arcillas típicas de suelo saturado, 3.6 % Arenas con agua salobre. Posiblemente de grano fino o con moderada cantidad de matriz, 32.9 % Arcillas saturadas de agua salobre, 60 % Arcillas o Arcillas limosas saturadas de agua salobre, unas leves cantidades de materiales gruesos mezclados (probablemente arenas finas)		1.4 % arcillas típicas de suelo saturado, 12.4 % arenas con agua salobre. Posiblemente de grano fino o con moderada cantidad de matriz, 29.3 % Arcillas saturadas de agua salobre, 56.9 % Arcillas o Arcillas limosas saturadas de agua salobre		2% Relleno de grano grueso compacto húmedo, 12.8 % Arenas con agua salobre. Posiblemente de grano medio o con poca presencia de matriz, 13.2 % Arcillas saturadas de agua salobre, 72 % Arcillas o Arcillas limosas saturadas de agua salobre		1.8 % Relleno de material vegetal grueso, 11.1 % arenas con agua salobre. Posiblemente de grano medio o con poca presencia de matriz, 24.9 % Arcillas saturadas de agua salobre, 62.2 % Arcillas o Arcillas limosas saturadas de agua salobre		3.7 % Relleno de grano grueso compacto, 14.2 % arenas con agua salobre y arcillas intercaladas. 14.9 % Arcillas saturadas de agua salobre, 67.2 % Arcillas o Arcillas limosas saturadas de agua salobre con posible presencia de bandas de arenas.	
	Evolución de la línea de costa	4,6		10,5		2,6		-0,1		0,9		1,5		1,4	

PLAYAS URBANAS															
Amenaza	Variable	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 7	Perfil 8
		Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3		Tramo 4		Tramo 5		Tramo 6		Tramo 7	
Pérdida de ecosistemas estratégicos	Geomorfología	Geomorfología playa		Geomorfología playa		Geomorfología playa		Geomorfología obras de protección costeras rígidas.		Geomorfología obras de protección costeras rígidas.		Geomorfología obras de protección costeras rígidas.		Geomorfología obras de protección costeras rígidas.	
	Ancho de la playa	91,0		65,4		22,1		0		0		0		0	
	Pendiente de playa frontal (%)	3,1		3,7		5,1		0		0		0		0	

## 7.2. Subcapítulo 2: Determinación de la vulnerabilidad.

### 7.2.1. Desarrollo metodológico

Para la definición de las variables que representan la vulnerabilidad se adaptó y modificó la metodología empleada por Rangel y Posada (2013). El ajuste metodológico consistió en la adición de las variables que representan las condiciones de vulnerabilidad para dos (2) amenazas: 1. Salinización de acuíferos y 2. Pérdida de ecosistemas estratégicos.

Las variables que representan la vulnerabilidad ante las amenazas de erosión e inundación se ajustaron; en algunos casos se conservaron y en otros se modificó su interpretación, teniendo en cuenta la disponibilidad de información y la capacidad técnica para medir cada variable. En relación a la vulnerabilidad ante la salinización de acuíferos se tuvo en cuenta el método GALDIT para la selección de las variables (Madera y Valderrama, 2014; Vargas, 2010). En cuanto a la pérdida de ecosistemas estratégicos se consideraron diversos estudios donde se relacionaba la incidencia de las variables con el cambio de los ecosistemas de playa y manglares (Urrego, 2013; Blanco, 2016).

La selección de las variables que representan la vulnerabilidad ante las diferentes amenazas se realizó teniendo en cuenta el elemento expuesto y su predisposición a ser afectado o sufrir alguna pérdida ante la ocurrencia de alguna amenaza. En este sentido, las variables seleccionadas representan el elemento expuesto ante cada amenaza, tal como se muestra a continuación (Tabla 10):

**Tabla 10.** Elemento expuesto de acuerdo a la amenaza.

<b>Amenaza</b>	<b>Elemento expuesto</b>
Erosión e inundación	Población e infraestructura
Pérdida de ecosistemas estratégicos ecosistémica	Playas y manglares
Salinización de acuíferos	Acuífero

Es de resaltar que el IVC evalúa la vulnerabilidad ante las amenazas de erosión e inundación. Algunas variables representan los agentes que inducen los impactos de ambas amenazas, mientras que otras representan los moduladores de dichos impactos (Martí, 2011). Teniendo en cuenta la naturaleza de ambas amenazas, se determinó que las variables que representan la vulnerabilidad son las mismas. Por lo cual, se tomaron las variables descritas en la metodología de Rangel y Posada (2013); uso del suelo, índice K – estructuras, porcentaje de área desarrollada, infraestructura de servicios, cobertura, sitios prioritarios y patrimonio histórico.

Para seleccionar las variables que representan la vulnerabilidad por salinización de acuíferos se tuvo en cuenta el método paramétrico de GALDIT. Este método evalúa el avance de la cuña de sal o la vulnerabilidad de los acuíferos a la intrusión marina. Considerando que el elemento expuesto es el acuífero.

Para la selección de las variables que representan la vulnerabilidad ante la pérdida de ecosistemas estratégicos, se ajustó la metodología de Rangel y Posada (2013), de la cual se interpretó que la variable sitios prioritarios se enfocaba al contexto de conservación. Así mismo, teniendo en cuenta que el elemento expuesto son los ecosistemas de playa y manglares se agregó la variable de zonificación ambiental y cobertura ecológica considerando la información disponible y las condiciones del área de estudio.

A continuación, el detalle de las variables consideradas (Tabla 11):

**Tabla 11.** Variables de amenaza.

Tipo de amenaza	Variable	Descripción
Erosión e inundación	Uso del suelo	Para clasificar esta variable Rangel y Posada (2013) aplicaron la metodología Corine Land Cover. Para el presente estudio se conservó el criterio de clasificación presentado por Rangel y Posada (2013), dando un valor mayor de vulnerabilidad cuando el elemento expuesto es la población o infraestructura. Sin embargo, se realizó un ajuste en el descriptor de cada calificación de vulnerabilidad, teniendo en cuenta los diferentes usos del suelo (Rural y Urbano) establecidos en el Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito de Turbo (POT), en lugar de las diferentes categorías de Corine Land Cover. (Ver Anexos 15 y 16).
	Índice K - estructuras	Se uso el criterio de Rangel y Posada (2013)
	Porcentaje de área desarrollada (%)	Se uso el criterio de Rangel y Posada (2013)
	Infraestructura de servicios (%)	Se uso el criterio de Rangel y Posada (2013)
	Cobertura socioeconómica	Esta variable establecida en la metodología de Rangel y Posada (2013) como cobertura, se renombró como cobertura socioeconómica. Teniendo en cuenta las características del área de estudio y la disponibilidad de información, se conservó el criterio de clasificación dándole prioridad a los elementos expuestos (población e infraestructura). Así mismo se realizó la reclasificación de la variable, dejando solo tres clasificaciones de cobertura. El descriptor de cada clasificación se ajustó conforme a la metodología Corine Land Cover, de la cual se tomaron las tres primeras categorías (nivel 1).
Patrimonio histórico artístico	Para esta variable se conservó el criterio de clasificación de Rangel y Posada (2013), considerando solo dos clasificaciones. El descriptor de la clasificación muy alta se ajustó teniendo en cuenta la información disponible en el área de estudio. De este modo, se consideró una vulnerabilidad muy baja (1) cuando no se presentaban bienes del patrimonio histórico o comunidades étnicas y muy alta (5) cuando sí había presencia de estas.	
Salinización de acuíferos	Nivel estático (m)	Hace referencia a la elevación de la capa freática o la profundidad del techo del acuífero. Cuando se presenta disminución en el nivel de agua dulce, el agua marina puede tomar el lugar que el agua dulce ocupaba (Lenntech, 2017).
	Tipo de acuífero	De acuerdo a la presión hidrostática los acuíferos pueden ser libres, confinados y semiconfinados. La vulnerabilidad de salinización de los acuíferos confinados es menor en relación a los acuíferos no confinados.
	Espesor del acuífero (m)	Este parámetro se basa en la importancia en la extensión y magnitud de la intrusión marina en las costas. Ante un mayor espesor, mayor será el grado de la intrusión marina (Chinchihualpa, 2018).
	Índice de calidad de agua [Cl/HCO3] (meq/l)	La relación iónica mayoritaria en el agua de mar varía entre 20 y 50 meq/L mientras que en las aguas

Tipo de amenaza	Variable	Descripción
		dulces continentales tiene normalmente un valor entre 0,1 y 5 meq/L (Madera y Valderrama, 2014). La relación Cl/ HCO <sub>3</sub> caracteriza el grado de intrusión marina (agua normal 0,5, ligeramente contaminada 1,5; moderadamente contaminada 3, etc.) (Barros y Llanusa, 2001).
Pérdida de ecosistemas estratégicos	Zonificación	El criterio para la clasificación de esta variable consistió en aumentar la vulnerabilidad a medida que el elemento expuesto fuera el ecosistema. El descriptor de cada clasificación se realizó teniendo en cuenta la zonificación de la Unidad Ambiental Costera del Darién (Anexo 17).
	Cobertura ecológica	Para esta variable se tomó como referencia la establecida en la metodología de Rangel y Posada (2013) como cobertura. Se renombró como cobertura ecológica. En el criterio de calificación se le dio prioridad al ecosistema, de este modo la vulnerabilidad aumentaba a medida que el elemento expuesto fueran las playas o lo manglares. Para el descriptor de cada clasificación se tuvo en cuenta la metodología Corine Land Cover.
	Sitios prioritarios	Rangel y Posada (2013) realizaron la clasificación de esta variable teniendo en cuenta Informe Técnico Planificación Ecorregional para la conservación in situ de la biodiversidad marina y costera en el Caribe y Pacífico continental colombiano (INVEMAR et al., 2009). Se conservó el criterio de clasificación presentado por Rangel y Posada (2013), dando un valor mayor de vulnerabilidad cuando el elemento expuesto es el ecosistema. Sin embargo, se reclasificó está dejando solo dos clasificaciones de vulnerabilidad y el descriptor de la variable se ajustó teniendo en cuenta la información del Registro Único Nacional de Áreas Protegidas – RUNAP. De este modo, para esta variable se presentaron dos calificaciones; una vulnerabilidad baja (1) cuando no se presentaban áreas registradas en el RUNAP y muy alta cuando sí se presentarán áreas registradas.

En el anexo 18 se relacionan las variables que representan la vulnerabilidad ante las amenazas.

Caracterización de las variables:

Las variables asociadas a cada una de las vulnerabilidades se procesaron en un sistema de información geográfica. El procesamiento se realizó en dos etapas, primero se hizo una revisión de los datos obtenidos de información secundaria y luego esos datos se ajustaron utilizando las mediciones realizadas en campo. A continuación, se describen los resultados obtenidos del procesamiento de las variables.

- Uso del suelo:

El uso del suelo se determinó mediante información secundaria, a partir de la revisión de la cartografía base para la construcción del Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito de Turbo (POT-Turbo, 2015). Se usaron los mapas de “Zonificación de Usos del Suelo Urbana”

y “Zonificación de uso del suelo”. Sobre estos se superpusieron las capas de delimitación de ambas playas de estudio. Luego en cada uno de los tramos se registró el uso del suelo indicado.

- Índice K – estructuras

De acuerdo a Rangel *et al.*, 2010, el coeficiente de impacto antropogénico es la relación entre la longitud total (I) de todas las estructuras y la longitud (L) de los tramos. Por ende, diferentes categorías pudieron ser estimadas, obteniendo los diferentes intervalos de calificación: (No estructuras K= 0, Mínimo K= 0,0001 – 0,1, Promedio K= 0,11 - 0,5, Máximo K=0,51 - 1, Extremo K > 1).

Se realizó un recorrido en las dos playas, donde mediante observación directa se identificaron las obras de defensa costera presentes. La mayoría fueron obras lineales y usando un GPS se midieron las coordenadas a lo largo de cada una de las obras, con los cual se determinó la longitud aproximada. Además, se reunió información como ubicación, extensión, tipo de obra, entre otros.

Utilizando dron se tomó una ortofoto de 1 cm/pixel en cada playa de estudio. El plan de vuelo considero una extensión hacia el océano y el continente de 20 m y 500 m respectivamente para formar un polígono. El dron se configuró a una altura de 80 m, con un traslape vertical y horizontal del 60 %. Las ortofotos se superpusieron a la capa de puntos de las obras. Con la ortofoto y la capa ajustada de puntos se midió en cada tramo la longitud total de cada una de las obras. Los valores del índice K, se determinaron como la relación entre la longitud total (I) de las estructuras en el tramo y la longitud (L) del tramo (Aybulatov *et al.*, 1993; Rangel y Anfuso, 2012).

- Porcentaje de área desarrollada

Para calcular este porcentaje se utilizaron como referencia las ortofotos tomadas en ambas playas de estudio. En cada playa se creó una capa de polígonos, los cuales identificaron infraestructura como: viviendas, locales comerciales, sitios de recreación, entre otros. Posteriormente se dividió cada ortofoto por tramos y se calculó el área (m<sup>2</sup>) de polígonos endicho tramo. Una vez obtenido el área desarrollada (ADT) y el área total (ATT) de cada tramo se utilizó la siguiente expresión:

$$\text{Porcentaje de área desarrollada (\%)} = \frac{\text{ÁDT (m}^2\text{)} * 100 \%}{\text{ATT (m}^2\text{)}} \text{ Ecuación (4)}$$

Los intervalos de calificación usados en la zona de estudio son: Desarrollo menor del 20%, Desarrollo entre 20-40%, Desarrollo entre 40-60%, Desarrollo entre 60-80% y Desarrollo mayor al 80%.

- Infraestructura de servicios (%)

Esta variable se determinó a partir de información contenida en el POT de Turbo 2012-2015. En este se buscó información sobre la cobertura de servicios públicos en la zona de estudio. Se consideraron los siguientes servicios: acueducto, alcantarillado, gas domiciliario y energía. De este modo, si contaba con los 4 servicios se le asignó un valor de 100 %, 3 servicios 75 %, 2 servicios 50 %, 1 servicio 25 %.



- Cobertura:

Las coberturas socioeconómica y ecológicas fueron obtenidas mediante mediciones de campo. Con este fin se elaboraron formatos de campo basados en las clasificaciones establecidas y mediante inspección visual en las salidas de campo, se identificaron las coberturas a lo largo de la línea de costa. Se realizó un registro fotográfico y con un GPS y cinta métrica, se midieron dimensionalmente las características más representativas en los tramos de estudio. Luego con la base de datos consolidada se determinaron para cada tramo las coberturas más representativas y se clasificaron.

- Patrimonio histórico – artístico:

Para determinar la presente variable se solicitaron a instituciones de carácter nacional, departamental y distrital, la información que se describe a continuación:

**Tabla 12.** Relación de solicitudes a instituciones.

<b>Institución</b>	<b>Descripción</b>
Ministerio del Interior	Certificado en el cual se indicará si se registraba o no la presencia de comunidades indígenas, minorías, ROM, negras, Afrocolombianas, Raizales y Palenquera
Instituto Colombiano de Antropología e Historia	Certificado en el cual se indicará si se registraba o no la presencia de bienes y sitios correspondiente al patrimonio histórico nacional.
Ministerio de Cultura	Certificado en el cual se indicará si se encontraba o no en el área afectada, en la zona de influencia o colindante con un bien declarado de interés cultural, del ámbito nacional, departamental, distrital, municipal, de los territorios indígenas o de las comunidades negras.
Instituto de Cultura y Patrimonio de Antioquia	Certificado en el cual se indicará la presencia o no de bienes del patrimonio y culturales declarados por la Gobernación de Antioquia.
Alcaldía de Turbo	Certificado en el cual se indicará la presencia o no de bienes del patrimonio y culturales declarados por el Distrito de Turbo.

- Nivel estático, espesor del acuífero y tipo de acuífero

Las variables nivel estático, espesor del acuífero (m) y tipo de acuífero, se determinaron a partir de la información del estudio de actualización del modelo hidrogeológico conceptual del sistema acuífero del Urabá Antioqueño (Universidad de Antioquia y CORPOURABA, 2014). En dicho estudio se realizó la caracterización geofísica y geológica del acuífero.

- Indicador de calidad de agua [Cl/HCO<sub>3</sub>] (meq/l)

Los valores de la relación iónica Cl/HCO<sub>3</sub> se tomaron del estudio de hidro-geoquímica en el acuífero costero del eje bananero de Urabá (Paredes *et al.*, 2010). En dicho estudio se determinaron los diferentes procesos de salinización del acuífero costero mediante la aplicación de hidro-geoquímica y sus relaciones iónicas.

- Sitios prioritarios y zonificación

Las variables sitios prioritarios y zonificación se determinaron a partir de la revisión cartográfica del RUNAP y de zonificación ambiental de la UAC Darién, respectivamente.

Sobre ambos mapas se sobrepusieron las capas de delimitación de ambas playas de estudio, que contenían los límites de cada uno de los tramos y luego se identificaron si los tramos estaban o no en un sitio prioritario y se registró la zonificación que se indicara.

En la Anexo 19 se muestra algunas evidencias fotográficas de las mediciones en campo de las variables de vulnerabilidad y en el Anexo 20 la clasificación de las variables que representan la vulnerabilidad ante las amenazas.

### **7.2.2. Resultados**

A continuación, se describen los resultados obtenidos para cada variable

- Usos del suelo:

En playas Urbanas de Turbo la categoría de uso para el tramo 1 correspondió a usos según la UAC. Desde el tramo 2 hasta el tramo 7 el uso del suelo correspondió a turístico y centro poblado (Anexo 21a). Por otro lado, los usos del suelo en playa La Martina para todos los tramos corresponde a usos según la UAC (Anexo 21b).

- Cobertura socioeconómica:

Todos los tramos de ambas playas de estudio se caracterizan por presentar zonas comerciales e instalaciones recreativas. Es de notar que, en las playas Urbanas, a partir del tramo 3 se evidencian obras hidráulicas (Anexos 22 a y b)

- Índice K – estructuras:

En playas Urbanas los tramos 1 y 2 no presentaron obras de protección costera ( $K=0$ ). Desde el tercer tramo se registran valores de índice K que oscilan entre 0,6 y 1,3. Las obras presentes en este tramo, se caracterizan por ser muros de contención, enrocados y/o espolones (Anexo 23a). En la playa la Martina solo se observaron obras compuestas por cúmulos de madera en el primer tramo, con un índice  $K = 0,1$ . En el resto de los tramos el valor de  $K=0$  (Anexo 23b).

- Porcentaje de área desarrollada (%):

Solo en el tramo 2 de las playas Urbanas presentó el mayor porcentaje de área desarrollada con un valor de 64,1 %, mientras que el menor valor se registró en el tramo 7 con un porcentaje de 19.6 % (24a). En la playa La Martina por su parte el valor máximo se presentó en el tramo 5 con 27.6 % y el mínimo en el tramo 2 con 5.5 % (24b).

- Infraestructura de servicios (%):

En relación a la infraestructura de servicios, todos los tramos correspondientes a playas Urbanas presentaron valor de 75%. Mientras que todos los tramos de la playa La Martina solo fue del 50%.

- Sitios prioritarios:

En ninguno de los tramos de ambas playas de estudio se encontraron zonas establecidas en el Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (RUNAP). Su valoración fue "No presente".

- Patrimonio histórico artístico:

En ninguno de los tramos de las playas Urbanas y la Martina se identificaron comunidades indígenas, minorías, ROM, negras, afrocolombianas, raizales o palenqueras. En la playa Urbana en el tramo 2 se encuentra el monumento al Cangrejo Azul y en el tramo 7 se encuentra establecida una escuela (Anexo 25). En el resto de los tramos ambas playas no se identificaron (No presente) bienes y sitios del patrimonio histórico de carácter nacional, departamental o distrital.

- Nivel estático (m)

Tanto para las playas Urbanas como para la Martina el nivel estático varía entre 0 – 5 m.

- Tipo de acuífero:

El acuífero presente en las dos Playas de Estudios es semiconfinado.

- Espesor del acuífero (m):

En todos los tramos de las playas Urbanas el acuífero presenta un espesor promedio de 210 m. En el caso de la Martina y para todos los tramos el espesor es aproximadamente 50 m.

- Indicador de calidad de agua [Cl/HCO<sub>3</sub>]

Los valores de este indicador estuvieron en el intervalo 0 – 5,7. Esto es válido para ambas playas.

- Zonificación:

En las playas Municipales solo el tramo 1 corresponde a un área de recuperación. Del tramo 2 hasta el 7 la zonificación corresponde a áreas urbanas municipales y distritales. En relación a los tramos de las playas la Martina la zonificación corresponden a áreas de recuperación.

- Cobertura ecológica:

En la playa Urbana se encontró que la cobertura predominante son las zonas comerciales e instalaciones recreativas, excepto en el tramo 4 donde se presenta un parche de manglar (Anexo 26a). En general los tramos de la playa La Martina están cubiertos por pastos arbolados con presencias leves de zonas comerciales y recreativas (Anexo 26b).

A continuación, se muestra en consolidado de los resultados obtenidos para cada variable en las dos playas de estudio:

**Tabla 13.** Resultados consolidados de vulnerabilidad antes amenazas Playas Urbanas.

VARIABLES	Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3		Tramo 4		Tramo 5		Tramo 6		Tramo 7	
	P1	P2	P2	P3	P3	P4	P4	P5	P5	P6	P6	P7	P7	P8
Cobertura socioeconómica	Zonas comerciales e instalaciones recreativas, mosaicos de pastos, arbustos y matorrales.		Zonas comerciales e instalaciones recreativas.		Zonas comerciales e instalaciones recreativas, obras hidráulicas, bosque de mangle y mosaico de pastos.		Tejido urbano, obras hidráulicas, bosque de mangle.		Instalaciones recreativas, zonas comerciales, tejido urbano, obras hidráulicas, bosque de mangle, mosaico de pastos.		Instalaciones recreativas, zonas comerciales, tejido urbano, obras hidráulicas y mosaico de pastos.		Instalaciones recreativas, zonas comerciales, tejido urbano y obras hidráulicas.	
Uso del suelo	Usos según Unidad Ambiental Costera.		Turístico y centro poblado.		Turístico y centro poblado.		Turístico y centro poblado.		Turístico y centro poblado.		Turístico y centro poblado.		Turístico y centro poblado.	
Índice K – estructuras	0		0		0.56		1.3		1.3		1.1		0.9	
Porcentaje de área desarrollada (%)	46		64.1		63.0		46.9		52.7		37.8		18.6	
Infraestructura de servicios (%)	75		75		75		75		75		75		75	
Sitios prioritarios	No presente		No presente		No presente		No presente		No presente		No presente		No presente	
Patrimonio histórico artístico	No presente		Bienes del patrimonio y culturales de carácter distrital.		No presente		No presente		No presente		No presente		Bienes del patrimonio y culturales de carácter distrital.	
Nivel estático (m)	0 – 5		0 - 5		0 - 5		0 - 5		0 - 5		0 - 5		0 - 5	
Tipo de acuífero	Semiconfinado		Semiconfinado		Semiconfinado		Semiconfinado		Semiconfinado		Semiconfinado		Semiconfinado	
Espesor del acuífero (m)	210		210		210		210		210		210		210	

VARIABLES	Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3		Tramo 4		Tramo 5		Tramo 6		Tramo 7	
	P1	P2	P2	P3	P3	P4	P4	P5	P5	P6	P6	P7	P7	P8
Indicador de calidad de agua [Cl/HCO3]	0,0 – 1,0		0,0 – 1,0		0,0 – 1,0		0,0 – 1,0		0,0 – 1,0		0,0 – 1,0		0,0 – 1,0	
Cobertura ecológica	Zonas comerciales e instalaciones recreativas, arbustos y matorrales, mosaico de pastos.		Zonas comerciales e instalaciones recreativas.		Zonas comerciales e instalaciones recreativas, mosaico de pastos y bosque de mangle.		Tejido urbano, bosque de mangle.		Instalaciones recreativas, zonas comerciales, tejido urbano, mosaico de pastos, bosque de mangle.		Instalaciones recreativas, zonas comerciales, tejido urbano y mosaico de pastos.		Instalaciones recreativas, zonas comerciales y tejido urbano.	
Zonificación	Áreas de recuperación		Urbanas municipales y distritales		Urbanas municipales y distritales		Urbanas municipales y distritales		Urbanas municipales y distritales		Urbanas municipales y distritales		Urbanas municipales y distritales	

**Tabla 14.** Resultados consolidados de vulnerabilidad ante amenazas Playas La Martina.

VARIABLES	Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3		Tramo 4		Tramo 5	
	P1	P2	P2	P3	P3	P4	P4	P5	P5	P6
Cobertura socioeconómica	Instalaciones recreativas y zonas comerciales, pastos arbolados, arbustos y matorrales.		Instalaciones recreativas, zonas comerciales y tejido urbano, pastos arbolados, arbustos y matorrales.		Instalaciones recreativas y zonas comerciales, pastos arbolados, arbustos y matorrales.		Instalaciones recreativas, zonas comerciales y tejido urbano, mosaico de pastos, pastos arbolados, arbustos y matorrales.		Instalaciones recreativas, zonas comerciales y tejido urbano, marisma, mosaico de pastos, pastos arbolados, arbustos y matorrales.	
Uso del suelo	Usos según Unidad Ambiental Costera		Usos según Unidad Ambiental Costera		Usos según Unidad Ambiental Costera		Usos según Unidad Ambiental Costera		Usos según Unidad Ambiental Costera	
Índice K – estructuras	0.1		0		0		0		0	

VARIABLES	Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3		Tramo 4		Tramo 5	
	P1	P2	P2	P3	P3	P4	P4	P5	P5	P6
Porcentaje de área desarrollada (%)	22.0		5.5		6.51		14.1		27.6	
Infraestructura de servicios (%)	50		50		50		50		50	
Sitios prioritarios	No presente		No presente		No presente		No presente		No presente	
Patrimonio histórico artístico	No presente		No presente		No presente		No presente		No presente	
Nivel estático (m)	0 - 5		0 - 5		0 - 5		0 - 5		0 - 5	
Tipo de acuífero	Semiconfinado		Semiconfinado		Semiconfinado		Semiconfinado		Semiconfinado	
Espesor del acuífero (m)	50		50		50		50		50	
Indicador de calidad de agua [Cl/HCO3]	0,0 – 1,0		0,0 – 1,0		0,0 – 1,0		0,0 – 1,0		0,0 – 1,0	
Cobertura ecológica	Mosaico de pastos, pastos arbolados, arbustos y matorrales, zonas comerciales e instalaciones recreativas.		Pastos arbolados, arbustos y matorrales, instalaciones recreativas, zonas comerciales y tejido urbano.		Pastos arbolados, arbustos y matorrales, instalaciones recreativas y zonas comerciales.		Mosaico de pastos, pastos arbolados, arbustos y matorrales, instalaciones recreativas, zonas comerciales, zona de disposición de residuos y tejido urbano.		Marisma, bosque de mangle, mosaico de pastos, pastos arbolados, arbustos y matorrales, tejido urbano.	
Zonificación	Áreas de recuperación.		Áreas de recuperación.		Áreas de recuperación.		Áreas de recuperación.		Áreas de recuperación.	

A continuación, se muestra la metodología ajustada para el presente estudio:

**Tabla 15.** Metodología ajustada con las variables de amenazas y vulnerabilidad.

Fase	Tipo de amenaza	Variable	Rango de valores				
			Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
			1	2	3	4	5
Amenaza	Erosión	Geomorfología	Acantilados altos (+ 4 m)	Acantilados medios y bajos (- 4 m)	Barreras, deltas, espigas y tómbolos	Playa y playa sobre plataforma litoral	Planicies de marea y marismas
		Pendiente de playa frontal (%)	≥ 7,5	Entre 4 y 7,4	Entre 2 y 3,9	Entre 1,3 y 1,9	< 1,2
		Rango mareal (m)	< a 0,5	Entre 0,5 y 0,9	Entre 1 y 1.4	Entre 1.4 y 2	> 2
		Evolución de la LC (m/año)	≥ 13	Entre 13 y 5	Entre 5 y 0	Entre -0,1 y -2	< -2
		Variación del nivel del mar (mm/año)	< 3	Entre 3,1 y 3,3	Entre 3,4 y 3,7	Entre 3,8 y 4	≥ 4,1
		Altura de ola significativa (m)	Entre 0 y 1	X	Entre 1 y 2 m	x	>2
		Grado de exposición al oleaje	Puertos, espigones, rompeolas, rellenos duros	Regeneración de playas, rellenos blandos (obras de protección costera no rígidas)	Costa natural, muelle sobre pilotes	Deforestación, extracción de áridos, edificios en altura	Dstrucción y extracción de material de playa, drenaje urbano en playa
		Litología	Roca volcánica, plutónica y metamórfica de alto grado	Roca metamórfica de bajo grado	Mayoría de rocas sedimentarias	Roca sedimentaria poco consolidada	Roca sedimentaria inconsolidada
	Inundación	Geomorfología	Acantilados altos (+ 4 m)	Acantilados medios y bajos (- 4 m)	Barreras, deltas, espigas y tómbolos	Playa y playa sobre plataforma litoral	Planicies de marea y marismas
		Pendiente de playa frontal (%)	≥ 7,5	Entre 4 y 7,4	Entre 2 y 3,9	Entre 1,3 y 1,9	< 1,2

Fase	Tipo de amenaza	Variable	Rango de valores				
			Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
			1	2	3	4	5
		Evolución de la línea de costa (m/año)	≥ 13	Entre 13 y 5	Entre -5 y 0	Entre -0,1 y -2	< -2
		Salinización de acuíferos	Perfil estratigráfico	Perfil donde predominan arcillas	Perfil con 50% arcillas y 50% limos	Perfil donde predominan los limos	Perfil con 50% limos y 50% arenas
	Conductividad hidráulica (m/día)		Entre 0 - 2,9	Entre 2,9 - 5,7	Entre 5,7 - 8,5	Entre 8,5 - 11,3	> 11,3
	Distancia de la línea de costa (m)		>20	Entre 20 y 12	Entre 12 y 7,7	Entre 7 y 3	<3
	Pérdida de ecosistemas estratégicos	Evolución de la línea de costa (m/año)	≥ 13	Entre 13 y 5	Entre -5 y 0	Entre -0,1 y -2	< -2
		Geomorfología	Acantilados altos (+ 4 m)	Acantilados medios y bajos (- 4 m)	Barreras, deltas, espigas y tómbolos	Playa y playa sobre plataforma litoral	Planicies de marea y marismas
		Ancho de la playa (m)	> 100	Entre 100 y 60	Entre 60 y 20	< 20	Sin playa
		Pendiente de playa frontal (%)	≥ 7,5	Entre 4 y 7,4	Entre 2 y 3,9	Entre 1,3 y 1,9	< 1,2
	Vulnerabilidad	Erosión	Uso del suelo	Protección y Recuperación Ecológica, Conservación y recuperación de Ecosistemas, Usos según Unidad	Transporte Fluvial y marítimo, Reserva Histórica, Zona Expansión, Suelo Suburbano.	Agrosilvícola, Cultivos transitorios intensivos, Cultivos transitorios semiintensivos,	Institucional de Servicios, Institucional Educativo, Institucional Deportivo y Recreativo, Institucional – Religioso.



Fase	Tipo de amenaza	Variable	Rango de valores				
			Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
			1	2	3	4	5
		Ambiental Costera					Indígena, Zona Urbana, Consejo Comunitario, Eje de Actividad Múltiple.
		Índice K – estructuras	No estructuras (K = 0)	Mínimo (K = 0,0001-0,1)	Promedio (K=0,11 - 0,5)	Máximo (K=0,51 - 1)	Extremo (K mayor de 1)
		Porcentaje de área desarrollada	Desarrollo menor del 20 %	Desarrollo entre 20-40%	Desarrollo entre 40-60%	Desarrollo entre 60-80%	Desarrollo mayor al 80 %
		Infraestructura de servicios	Desarrollo menor del 20 %	Desarrollo entre 20-40%	Desarrollo entre 40-60%	Desarrollo entre 60-80%	Desarrollo mayor al 80 %
		Cobertura socioeconómica	Arbustos y matorrales	Mosaico de pastos, Pastos arbolados, pastos enmalezados, Pastos limpios	Bosque de mangle, Marismas costeras, Lagunas - Lagos, Zonas pantanosas, Bosques de Galería	Cultivos transitorios, cultivos permanentes	Tejido urbano, zonas industriales o comerciales, red vial, obras hidráulicas, zona de extracción minera, zona de disposición de residuos, zonas verdes urbanas, instalaciones recreativas.
		Patrimonio histórico artístico	No presente	x	x	x	Bienes del patrimonio y sitios del patrimonio histórico nacional. Bienes

Fase	Tipo de amenaza	Variable	Rango de valores				
			Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
			1	2	3	4	5
							del patrimonio y culturales de carácter departamental, bienes del patrimonio y culturales de carácter distrital. Comunidades indígenas, minorías, rom, negras, afrocolombianas, raizales y palenqueras.
	Inundación	Uso del suelo	Protección y Recuperación Ecológica, Conservación y recuperación de Ecosistemas, Usos según Unidad Ambiental Costera	Transporte Fluvial y marítimo, Reserva Histórica, Zona Expansión, Suelo Suburbano.	Agrosilvícola, Cultivos transitorios intensivos, Cultivos transitorios semiintensivos,	Institucional de Servicios, Institucional Educativo, Institucional Deportivo y Recreativo, Institucional – Religioso.	Residencial, Servicios, Turístico, Actividad Comercial, Industrial, Cabotaje, Centro Poblado, Resguardo Indígena, Zona Urbana, Consejo Comunitario, Eje de Actividad Múltiple.
Índice K – estructuras		No estructuras (K = 0)	Mínimo (K = 0,0001-0,1)	Promedio (K=0,11 - 0,5)	Máximo (K=0,51 - 1)	Extremo (K mayor de 1)	

Fase	Tipo de amenaza	Variable	Rango de valores				
			Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
			1	2	3	4	5
		Porcentaje de área desarrollada	Desarrollo menor del 20 %	Desarrollo entre 20-40%	Desarrollo entre 40-60%	Desarrollo entre 60-80%	Desarrollo mayor al 80 %
		Infraestructura de servicios	Desarrollo menor del 20 %	Desarrollo entre 20-40%	Desarrollo entre 40-60%	Desarrollo entre 60-80%	Desarrollo mayor al 80 %
		Cobertura socioeconómica	Arbustos y matorrales	Mosaico de pastos, Pastos arbolados, pastos enmalezados, Pastos limpios	Bosque de mangle, Marismas costeras, Lagunas - Lagos, Zonas pantanosas, Bosques de Galería	Cultivos transitorios, cultivos permanentes	Tejido urbano, zonas industriales o comerciales, red vial, obras hidráulicas, zona de extracción minera, zona de disposición de residuos, zonas verdes urbanas, instalaciones recreativas.
		Patrimonio histórico artístico	No presente	x	x	x	Bienes del patrimonio y sitios del patrimonio histórico nacional. Bienes del patrimonio y culturales de carácter departamental, bienes del patrimonio y culturales de

Fase	Tipo de amenaza	Variable	Rango de valores				
			Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
			1	2	3	4	5
							carácter distrital. Comunidades indígenas, minorías, rom, negras, afrocolombianas, raizales y palenqueras.
	Salinización de acuíferos	Nivel estático	0 - 10	>10 - 20	x	>20 - 30	>30 - 40
		Tipo de acuífero	Confinado	x	Ligeramente confinado	x	No confinado (libre)
		Espesor del acuífero	>223,5	>149 - 223,5	>74,5 - 149	>0 - 74,5	0
		Indicador de calidad de agua [Cl/HCO3]	Menor o igual 1,0	Mayor a 1,0 y menor o igual a 1,5	Mayor a 1,5 y menor o igual a 3	Mayor a 3 y menor o igual 5	Mayor a 5
	Pérdida de ecosistemas estratégicos	Zonificación	Urbanas municipales y distritales.	Agrícolas, agrosilvopastoriles, forestal, pesquera industrial, pesquera artesanal	Áreas de restauración ecológica. Áreas de recuperación, Agrícolas, agrosilvopastoriles, forestal, pesquera industrial, pesquera artesanal, Urbana municipales y distritales.	Áreas de recuperación	Áreas del SINAP, áreas de importancia ambiental, áreas de restauración.
		Cobertura ecológica	Territorios artificializados: Zonas urbanizadas,	x	Territorios agrícolas: Cultivos transitorios,	x	Bosques y áreas seminaturales: Bosques, Áreas con vegetación

Fase	Tipo de amenaza	Variable	Rango de valores				
			Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
			1	2	3	4	5
		Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación, Zonas de extracción minera y escombreras, Zonas verdes artificializadas, no agrícolas.			Cultivos permanentes, Pastos, Áreas agrícolas heterogéneas.		herbácea y/o arbustiva, Áreas abiertas, sin o con poca vegetación "
		Sitios prioritarios	No presente	x	x	x	Distrito nacional y/o regional de manejo integrado, distritos de conservación de suelos, parques naturales nacionales o regionales, reserva natural, reserva natural de la sociedad civil, reservas forestales protectoras nacionales o regionales, santuario de fauna, santuario

Fase	Tipo de amenaza	Variable	Rango de valores				
			Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
			1	2	3	4	5
							de fauna y flora, santuario de flora, vía parque, área natural única, área de recreación.

### 7.3. Subcapítulo 3: Índices de riesgo costero.

#### 7.3.1. Desarrollo metodológico.

Para determinar el riesgo costero se utilizaron seis índices de vulnerabilidad, a partir de la evaluación de los factores que representa la amenaza. Con base en el Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) el cual permite la representación de la amenaza (Gornitz et al., 1994), se definieron los siguientes cinco índices:

- Índice de Vulnerabilidad Social (IVSo)
- Índice de Vulnerabilidad de la Conservación (IVCCo)
- Índice de Vulnerabilidad del Patrimonio (IVCPa)
- Índice de Vulnerabilidad por Pérdida de Ecosistemas Estratégicos (IVCPe)
- Índice de Vulnerabilidad por Salinización de Acuíferos (IVCSa).

La metodología empleada para el cálculo de los índices en cada uno de los tramos se describe a continuación:

#### Valoración cualitativa de las variables de amenaza y vulnerabilidad

Las variables de amenaza y vulnerabilidad presentaron distintas escalas espaciales y temporales. De acuerdo con Talavera (2011) se unificaron e integraron todas las variables en un mismo índice, y para esto se asignaron valores numéricos a los resultados obtenidos para las variables en cada uno de los tramos. Los valores tuvieron una escala entre 1 y 5, incrementando la amenaza o vulnerabilidad conforme crece el valor: Muy Baja (1), Baja (2), Moderada (3), Alta (4) y Muy Alta (5).

#### Ponderación de las variables de amenaza y vulnerabilidad

Luego de realizar la valoración cualitativa de las variables, de acuerdo con Rangel y Posada (2013), se ponderaron las variables de amenaza y vulnerabilidad con el fin de eliminar la subestimación de las más relevantes y la sobrestimación de las menos determinantes. Se usaron factores de ponderación entre 1 y 0,6 de acuerdo a su importancia. Las variables se corrigieron con los siguientes factores (Fc): Determinante (D=1,0), Indirecta (I=0,8) y Secundaria (S=0,6). La ponderación se realizó usando la siguiente expresión:

$$VP = Vo * Fc \text{ Ecuación (5)}$$

dónde, VP es la variable ponderada, Vo es la variable original.

En el anexo 7 se muestra los valores numéricos asignados a las variables en cada uno de los tramos de Playa La Martina y Playas Urbanas respectivamente, así mismo su valor ponderado. No se discriminan para cada una de las amenazas, ya que muchas de ellas comparten variables.

#### Cálculo de índices de vulnerabilidad costera

Los índices fueron calculados como se muestra a continuación:

- Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC)

El índice de vulnerabilidad costera (IVC), se determinó utilizando el método de Gornitz et al. (1994), modificada por Rangel y Posada (2013). A partir de este método se determinó la amenaza en cada uno de los tramos, usando la siguiente ecuación:

$$IVC = \sqrt{\frac{G \times P \times R \times E \times V \times A \times GR \times L \times PE \times C \times D \times AP}{12}} \text{ Ecuación (6)}$$

dónde: G es la geomorfología\*, P la pendiente de playa frontal\*, R el rango mareal, E la evolución de la línea de costa\*, V la variación de nivel del mar, A la altura ola significativa, GR el grado de exposición al oleaje, L la litología, PE el perfil estratigráfico, C la conductividad hidráulica, D la distancia de la línea de costa y A el ancho de Playa\*\* (con un asterisco (\*) se muestran las variables que aparte de la erosión también representan la inundación y con dos asteriscos (\*\*) el ecosistema estratégico).

La ecuación (6) se modificó teniendo en cuenta las variables identificadas como amenaza y la adaptación representada en cinco índices: IVSo, IVCCo, IVCPa, IVCPe, IVCSa. Las variables de vulnerabilidad se asociaron a los índices que representan (Tabla 16).

**Tabla 16.** Variables y los índices de vulnerabilidad que representan.

Variable	Índice que representa
Usos de suelo	IVSo
Índice K – estructuras	IVSo
Porcentaje de área desarrollada	IVSo
Infraestructura de servicios	IVSo
Cobertura socioeconómica	IVSo
Sitios prioritarios	IVCCo
Patrimonio artístico	IVCPa
Nivel estático	IVCSa
Tipo de acuífero	IVCSa
Espesor del acuífero	IVCSa
Indicador de calidad de agua	IVCSa
Zonificación	IVCPe
Cobertura ecológica	IVCPe

Los índices IVSo, IVCCo, IVCPa, IVCPe, IVCSa se calcularon como se muestra a continuación:

- Índice de Vulnerabilidad Social (IVCSo)

Este índice se calculó como el producto entre las variables de amenazas usadas para el cálculo del IVC y las variables de vulnerabilidad que representan el contexto social (Tabla 16). El índice se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$IVCSo = \sqrt{\frac{G \times P \times R \times E \times V \times A \times GR \times L \times PE \times C \times D \times AP \times U \times K \times Po \times I \times CS}{17}} \text{ Ecuación (7)}$$



dónde, U es el uso del suelo, K el índice K – estructuras, Po es el porcentaje de área desarrollada; I es la infraestructura de servicios y CS representa la cobertura socioeconómica.

- Índice de Vulnerabilidad de la Conservación (IVCCo)

Este índice se definió como el producto entre las variables de amenazas usadas para el cálculo del IVC, y las variables de vulnerabilidad que representan el contexto de conservación (Tabla 16). El índice se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$IVCCo = \sqrt{\frac{G \times P \times R \times E \times V \times A \times GR \times L \times PE \times C \times D \times AP \times S}{13}} \text{ Ecuación (8)}$$

dónde, S es sitios prioritarios.

- Índice de Vulnerabilidad de Patrimonio (IVCPa)

Este índice se definió como el producto entre las variables de amenazas usadas para el cálculo del IVC, y las variables de vulnerabilidad que representan el contexto de patrimonio (Tabla 16). El índice se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$IVCPa = \sqrt{\frac{G \times P \times R \times E \times V \times A \times GR \times L \times PE \times C \times D \times AP \times Pa}{13}} \text{ Ecuación (9)}$$

dónde, Pa es el patrimonio artístico.

- Pérdida de ecosistemas estratégicos (IVCPe)

Este índice se definió como el producto entre las variables de amenazas usadas para el cálculo del IVC, y las variables de vulnerabilidad que representan el contexto de ecosistemas estratégicos (Tabla 16). El índice se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$IVCPe = \sqrt{\frac{G \times P \times R \times E \times V \times A \times GR \times L \times PE \times C \times D \times AP \times Z \times Co \times S}{15}} \text{ Ecuación (10)}$$

dónde, Z es la zonificación; Co es la cobertura ecológica.

- Salinización de acuíferos (IVCSa)

Este índice se definió como el producto entre las variables de amenazas usadas para el cálculo del IVC, y las variables de vulnerabilidad que representan el contexto de salinización de acuíferos (Tabla 16). El índice se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$IVCSa = \sqrt{\frac{G \times P \times R \times E \times V \times A \times GR \times L \times PE \times C \times D \times AP \times NE \times T \times EA \times IC}{16}} \text{ Ecuación (11)}$$

dónde, NE es el nivel estático; T es tipo de acuífero; EA es el espesor del acuífero; IC es el indicador de calidad de agua.

### 7.3.2. Resultados.

A continuación, se muestran los índices de vulnerabilidad calculados para la playa la Martina y las playas Urbanas de Turbo, para cada uno de los tramos:

**Tabla 17.** Índices de Vulnerabilidad Costera. Playa La Martina.

PLAYA LA MARTINA						
Tramo	IVC	IVCSo	IVCCo	IVCPa	IVCPe	IVCSa
1	61.1	487.0	52.5	45.5	97.8	127.0
2	70.6	229.6	60.6	52.5	112.9	113.6
3	57.6	118.5	49.5	42.9	184.3	92.7
4	35.3	114.8	30.3	26.3	56.4	56.8
5	40.7	187.4	35.0	30.3	65.2	65.6

**Tabla 18.** Índices de Vulnerabilidad Costera. Playas Urbanas de Turbo.

PLAYAS URBANAS DE TURBO						
Tramo	IVC	IVCSo	IVCCo	IVCPa	IVCPe	IVCSa
1	19.3	62.9	16.6	14.4	26.8	22.0
2	15.8	296.4	13.6	26.3	12.6	18.0
3	33.5	1257.3	28.8	24.9	26.8	38.1
4	39.4	1434.7	33.9	29.4	31.6	44.9
5	34.2	1242.5	29.4	25.4	27.3	38.9
6	34.2	1014.5	29.4	25.4	27.3	38.9
7	34.2	641.6	29.4	56.8	15.8	38.9

## 7.4. Subcapítulo 4. Riesgo costero y zonificación del área.

### 7.4.1. Desarrollo metodológico y resultados: riesgo parcial.

#### Riesgo parcial

Después de determinados los índices de vulnerabilidad, se procedió a calcular el riesgo costero asociado a los índices mencionados. Se calcularon cinco tipos de riesgo: social (CSVIsocial), conservación (CSVIconservacion), patrimonio (CSVIpatrimonio), pérdida de ecosistemas estratégicos (CSVlecosistemas) y salinización de acuíferos (CSVIsalinización).

De acuerdo con Rangel y Posada (2013) se efectuó la combinación del IVC (el cual representa la amenaza) con cada uno de los índices de vulnerabilidad calculados. Para esto se utilizó el método de promedios ponderados (PP). Este método hace una ponderación del IVC y los índices (IVCSo, IVCCo, IVCPa, IVCPe o el IVCSa) de la siguiente manera:

- Riesgo social (CSVIsocial)

Se usó la siguiente expresión:

$$PP = \left( \frac{(IVC * 12) + (IVCSO * 17)}{(12 + 17)} \right) \text{ Ecuación (12)}$$

dónde, 12 corresponde al número de variables empleadas para calcular el IVC y 17 corresponde al número de variables empleadas para el cálculo del IVCSO.

- Riesgo de conservación (CSVIconservación)

Se usó la expresión que se describe a continuación

$$PP = \left( \frac{(IVC * 12) + (IVCCO * 13)}{(12 + 13)} \right) \text{ Ecuación (13)}$$

dónde, 13 corresponde al número de variables empleadas para el cálculo del IVCCO.

- Riesgo de patrimonio (CSVlpatrimonio)

Se usó la expresión que se describe a continuación

$$PP = \left( \frac{(IVC * 12) + (IVCPA * 13)}{(12 + 13)} \right) \text{ Ecuación (14)}$$

dónde, 13 corresponde al número de variables empleadas para el cálculo del IVCPA.

- Riesgo de pérdida de ecosistemas estratégicos

Se usó la expresión que se describe a continuación

$$PP = \left( \frac{(IVC * 12) + (IVCPE * 15)}{(12 + 15)} \right) \text{ Ecuación (15)}$$

dónde, 15 corresponde al número de variables empleadas para el cálculo del IVCPE.

- Riesgo de salinización de acuíferos (CSVIsalinización)

Se usó la expresión que se describe a continuación:

$$PP = \left( \frac{(IVC * 12) + (IVCSA * 16)}{(12 + 16)} \right) \text{ Ecuación (16)}$$

dónde, 16 corresponde al número de variables empleadas para el cálculo del IVCSA.

En la Tabla 19 y Tabla 20 se presentan el resultado de los distintos riesgos ponderados calculados en cada uno de los tramos, de ambas playas de estudio.

**Tabla 19.** Riesgo de Vulnerabilidad Costera. Playas Municipales.

PLAYA LA MARTINA					
Tramo	CSVIS	CSVIC	CSVIP	CSVIPe	CSVISa
1	310.7	56.6	53.0	81.5	98.7
2	163.8	65.4	61.2	94.1	95.1
3	93.3	53.4	49.9	128.0	77.7
4	81.9	32.7	30.6	47.0	47.6
5	126.7	37.8	35.3	54.3	54.9

**Tabla 20.** Riesgo de Vulnerabilidad Costera. Playas Municipales.

PLAYAS MUNICIPALES					
Tramo	CSVIS	CSVIC	CSVIP	CSVIPé	CSVISa
1	44.9	17.9	16.8	23.5	20.8
2	180.3	14.6	21.2	14.0	17.0
3	750.9	31.0	29.0	29.7	36.0
4	857.4	36.6	34.2	35.1	42.5
5	742.5	31.7	29.6	30.4	36.8
6	608.8	31.7	29.6	30.4	36.8
7	390.3	31.7	46.0	23.9	36.8

#### 7.4.2. Desarrollo metodológico y resultados: riesgo total.

##### Riesgo total

Una vez obtenido el riesgo asociado a cada uno de los índices de vulnerabilidad costera, se procedió a determinar el riesgo total en cada uno de los tramos de ambas playas a partir del cálculo del promedio ponderado de los cinco riesgos previamente mencionados. De esta forma se obtiene un valor de riesgo real, el cual está asociado directamente al número de variables empleadas para el cálculo de cada una de las vulnerabilidades. El riesgo total se calcula de la siguiente manera:

$$Riesgo\ total = \frac{\sum_1^n Riesgo\ ponderado \times V}{\sum_1^n V} \quad Ecuación\ (17)$$

donde, n es la cantidad de riesgos a evaluar, V es la suma del número de variables empleadas para el cálculo del IVC y las pertenecientes al riesgo a evaluar.

En la Tabla 21 se presenta el resultado del riesgo total calculado en cada uno de los tramos, en playas Urbanas y la Martina.

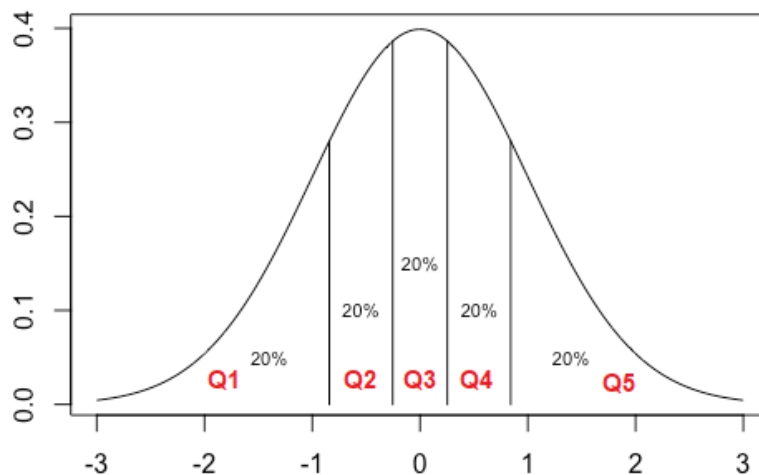
**Tabla 21.** Valores de riesgo total para ambas playas de estudio.

Tramos	PLAYA URBANAS DE TURBO	PLAYA LA MARTINA
1	25.3	124.7
2	52.1	97.9
3	187.2	81.5
4	214.7	48.9
5	185.9	63.5
6	157.0	
7	111.4	

### 7.4.3. Desarrollo metodológico y resultados: clasificación del riesgo.

#### Clasificación del riesgo

Una vez obtenidos los valores del riesgo en las dos playas de estudio, se procedió a clasificar los valores en cinco clases de riesgo. Para esto se usó el método de los quintiles, el cual divide el conjunto de datos en cinco partes iguales (20 %, 40 %, 60 % y 80 % de los datos) (ver Figura 15).



**Figura 15.** Representación gráfica del método de quintiles. **Fuente:** tomado de Emory Oxford College, 2021.

Los quintiles están definidos de la siguiente manera: el primer quintil es el valor de la variable que deja a la izquierda el 20% de la distribución, el segundo quintil es el valor de la variable que deja a la izquierda el 40% de la distribución, el tercer quintil es el valor de la variable que deja a la izquierda el 60% de la distribución y el cuarto quintil es el valor de la variable que deja a la izquierda el 80% de la distribución. Por lo tanto, para calcularlos se usa. Para su cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Quintil}_i = L_i + \frac{\frac{n}{5} - f_{a(i-1)}}{f_i} * A \quad \text{Ecuación (18)}$$

donde  $L_i$  es el límite inferior,  $n$  el tamaño de la muestra,  $f_a$  frecuencia acumulada de la clase que antecede al quintil anterior,  $f_i$  frecuencia simple y  $A$  es la amplitud. Empleando este método se tiene los siguientes resultados:

**Tabla 22.** Resultados del cálculo de los quintiles.

Quintiles	Límite inferior	$n/5$	$f_s$	$f_a$	$A$	Valor
Q1	25.25	2.4	3	3	37.89	17.68
Q2	63.14	4.8	3	3	37.89	85.87
Q3	101.02	7.2	2	6	37.89	133.86
Q4	176.80	9.6	3	9	37.89	204.58
Q5	176.80	12	3	9	37.89	214.68

Los valores inferiores al primer quintil se clasificaron como riesgo muy bajo; entre el primer y segundo quintil riesgo bajo; entre el segundo y tercer quintil; riesgo medio; entre el tercer y cuarto quintil tienen riesgo alto; valores superiores al cuarto quintil recibieron una clasificación de riesgo muy alto. A continuación, se muestran los rangos de valores para la clasificación del riesgo, obtenida a partir de la aplicación del método de los quintiles:

**Tabla 23.** Valores de clasificación del riesgo costero.

Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
<17.68	17.68 - 85.87	85.87 - 133.86	133.86 - 204.58	>204.58

De acuerdo a los valores de riesgo previamente calculados se clasificó el riesgo en cada playa de estudio, tal como se muestra en la Tabla 24.

**Tabla 24.** Riesgo costero en Playa La Martina y Playas Municipales.

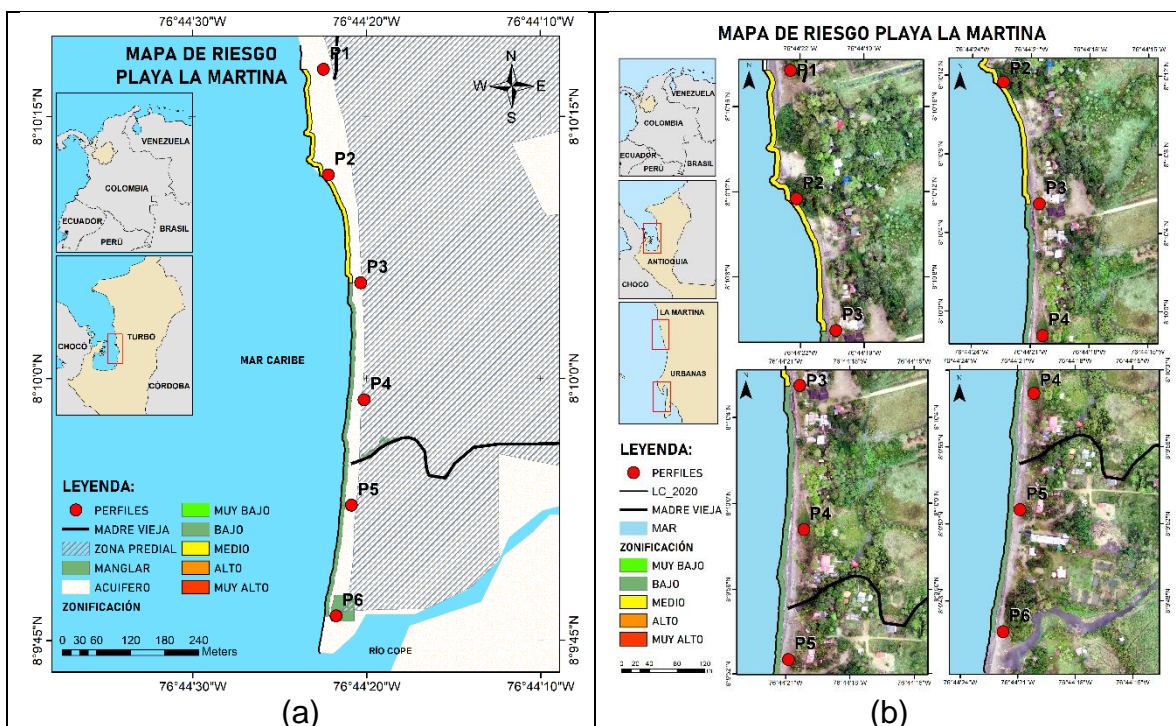
Playa La Martina		
Tramo	Valor del riesgo	Clasificación
1	124.74	Medio
2	97.88	Medio
3	81.50	Bajo
4	48.94	Bajo
5	63.48	Bajo
Playas Municipales		
Tramo	Valor del riesgo	Clasificación
1	25.25	Bajo
2	52.07	Bajo
3	187.23	Alto
4	214.68	Muy Alto
5	185.92	Alto
6	156.99	Alto
7	111.44	Medio

En los tramos ubicados en playa La Martina se presentaron clasificaciones de riesgo entre bajo y medio. El área correspondiente a playas municipales se caracterizó por presentar clasificaciones de riesgo desde bajas hasta muy altas, siendo el tramo cuatro el que presenta un mayor riesgo.

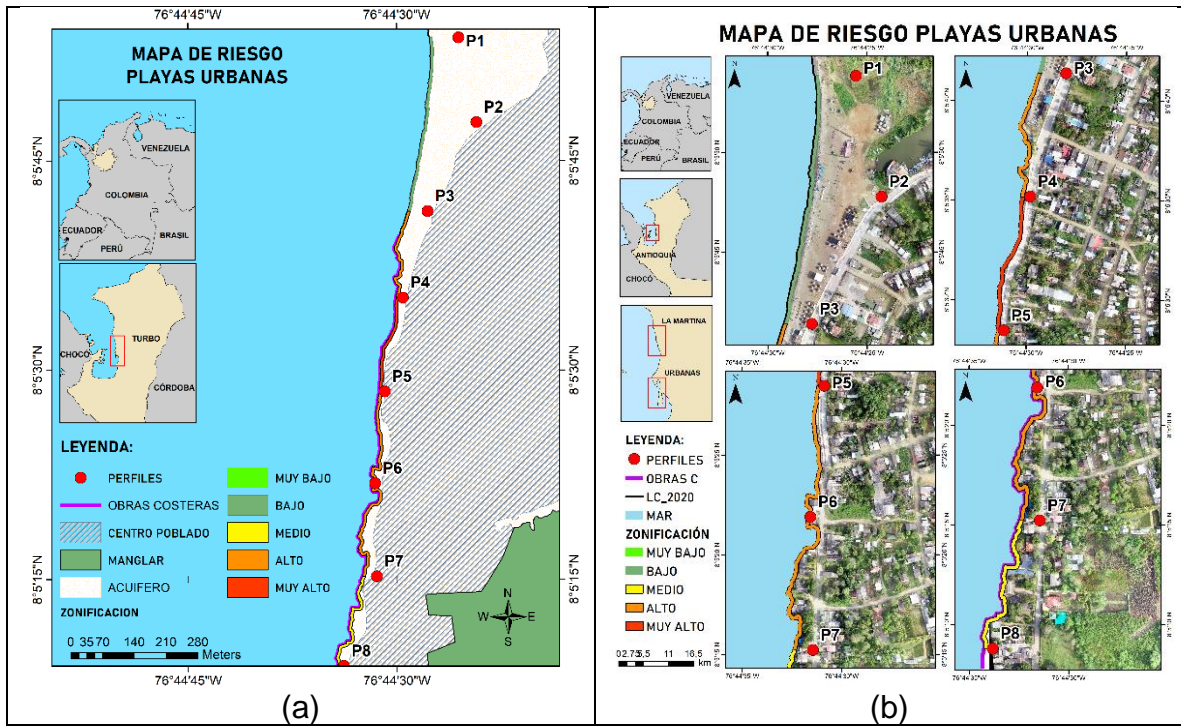
Con base en lo anterior, se definió la zona de colapso inminente (ZCI) como aquella más propensa a sufrir alteraciones debido a su vulnerabilidad ante la manifestación de las amenazas. La ZCI se determinó sobre la línea de costa actual, con un ancho equivalente a cinco veces la tasa media anual de retroceso costero (Crowell *et al.*, 1999; Rangel y Posada, 2013). En las playas Urbanas de Turbo las tasas de retrocesos alcanzaron los 1.2 m/año por lo cual la ZCI se localizó a 6.1 m de la línea de costa. Mientras que en La Martina la tasa de retroceso máxima ha sido de 1.5 m/año lo que determina una zona de influencia de 7.4 m. Es importante aclarar que de acuerdo a los cálculos realizados algunos de los tramos en playa La Martina como en playa Urbana presentan tendencia a la acreción. Por lo tanto, considerando que el criterio para la definición de la ZCI hace referencia a los retrocesos, se tomó el mayor valor de erosión registrado en cada una de las playas.

Con los resultados obtenidos se realizó una zonificación del área de estudio en función de la susceptibilidad a sufrir cambios asociados a las amenazas, indicando los riesgos para cada uno de los tramos y las amenazas que tienen mayor influencia en el riesgo costero.

En las Figura 16 y Figura 17, se muestra algunas de las principales características espaciales y la zonificación en playas Urbanas de Turbo y La Martina.



**Figura 16.** Playa la Martina (a) Características espaciales. (b) Mapa de riesgo ante las amenazas para la línea de costa.



**Figura 17.** Playa Urbana de Turbo. (a) Características espaciales. (b) Mapa de riesgo ante las amenazas para la línea de costa.



## 8. DISCUSIONES

Para la selección de las amenazas de este estudio se revisaron diferentes publicaciones internacionales y nacionales (INGEOMINAS, 2010, IPCC, 2014; 2019; INVEMAR, 2017), y también las amenazas documentadas validadas en ambas playas. Se identificaron 13 amenazas, pero solo se seleccionaron 4, teniendo en cuenta factores como la disponibilidad de equipos para su medición, el número de estudios relacionados y la disponibilidad de recursos económicos y tiempo para su monitoreo. Las amenazas seleccionadas fueron: erosión, inundación, salinización de acuíferos y pérdida de ecosistemas estratégicos. Se anota que la subsidencia podría también ser determinante en la región de Urabá.

Coates et al. (2004), sugieren un levantamiento rápido del Istmo Centroamericano respecto a la cuenca del Atrato, debido al encuentro de las placas de Suramérica y del Caribe. En los deltas de algunos ríos del Golfo de Urabá se ha evidenciado subsidencia costera con un valor promedio de 4 mm/año debido a la sedimentación y la tectónica compresiva (Robertson y Martínez, 1999; Correa y Vernet, 2004; Restrepo y López, 2008; Garzón 2012). Este fenómeno equivale a un ANM relativo adicional y puede incidir en la morfodinámica de la zona, promoviendo la erosión y el retroceso de playas y acantilados

La metodología propuesta por Rangel y Posada (2013) y Fernández *et al.* (2017), basada en el cálculo del índice de vulnerabilidad costera (IVC), considera las propiedades de la zona de estudio (Gornitz *et al.*, 1994). Estas metodologías, se modificaron de acuerdo a las siguientes consideraciones:

1. Rangel y Posada (2013), evalúan el riesgo ante dos amenazas asociadas al ANM: erosión e inundación. De acuerdo a la identificación de amenazas de la zona se incluyeron, además, la salinización de acuíferos y la pérdida de ecosistemas estratégicos. De acuerdo con Costanza *et al.* (1997), los ecosistemas estratégicos costeros garantizan la oferta de bienes y servicios. De igual forma Villegas (2013), menciona como el acuífero semiconfinado del golfo de Urabá se encuentra delimitado en ambas playas de estudio.
2. Al considerar dos nuevas amenazas se incluyeron también sus respectivas variables. Para la salinización de acuíferos se aplicó el método de GALDIT (Madera y Valderrama, 2014; Vargas, 2010). Por lo tanto, se incluyeron en la metodología de Rangel y Posada (2013) y Fernández *et al.* (2017) las variables conductividad hidráulica, distancia de la línea de costa y perfil estratigráfico. En cuanto a la pérdida de ecosistemas estratégicos se identificaron y agregaron las variables evolución de la línea de costa, geomorfología, ancho de playa y pendiente de playa frontal (Martí, 2011; Ancorim, 2012; Urrego *et al.*, 2013; Blanco 2016). Es importante resaltar que el criterio de clasificación se modificó considerando que el elemento expuesto es el ecosistema.
3. En cuanto a las variables que representan la amenaza por erosión e inundación se realizaron ajustes relacionados a su interpretación, clasificación y descripción. La pendiente de playa frontal se clasificó en el intervalo propuesto por Fernández *et al.* (2017), entre el 0% y 8 %. Es necesario tener en cuenta que, aunque las pendientes medidas están en este intervalo, hubo necesidad de realizar mediciones por secciones en algunos tramos. Los valores de la pendiente pueden ser determinantes en el cálculo de la amenaza, aunque pueden enmascarar el verdadero alcance del análisis. Autores como Brutsché *et al.* (2016) han propuesto mediciones de la pendiente desde la playa seca hasta la profundidad de cierre para un cálculo más adecuado.

4. En cuanto a las variables que representan la vulnerabilidad por salinización de acuífero se usó como referencia el método de GALDIT (Madera y Valderrama, 2014; Vargas, 2010). Por lo tanto, se incorporó a la metodología propuesta por Rangel y Posada (2013) y Fernández et al. (2017) las variables nivel estático, tipo de acuífero, espesor del acuífero e indicador de calidad de agua. De acuerdo con Paredes (2010) estas variables representan de manera adecuada las características del acuífero de Urabá. Las amenazas y variables agregadas no tenían representatividad en las metodologías planteadas por Rangel y Fernández, por lo tanto, el ejercicio se basó en incluir nuevas variables, y validar que las ya existentes no estuvieran de manera subjetiva representando alguna característica de las nuevas amenazas.
5. Con relación a la vulnerabilidad ante la amenaza pérdida de ecosistemas estratégicos se seleccionaron tres variables; sitios prioritarios, zonificación y cobertura ecológica. Se consideró que la variable sitios prioritarios propuesta por Rangel y Posada (2013) caracterizaba de manera adecuada el elemento expuesto al ecosistema. La cobertura ecológica se asoció con la variable cobertura de Rangel y Posada (2013). Sin embargo, teniendo en cuenta que los ecosistemas de playas y manglar tienen una mayor tendencia a sufrir modificaciones ante esta amenaza se modificó el nombre, el criterio de clasificación y el descriptor de las clasificaciones de acuerdo con la metodología *Corine Land Cover*. Finalmente, la zonificación se tomó teniendo en cuenta la información de estudio respecto a las áreas del SINAP.
6. Para las amenazas por erosión e inundación se tomaron como referencia las variables usadas por Rangel y Posada (2013) y se priorizó a la población e infraestructura como elementos para medir la pérdida a la exposición. Sin embargo, no se tuvo en cuenta la variable sitios prioritarios, por considerar que esta variable representa al ecosistema como elemento expuesto. A las variables se le realizaron ajustes relacionados con la interpretación, clasificación y descripción, disponibilidad de información y la capacidad técnica para medir cada variable.

Uno de los productos del presente trabajo de investigación corresponde a: 1. Una metodología ajustada, ya que no solo se trató de regionalizar datos, sino además de evaluar variables, integrar metodologías, recategorizarlas, y realizar ajuste a los descriptores. 2) Una nueva metodología que incluye dos nuevas amenazas y a su vez las variables que las representan.

En total para las amenazas se seleccionaron 12 variables. De estas, algunas representan los moduladores de su desarrollo y otras representan sus condiciones intrínsecas (Martí, 2011). Es evidente que las variables seleccionadas representan de manera adecuada las amenazas de acuerdo con lo expuesto por Rangel y Posada (2013). Sin embargo, variables como espectro del oleaje, geotecnia, nivel de marea, corrientes litorales, podrían ser tenidas en cuenta en futuros análisis.

El comportamiento de las variables que representan la amenaza por erosión señala que, en ambas playas las clasificaciones van desde muy bajas hasta muy altas. En este caso la geomorfología y litología fueron los factores determinantes que modularon las amenazas en el área de estudio. Esto en parte se debe a que en la zona de estudio predominan las playas arenosas y el sedimento para la alimentación de las playas y los procesos de transporte dependen de los ríos cercanos como el Turbo. La deficiencia de sedimento en la zona puede generar procesos de erosión (Merlotto *et al.*, 2017).

En este sentido, La Martina se ve afectada ya que la descarga de sedimentos provenientes del río Cope no es suficiente para mantener la estabilidad de la línea de costa (Robledo,

2019). Y en época seca el oleaje energético transporta parte del sedimento hacia el sur y otra parte es retenido en barras sumergidas paralelas (Ramírez, 2020). Las playas Urbanas se ven afectadas en época seca por la disminución en la descarga del río Turbo y la acción del oleaje energético del noreste que transporta sedimentos desde Punta Yarumal (Alcántara et al., 2019). En época húmeda el oleaje del sureste menos energético remueve los sedimentos hacia mar adentro causando el retroceso de la línea de costa. Es importante resaltar que, en la zona sur de las playas Urbanas, la variable geomorfología presentan una clasificación media, debido a la presencia de numerosas obras de protección costera rígidas, las cuales inciden en el comportamiento de los procesos de erosión de la línea de costa (Hinestroza et al., 2021).

En relación a la amenaza por inundación, la variable evolución de la línea de costa puede considerarse un agente receptor, mientras que la geomorfología y la pendiente de playa frontal agentes moduladores. En playa La Martina predominaron las clasificaciones altas, lo que evidencia la presencia de procesos erosivos, que permiten que el agua ingrese al continente con mayor facilidad (Merlotto et al., 2017). Sin embargo, los valores de la pendiente de playa frontal entre 3,9 % y 7,4 %, de acuerdo con Martí (2011), representan un modulador de esta amenaza.

Por otro lado, la amenaza por salinización de acuíferos tuvo un comportamiento influenciado principalmente por la distancia del acuífero a la línea de costa. De acuerdo con Paredes et al., (2010), por su cercanía a la zona costera el acuífero semiconfinado del golfo de Urabá se encuentra más expuesto a sufrir procesos de intrusión salina, producto de la interacción de procesos climatológicos e hidrodinámicos. Finalmente, en la amenaza por pérdida de ecosistema estratégicos, la geomorfología, evolución de la línea de costa y ancho de playa presentan los mayores valores de clasificación. En playas Urbanas en los últimos 4 tramos tienen una clasificación alta debido a que el ancho de playa es cero. Sin embargo, en playa la Martina, el comportamiento varía entre alto y moderado debido a valores mayores de ancho de playa. Es de notar que las variaciones de ancho de playa son estacionales y que estas variaciones podrían influenciar el cálculo de riesgo por épocas climáticas.

Con respecto a la vulnerabilidad, se consideraron 13 variables ante las amenazas mencionadas. De nuevo y siguiendo la metodología de Rangel y Posada (2013) la vulnerabilidad está bien representada. De acuerdo con Silva et al. (2020) es posible considerar en futuros trabajos la incorporación de otros ecosistemas estratégicos como corales, pastos marinos y dunas.

En cuanto al comportamiento de las variables que representan la vulnerabilidad ante las amenazas para la erosión e inundación. Se consideró que infraestructura y población eran los elementos que tenían una mayor predisposición a ser afectados ante su ocurrencia. En playas Urbanas, donde el nivel de antropización es alto, las variables que definen en gran medida la vulnerabilidad son: uso del suelo, infraestructura de servicios, índice K y cobertura socioeconómica, predominando la alta concentración de obras de protección costera. Esto indica que el comportamiento litoral puede ser modulado principalmente por factores antrópicos y en menor medida por procesos propios de la dinámica costera (Hinestroza et al., 2021). En La Martina, la concentración de población e infraestructura es menor, y las variables se clasificaron en su mayoría entre bajas y muy bajas. Excepto la cobertura socioeconómica puesto que hay presencia de instalaciones recreativas, viviendas y establecimientos comerciales.

Para la vulnerabilidad ante amenaza por salinización de acuíferos, donde el elemento expuesto es el acuífero del golfo de Urabá, la variable que presentó mayor influencia a la intrusión salina fue el espesor. En el caso de la Martina esta variable se clasificó como alta.

En relación a la vulnerabilidad ante la pérdida de ecosistemas estratégicos los elementos expuestos corresponden a ecosistemas de playas y manglares. En La Martina, los valores están asociados a la presencia de un poblado menos desarrollado respecto a las playas Urbanas. Adicionalmente, por presentar menor intervención antrópica, la variable zonificación indicó que la susceptibilidad de estos ecosistemas a sufrir cambios a lo largo de los tramos es alta. Conforme a la cartografía de la UAC Darién estos tramos se encuentran localizados en áreas de recuperación.

Las variables de amenaza y vulnerabilidad presentaron diferentes escalas espaciales y temporales. Con el fin de calcular los índices de vulnerabilidad fue necesario asignarles valores entre 1 y 5 a cada una de ellas. De acuerdo con Rangel y Posada, (2012), las variables fueron ponderadas para eliminar la subestimación de las más relevantes y la sobrestimación de las menos determinantes. A partir del índice de vulnerabilidad costera (IVC), se calcularon cinco índices de vulnerabilidad: social (IVSo), conservación (IVCCo), patrimonio (IVCPa), pérdida de ecosistemas estratégicos (IVCPe) y salinización de acuíferos (IVCSa).

Con los índices de vulnerabilidad y los análisis de amenazas, fue calculado el riesgo intrínseco. Este riesgo representa la susceptibilidad del litoral a sufrir perturbaciones en sus características intrínsecas debido a agentes externos como el cambio climático. El riesgo calculado representa una medida del grado de probabilidad que tiene cierta zona a presentar alteraciones. Esto reviste gran importancia para la planeación de inversión de recursos, priorizando aquellos aspectos que representan mayor vulnerabilidad al cambio y para la definición de planes de mitigación del riesgo (IDEAM, 2020).

Es de notar que los índices de riesgo calculados están relacionados con las condiciones del litoral Turbeño. Por lo cual son relativos y solo deben ser usados/analizados en esta zona (Rangel y Posada, 2013). Se calcularon cinco tipos de riesgo social, conservación, patrimonio, pérdida de ecosistemas estratégicos y salinización de acuíferos. El riesgo medido desde el punto de vista social (CIVS), mostró que la mayor exposición se encuentra en playas Urbanas. Esto está relacionado con el incremento en el desarrollo urbano y turístico de esta playa en los últimos años. A partir del tramo 3, se presentan los valores más altos de riesgo lo cual coincide valores altos en uso del suelo, infraestructura de servicios, índice K, cobertura socioeconómica, geomorfología y litología. Considerando el alto grado de intervenciones antrópicas en estos tramos, ante la ocurrencia de alguna de las cuatro amenazas analizadas, los resultados sugieren que la infraestructura y la población experimentarían pérdidas o modificaciones. En playa La Martina por su parte, las áreas en mayor peligro corresponden a los tramos 1, 2 y 5, en los cuales ha habido un incremento en el desarrollo turístico en los últimos años.

Desde el punto de vista de la conservación (CIVCCo), el riesgo representa la probabilidad de pérdidas de sitios con estas características. Los resultados sugieren que los valores de riesgo no presentan un cambio significativo en las dos playas de estudio debido a que en ningún tramo se encuentran sitios prioritarios de conservación.

Por otro lado, el riesgo medido desde el punto de vista del patrimonio (CIVCPa), mostró que el tramo siete del distrito de Turbo es el que presenta mayor valor. En ese lugar hay

presencia de bienes del patrimonio y culturales de carácter distrital. Es importante resaltar que en La Martina se presentaron valores más altos que en la playa Urbana, esto puede deberse, al bajo porcentaje de protección de la costa. Es necesario tener en cuenta esto como una herramienta de apoyo para la priorización de inversión en la zona.

El riesgo medido desde el punto de vista de la salinización de acuíferos (CIVCSa), mostró que las áreas en mayor peligro se encuentran ubicadas en playa la Martina, debido a que el espesor del acuífero es menor respecto a las playas Urbanas. En estas últimas, en general los tramos presentaron valores por encima de 36.0.

Con respecto a la pérdida de ecosistemas estratégicos (CIVCPe), el riesgo representa la probabilidad de pérdidas en las coberturas. A lo largo del área de estudio se logró determinar que playa la Martina presenta los mayores valores de riesgo. Esto se debe principalmente a que en la predominan arbustos, matorrales, pastos y manglares.

La sumatoria de los riesgos antes mencionados permite calcular el riesgo total. Los resultados sugieren que La Martina presenta el 60% del área clasificado como riesgo bajo y el 40% como riesgo medio. Sin embargo, el riesgo en el tramo 1 y 2 es mayor debido principalmente a la influencia del índice de vulnerabilidad social, debido a la presencia de desarrollo urbano y turístico.

En playas Urbanas los tramos están clasificados entre riesgo bajo y muy alto, con un 28.5% del área catalogada con riesgo bajo, 14.3 % con riesgo medio, 42.9 % riesgo alto y el 14.3 % con riesgo muy alto. Los resultados sugieren una alta variabilidad espacial del riesgo, asociado al desarrollo de infraestructura a lo largo de los tramos. En el tramo 4 se presenta el mayor valor de riesgo, debido a la presencia de amenazas naturales y antrópicas y una alta vulnerabilidad. Por otro lado, analizando el riesgo total con la presencia del acuífero en las dos playas de estudio, se puede observar que el riesgo por intrusión salina tiene un comportamiento inverso al riesgo total, es decir, que a mayor sea el índice el riesgo será menor.

Al aplicar la metodología de Rangel y Posada (2013) teniendo en cuenta las características intrínsecas del área de estudio, además sin incluir las amenazas por salinización de acuíferos y pérdida de ecosistemas estratégicos, los valores del riesgo en algunos tramos variaron. Para Playas Municipales, a excepción del tramo 1 la clasificación de riesgo cambió. En los tramos 2, 3 y 7, el valor disminuyó pasando de alto a bajo, bajo a muy bajo y de alto a medio respectivamente. En el tramo 4 se pasó de alto a muy alto y en los tramos 5 y 6 el riesgo pasaba de ser medio a ser alto. Mientras que, en La Martina, los tramos 1 y 2 el valor del riesgo disminuyó pasando de medio a bajo. En este sentido, se evidenció que la variable pendiente de playa frontal, índice K – estructura y porcentaje de área desarrollada, son las principales moduladoras de los impactos generados por las amenazas de erosión e inundación. Al igual que Rangel y Posada (2013), se evidenció que el riesgo por erosión e inundación se encuentra principalmente relacionado con los patrones de asentamiento antropogénicos. Se pudo observar que, en Playas Municipales, donde hay un mayor desarrollo urbanístico, la clasificación del riesgo alcanzó valores hasta muy altos. Mientras que en Playa La Martina el riesgo se mantuvo en bajo.

Las características de las dos playas de estudio muestran ecosistemas estratégicos y también el desarrollo de infraestructura en la zona; ambas playas se pueden catalogar como no homogéneas. Las Playa Municipales de Turbo limita con los barrios Pescador 1 y 2, Santa Fe y las Malvina, los cuales son zonas con desarrollo urbanístico. Igualmente, a lo

largo de la zona de estudio hay infraestructura hotelera y turística, por lo que, de acuerdo con el resultado, el riesgo se clasifica entre medio y muy alto en estos tramos, y bajo (tramo 1 y 2), lo que concuerda con el desarrollo de infraestructuras en cada uno de los tramos. Por el contrario, Playa La Martina se ubica en una zona rural con poco desarrollo urbanístico, aunque cuenta con infraestructura hotelera y turismo, en la mayoría de los tramos posee ecosistemas de manglar, mosaico de pastos, pastos arbolados, entre otros. El riesgo en los tramos está clasificado entre bajo y medio. Este estudio evidencia que el riesgo total es consecuente con la dinámica de ambas playas, y se pueden asociar sus características con su comportamiento, es decir, reflejan la condición de cada playa. Por lo que, la metodología aplicada en las dos playas no homogéneas es adecuada para representar sus condiciones y permite validar la metodología independientemente de sus características, ya que representan la condición de riesgo de las zonas estudiadas.

Los resultados obtenidos permitieron identificar zonas de colapso inminente –ZCI- (Crowell et al., 1999), definidas como las zonas a considerar para establecer cierto grado de confiabilidad frente al impacto que puede generarse por una amenaza. Para playas Urbanas el límite de la ZCI se ubicó en una franja de 6.1 medida a partir de la línea de costa, mientras que en La Martina se ubicó a los 7.4 m. En este sentido, en las salidas de campo se identificaron construcciones e infraestructuras situadas dentro de la ZCI especialmente en playas Urbanas, lo que permitió establecer una zona mínima de impacto, la cual puede generarse por un evento amenazante.

En el área de estudio se ha evidenciado que durante eventos atípicos los cuales no fueron abarcados en los monitoreos realizados, se han alcanzado retrocesos de línea de costa mayores a los contemplados en la ZCI. En este sentido, se puede considerar que el valor calculado de la ZCI deestima el alcance mínimo del riesgo ante la manifestación de las amenazas observado en campo. De acuerdo a esto, es importante que las campañas de monitoreo se realicen de manera sistemática y que además abarquen la toma de datos en eventos extremos. Así mismo, se puede considerar ajustar para próximos ejercicios la metodología de Crowell et al. (1999) para el cálculo de la ZCI. Conforme a las condiciones intrínsecas del área de estudio, se sugiere utilizar el valor del movimiento neto de la línea de costa (NSM), el cual tiene en cuenta la distancia de la línea de costa más antigua respecto a la línea de costa más reciente, ya que, con esta consideración, el valor de la ZCI se ajusta a la referencia observada en campo.

Al ser la zona de colapso inminente un elemento de riesgo en los determinantes ambientales, de acuerdo con el Decreto 1076 de 2015, en materia territorial el artículo 10 de la Ley 388 de 1997, señala que en el componente de gestión del riesgo los Municipios deberán tener en cuenta en sus propios ámbitos de competencia lo definido por los planes, como norma de superior jerarquía, al momento de formular, revisar y/o adoptar el respectivo Plan de Ordenamiento Territorial. Este resultado sugiere la necesidad e importancia de incorporar estos resultados en el plan de ordenamiento ambiental del distrito de Turbo, para la toma de acciones que ayuden a eliminar la vulnerabilidad del elemento expuesto, es decir, la infraestructura y población.

## 9. CONCLUSIONES

En el desarrollo de la investigación, se establecieron diferentes variables que permitieran una adecuada representación de las amenazas y la vulnerabilidad. En relación a las variables que requerían ser medidas en campo, se realizaron diferentes campañas de monitoreo en las cuales se logró su medición, para ser incorporada en la metodología. Sin embargo, debido a las restricciones dadas en marco emergencia sanitaria generada por el Virus COVID-19, no fue posible ejecutar el total de las campañas proyectadas, dificultando el acceso a la información en los tiempos climáticos idóneos. En este sentido, si bien las variables medidas son representativas para la aplicación de la metodología en la zona de estudio, las variables pueden tener comportamientos variables conforme a la época climática y por ende incidir en el resultado de la aplicación de la metodología, aunque es válido mencionar que no se evidenciaron tendencias que hicieran dudar de los resultados obtenidos en esta investigación.

Un producto de esta investigación es la generación de una nueva metodología a partir de la adaptación de investigaciones relacionadas con la determinación de la vulnerabilidad y el riesgo costero ante dos amenazas: erosión e inundación. Las condiciones típicas del área de estudio, la cual se encuentra sobre el acuífero semiconfinado del Urabá y presenta ecosistemas estratégicos a lo largo de la línea de costa, y la importancia de estas para el sostenimiento económico y ecosistémico de la región, pueden generar una situación de amenaza ante la manifestación o alteración de las condiciones normales de los mismo, por lo cual se consideró relevante incluir estas dos amenazas en la metodología. Es importante mencionar, que el acuífero semiconfinado del golfo de Urabá es un recurso altamente importante para el desarrollo agroindustrial en la región. Debido al impacto que puede tener en la economía y en la oferta de agua subterránea, es de vital importancia evaluar su amenaza y vulnerabilidad asociada al riesgo costero.

Es importante tener en cuenta que la metodología se reclasificó y regionalizó teniendo en cuenta las condiciones intrínsecas del golfo de Urabá. De acuerdo a esto, para su aplicación en condiciones distintas, se deberá realizar el proceso de identificación, validación, valoración y selección de amenazas, además regionalizar y reclasificar las variables tanto de amenaza como de vulnerabilidad, conforme a las características de área a estudiar.

En términos de cálculos, se evidenció que el riesgo puede derivarse de la presencia de una amenaza, pero se encuentra determinado por condiciones altas de vulnerabilidad. En los tramos donde los índices de vulnerabilidad eran bajos, el riesgo total tenía una magnitud menor y cuando el elemento expuesto presenta mayor predisposición a ser afectado o sufrir pérdida ante la ocurrencia de alguna amenaza, la magnitud del riesgo aumentaba. En este sentido, la metodología ajustada es sensible ante la introducción de variables que representan el elemento expuesto ante distintas amenazas y guarda relación con la literatura, en la que se indica que el riesgo se encuentra modulado principalmente por la vulnerabilidad.

Dada la escala de detalle y el conocimiento generado, estos resultados sugieren la necesidad de incluir como determinante ambiental, el riesgo costero calculado, debido al impacto que tiene para la priorización de la inversión económica en la línea costera y la aplicación, a nivel del Municipio, de planes de ordenamiento, programas y proyectos en las líneas ambientales relacionadas con el manejo integrado de zonas costeras.

Los resultados del riesgo integral en Playas Municipales y La Martina sugieren que las características propias de cada playa reflejan la dinámica y comportamiento de estas, lo que significa que la metodología aplicada es válida y capaz de representar las condiciones intrínsecas de cada playa. Playa la Martina, la cual se caracteriza por presentar porcentajes de área desarrollada bajos, por ubicarse en la zona rural, presentó valores de riesgo entre bajo y medio. Mientras que, en Playas Municipales donde hay un mayor porcentaje de elementos expuestos, predominaron los valores de riesgo altos. Conforme a los resultados obtenidos se puede indicar qué; en Playa La Martina el 60 % de la línea de costa estudiada presenta riesgo medio ante la manifestación de las amenazas estudiadas y el 40 % presenta riesgo bajo. En Playas Municipales el 14 % de la línea de costa estudiada presenta riesgo muy alto, el 57 % riesgo alto, el 29 % riesgo medio y un 14 % riesgo bajo.

Por otro lado, la zona de Urabá es un área tectónicamente activa, ubicada cerca de la conjunción triple entre las placas tectónicas de Nazca, Caribe y Suramérica; la franja costera entre los municipios de Arboletes y Turbo se clasifica como de riesgo sísmico intermedio. En este sentido, el retroceso de la línea de costa se da debido a un déficit generalizado de materiales gruesos en su franja litoral, resultante de una combinación de factores naturales y antrópicos que actúan a escalas de tiempo diferentes; en su contexto geológico de largo plazo (miles de años), con ascensos relativos del nivel del mar (ARNM) asociados a fenómenos tectónicos (incluyendo los efectos del diapirismo de lodo) y a la hidroisostacia. La posibilidad de que el ARNM esté involucrado en el problema se valida al considerar la información sobre los ascensos del nivel del mar y las características tectónicas de la zona, por lo que, es importante considerar a futuro realizar estudios sobre cambios del nivel del mar basados en métodos de teledetección y geofísica respectivamente.



## 10. REFERENCIAS

- Agámez, J.F., y Arrieta, R.M. (2005). Interrelaciones entre variables climáticas y desarrollo erosivo en las playas del área urbana municipio de Turbo, Antioquia. Trabajo de Grado, Ecología en Zonas Costeras. Universidad de Antioquia. Colombia. 79p.
- Aldana, G., Ramírez, A., Godínez, L., Cruz, S., y Juaréz, A. (2009). Estudio de la erosión costera en Cancún y la Riviera Maya, México. *Avances en Recursos Hidráulicos* (20):41-56.
- Andrade, C. (1993). Análisis de la velocidad del viento en el mar Caribe. *Boletín Científico CIOH* (13):33-43.
- Anfuso, G. y Martínez Del Pozo, J.A. (2008), Assessment of coastal vulnerability through the use of gis tools in south Sicily (Italy). *Environmental Management*, 43(3): 533-545
- Aristizábal, O., Betancur, J., y Vásquez, C. (1990). Erosión y sedimentación de la línea de costa entre Turbo y Necoclí, Golfo de Urabá. Trabajo de Grado, Geología. Medellín: Universidad EAFIT. 356p.
- Ballesteros, C., Jiménez, J. A., y Viavattene, C. (2017). Evaluación del riesgo de inundación a múltiples componentes en la costa del Maresme. *Ribagua*, 4(2), 110-129.
- Battjes, J. A. (2006). Developments in coastal engineering research. *Coastal Engineering*, 53, 121-132.
- Bardají, T., Zazo, C., Cabero, A., Dabrio, C. J., Goy, J. L., Lario, J., y Silva, P. G. (2009). Impacto del cambio climático en el litoral. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17(2):141-154.
- Bernal, G., Montoya, L., Garizabal, C., y Toro, M. (2005). La complejidad de la dimensión física en la problemática costera del golfo de Urabá, Colombia. *Gestión y Ambiente*, 8:123-135.
- Blanco, J. F. (2016). Cambios globales en los manglares del golfo de Urabá (Colombia): entre la cambiante línea costera y la frontera agropecuaria en expansión. *Actualidades Biológicas*, 38(104):53-70.
- Blanco J.F., Estrada E.A., Ortiz L.F., Urrego LE. (2012). Ecosystemwide impacts of deforestation in mangroves: The Urabá Gulf (Colombian Caribbean) case study. *ISRN Ecology*. 2012:1-14.
- Blanco-Liberos, J. F.; & Estrada-Urrea, E. A (2015). Mangroves on the Edge: Anthropogenic Fragmentation Influences Ecological Condition (Turbo, Colombia, Southern Caribbean). Instituto de Biología, Universidad de Antioquia, Medellín, Apartado Aéreo 1226, Colombia. *Diversity* 2015, 7(3), 206-228.
- Blanco-Libreros, J. F., & Londoño-Mesa, M. H. (Eds.). (2016). Expedición Caribe sur: Antioquia y Chocó costeros. Bogotá: Secretaría Ejecutiva de la Comisión Colombiana del Océano.

Bosire, J. O. Kaino, J. J. Olagoke, A. O. Mwihi, L. M. Ogendi, G. M. Kairo, J. G. Berger, U. Macharia, D. (2014). Mangroves in peril: Unprecedented degradation rates of peri-urban mangroves in Kenya. *Biogeosciences* 11:2623–2634

Bosom, E., y Jiménez, J.A. (2011), Probabilistic coastal vulnerability assessment to storms at regional scale- application to Catalan beaches (NW Mediterranean). *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 11: 475-484.

Bruun, P. (1962). Sea-level rise as a cause of shore erosion. *Journal of the Waterways and Harbors Division*. 88(1):117-130.

Brutsché, K. E., Rosati III, J., Pollock, C. E., & McFall, B. C. (2016). Calculating depth of closure using WIS hindcast data. US Army Engineer Research and Development Center Vicksburg United States.

Caicedo, A., Hernández, J.C. (2016). Cambios estacionales en la dinámica sedimentaria de las playas desde Punta Yarumal hasta Playa Barajas (Golfo de Urabá, Caribe Colombiano). Trabajo de Grado, Oceanografía. Universidad de Antioquia. Colombia. 62p.

Camacho, A., y Pérez, S. (Comp.). (2014). Elementos para la construcción de la Visión Urabá, biodiversidad y servicios ecosistémicos como base para el desarrollo, la sostenibilidad y el bienestar. Informe final de consultoría CPS 164\_303PS. Instituto para el Desarrollo de Antioquia, IDEA e Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 98p.

Cárdenas, E. (2006). Realización de sondeos eléctricos verticales en la zona costera del acuífero del Eje Bananero. Informe técnico para CORPOURABA. Apartadó. 161.

Carmona-Fonseca, J (2003). La malaria en Colombia, Antioquia y las zonas de Urabá y Bajo Cauca: panorama para interpretar la falla terapéutica antimalárica. Parte 1. *Iatreia* vol.16 no.4 Medellín Oct./Dec. 2003

Carmona- Fonseca, J (2004). La malaria en Colombia, Antioquia y las zonas de Urabá y Bajo Cauca: panorama para interpretar la falla terapéutica antimalárica. Parte 2. *Iatreia* vol.17 no.1 Medellín Jan/Mar. 2004

Carranza-Edwards, A., y Nolazco-Montero, E. (1988). Estudio sedimentológico regional de playas de Yucatán y Quintana Roo, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM, México 15(2):49-66.

Carretero, S., Rapaglia, J., y Kruse, E. (2012). Análisis de la futura intrusión salina en un acuífero costero como respuesta al cambio climático. Partido de la Costa, provincia de Buenos Aires. *Acta Geológica*, 24(1-2):34-40.

Castaño, C. (2002). Golfos y Bahías de Colombia (Vols. 978-958-96749-8-7). (S. Montes, E. Otero, M. Lina, G. Silva, & J. Gúzman, Edits.) Cali: Banco de Occidente. Obtenido de <https://www.imatedores.com/banocc/golfos/cap3.htm#URABA>.

Ceballos, C. (2002). Estado de las playas en Colombia. pp 149-156. En INVEMAR, Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia. Serie de Publicaciones Periódicas (8). Santa Marta. Colombia .178 p.

CEPAL. (2018). Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe. Santiago, Chile: Naciones Unidas. 58 p.

Chevillot, P., Molina, A., Giraldo, L., y Molina, C. (1993). Estudio geológico e hidrológico del golfo de Urabá. Boletín Científico CIOH (14):79-89.

Coates, A. G., Collins, L. S., Aubry, M. P., & Berggren, W. A. (2004). The geology of the Darien, Panama, and the late Miocene-Pliocene collision of the Panama arc with northwestern South America. GSA Bulletin, 116(11-12), 1327-1344.

Codignotto, J. O. (2005). Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar y cambio climático en la costa Argentina. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, 21:25-28.

Córdoba, N; Iburguen, D (2012). Variabilidad temporal de las playas urbanas del municipio de Turbo, Antioquia. Tesis de la Universidad de Antioquia, Corporación Ambiental.

CORPOURABA. (2016). Evaluación del Riesgo Ecológico y Ambiental en la Zona Costera del Departamento de Antioquia. Estudio Técnico de PlayasCorp para la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá, Santa Marta. 410p.

CORPOURABA. (2017). Monitoreo de playas para la gestión del riesgo marino costero en los municipios de la Unidad Ambiental Costera del Darién. Apartadó. 142p.

CORPOURABA. (2018). Monitoreo de playas para la gestión del riesgo marino costero en los municipios de la Unidad Ambiental Costera del Darién. Apartadó. 96p.

CORPOURABA. (2018). Inventario y diagnóstico de las obras de protección costera establecidas en los cuatro municipios costeros de jurisdicción de la Unidad Ambiental Costera del Darién en el departamento de Antioquia. Apartadó. 96p.

CORPOURABA. (2019). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Turbo Currulao. Apartadó. 285p.

CORPOURABA (2019). Informe final: variación de nivel del mar en el golfo de Urabá. 38 pp.

CORPOURABA y Universidad de Antioquia. (2013). Actualización de la zonificación y ajustes al plan de manejo del ecosistema de manglar en la jurisdicción de CORPOURABA. Convenio de investigación 520. Informe final. 179p.

CORPOURABA y Universidad de Antioquia. (2014). Actualización del Modelo Hidrogeológico conceptual del Sistema Acuífero del Urabá Antioqueño. Medellín. 159 paginas.

Correa, I. D. (1992). Erosión y sedimentación litoral de la línea de costa entre Turbo y Necoclí, Golfo de Urabá, Departamento de Antioquia. Medellín: Universidad EAFIT. 345p.

Correa, I. D., Prüssmann, J., y Garrido, A. E. (2010). Geomorfología del contorno litoral Urabá-Darién departamentos de Antioquia y Chocó Caribe Colombiano. En J. Blanco, M.

Londoño, L. Quan-Young, L. Urrego, J. Polanía, A. Osorio, I. Correa, Expedición Caribe sur. Antioquia y Chocó Costeros. Medellín. 47-73

Correa, I; Prüssmann, J; Garrido, A (2016). Geomorfología del contorno litoral Urabá-Darién, departamentos de Antioquia y Chocó, Caribe colombiano. Pág. 50-73. En: Blanco-Libreros, J. F. & M. H. Londoño-Mesa (Eds.). Expedición Caribe sur: Antioquia y Chocó costeros. Secretaría Ejecutiva de la Comisión Colombiana del Océano. Bogotá 323 pp.

Correa, I. D., y Vernet, G. (2004). Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá (sector Arboletes - Turbo), costa Caribe colombiana. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR (33):7-28.

Cubit, J. (1985). Possible effects of recent changes in sea level on the biota of a Caribbean reef flat and predicted effects of rising sea levels. "Proceedings of the Fifth International Coral Reef Congress, Tahiti". 3, French Polynesia: C. Gabrie and M. Harmelin-Vivien. 111-118p.

Custodio, E. (2004). Myths about seawater intrusion in coastal aquifers. Groundwater and saline intrusion. 18 SWIM, Cartagena. IGME. Madrid. 599-608p.P.

DANE, Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. (2005). Colombia Censo general 2005. Proyecciones de población departamentales por área. Obtenido de <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>.

Diaz-Pulido, G (1997). Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad en Colombia-ecosistemas marinos y costeros. Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – I, 214 p.

Domínguez, L., Anfuso, G., y Gracia, F. J. (2005). Vulnerability assessment of a retreating coast in SW Spain. Environmental Geology, 47(8):1037-1044.

Döll, P. (2009). Vulnerability to the impact of climate change on renewable groundwater resources: a global-scale assessment. Environmental Research Letters, 4(3):1-12p.

Earle, S. (2015). Physical Geology. BCcampus OpenEd, Vancouver. 630p.

Escudero Castillo, M., Mendoza Baldwin, E., Silva Casarin, R., Posada Vanegas, G., y Arganis Juaréz, M. (2012). Characterization of risks in coastal zones: a review. CLEAN–Soil, Air, Water, 40(9), 894-905.

Fandiño, M., (2011). Boletín ECOFONDO: 34ª Edición. La corrupción del concepto ecosistemas estratégicos va a acabar con Colombia. En: Colombia. Boletín Ecofondo. Bogotá. 32:84-91.

FAO, (2007). Los manglares de América del Sur 1980-2005: Informes nacionales. FAO, #50 p.

Fernández, J. M., Bértola, G. R., y Campo, A. M. (2018). Aplicación del Índice de Vulnerabilidad Costera (CVI) a los barrios costeros del partido de Mar Chiquita, Buenos Aires, Argentina. Geoacta, 42(1):13-23.

Fish, M., Coté, I., Gill, J., Jones, A., Renshoff, S., y Watkinson, A. (2005). Predicting the Impact of Sea-Level Rise on Caribbean Sea Turtle Nesting Habitat. *Conservation Biology*, 19(2):482-491.

Freebairn, D. M., Loch, R. J., Silburn, D. M. (1996). Chapter 9 Soil erosion and soil conservation for vertisols. *Developments in Soil Science*, 24(C), 303–362.

García-Valencia, C., y Sierra-Correa, P. C. (2007). Un golfo en el Caribe colombiano. Atlas del golfo de Urabá: una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. Serie de Publicaciones Especiales INVEMAR. Santa marta.188p.

Garzón, F. (2012). Modelamiento estructural de la zona límite entre la microplaca de Panamá y el bloque norandino a partir de la interpretación de imágenes de radar, cartografía geológica, anomalías de campos potenciales y líneas sísmicas. Trabajo de Maestría. Maestría en Ciencias - Geofísica. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 177.

González, A., y Torruco, D. (2012). Las playas arenosas: ecosistema en movimiento. (H. Nolasco, Ed.) *Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo de México* (110): 1.

González, A., Torruco, D., y Torruco, Á. D. (2017). Las playas arenosas de Quintana Roo, México: La diversidad de su fauna intermareal. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 52(2):361-373.

Gornitz, V. M., Daniels, R. C., White, T. W., y Birdwell, K. R. (1994). The development of a coastal risk assessment database: Vulnerability to sea-level rise in the U.S. southeast. *Journal of Coastal Research* (12):327-338.

Gornitz, V., White, T., y Cushman, R. (1991). Vulnerability of the US to future sea level rise. 7th Symposium on coastal and ocean management. Long Beach: American Society of Civil Engineers.1345-1359.

Granger, K., T. Jones, M. Leiba, y G. Scott. (1999). Community Risk in Cairns: A Multi-hazard Risk Assessment. AGSO (Australian Geological Survey Organisation) Cities Project, Department of Industry, Science and Resources, Australia. 29-30.

Guevara, J; Velásquez, A (2018). Caracterización termohalina de la región central del Golfo de Urabá, a partir de la descarga del Río Atrato. Trabajo de grado, Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, 47 p.

Herrera, C; Díaz, C (2018). Evaluación geológica, geotécnica y ambiental de los fenómenos de volcanismo de lodos en la Costa Caribe Colombiana. *Scientia et Technica*, ISSN 0122-1701, Vol. 23, Nº. 1, 2018, págs. 108-115.

Higuita, M. y Quintana, R. (2020). Modulación de las corrientes oceánicas en el Golfo de Urabá a partir de la onda de marea. Trabajo de Grado. Ingeniería Oceanográfica. Universidad de Antioquia. En Curso.

Hinestroza-Mena, K. M., Toro, V. G., Londoño-Colorado, G. S., Chávez, V., García-Blanco, J. K., & Silva, R. (2021). Fine Spatial Scale, Frequent Morphological Monitoring of Urbanised Beaches to Improve Coastal Management. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(5), 550.

Hoegh-Guldberg, O. (2005). Climate change and marine ecosystems. In *Climate change and biodiversity* (T.E. Lovejoy & L. Hannah, eds). Yale University Press, New Haven and London, 256-273.

Holmes, S. y Holmes, D. (1980) *Geología Física*. Ediciones Omega. Barcelona, España. 828p.

Hoyos, R., Urrego, L.E., y Lema, Á. (2013). Respuesta de la regeneración natural en manglares del Golfo de Urabá (Colombia) a la variabilidad ambiental y climática intra-anual. *Int. J. Trop. Biol.* 61(3). 1445-1461.

Huang, W. P., Hsu, J. C., Chen, C. S., y Ye, C. J. (2018). The Study of the Coastal Management Criteria Based on Risk Assessment: A Case Study on Yunlin Coast, Taiwan. *Water*, 10(8): 988.

IDEAM (2019). Cartilla de pronósticos de pleamares y bajamares de la costa Atlántica Colombiana. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/cartilla-pronostico-pleamares-bajamares-costa-atlantica-colombiana>.

INVEMAR. (2003). Programa holandés de asistencia para estudios en cambio climático. Colombia. Definición de la vulnerabilidad de los sistemas biogeofísicos y socioeconómicos debido a un cambio en el nivel del mar en la zona costera colombiana (Caribe, Insular y Pacífico) y medidas para su adaptación. INVEMAR. Santa Marta, Colombia. 102p.

INVEMAR, Gobernación de Antioquia. (2007). Atlas del golfo de Urabá: una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. (C. García-Valencia, Ed.) Santa Marta. Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR (12):180.

INVEMAR, Gobernación de Antioquia, CORPOURABA y Municipio de Turbo. (2010). Estudios para determinar las alternativas de solución a los problemas de erosión costera del municipio de Turbo, departamento de Antioquia. 257p.

INVEMAR, Grupo Laera, GCAP y CDKN (Eds.). 2014. Adaptación al cambio climático en ciudades costeras de Colombia. Guía para la formulación de planes de adaptación. Serie de Publicaciones Generales del INVEMAR. (65) Santa Marta. 40p.

INVEMAR, PNUD. (Noviembre de 2017). Análisis de vulnerabilidad marino costera e insular ante el cambio climático para Colombia como insumo para la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Santa Marta, Colombia. 256p.

IPCC. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (R. P. Reisinger, Ed.) Ginebra, Suiza. 104p.

IPCC. (2013). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Stocker, T.F., D. Qin, and G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge. 14p.

IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (R. P. Meyer, Ed.) Ginebra, Suiza. 157p.

Jaramillo, A., y Gutierrez C. (2018). Zona de estudio Punta de las Vacas. Recuperado de: componente de componente de Topobatemetría. Proyecto "Investigación para la reversión del proceso de erosión de las costas del mar de Antioquia". Documento en revisión por parte de la Gobernación, agosto 2019.

Jarma, T. (2007). Construcción de la red de piezómetros para el monitoreo de la cuña salina como apoyo al proyecto de Protección Integral de Agua Subterráneas. Informe técnico. CORPOURABA. Apartadó. 101p.

Kennedy, V. S., Twilley, R. R., Kleypas, J. A., Cowan Jr., J. M., y Hare, S. R. 2002. Coastal and marine ecosystems & global climate change. PEW Center on Global Climate Change. Arlington, USA. 64p.

Klein, R. J., y Nicholls, R. J. (March de 1999). Assessment of coastal vulnerability to climate change. 2(28):182-187. *Ambio*, 28(2):182-187.

Kokot, R. J., Codignotto, J. O., y Elissondo, M. (2004). Vulnerabilidad al ascenso del nivel del mar en la costa de la provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59(3):477-487.

Lara, J. R., Arenas, V., Bazán, C., Díaz, V., Briones, E., García, M., Gaxiola, G., Robles, G., Sosa, R., Soto, L., Tapia, M., y Valdez, E. (2008). Los ecosistemas marinos, en *Capital natural de México (2). Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio, México. 135-159.

López, J. A., y Gómez, J. (2007). La intrusión marina y su incidencia en los acuíferos españoles. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(3):266-273.

Losada, I., Izaguirre, C. y Díaz, P. (2014). Cambio climático en la costa española. Oficina Española de Cambio Climático, MA de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 133p.

Madera, O; Valderrama, M (2014). Evaluación de la vulnerabilidad por intrusión marina mediante el método GALDIT en el acuífero Morrosquillo, zona litoral de Santiago de Tolú, Sucre – Colombia. Trabajo de grado, Universidad de Sucre, Facultad de Ingeniería, 112 pp.

Magbagbeola, F.A. (2011). The coast and its associated landforms. Bachelor Thesis. Bachelor of Technology. Federal University of Technology, Akure (Nigeria).

Málvarez, G. C., Pollard, J., y Domínguez, R. R. (2000). Origins, Management, and Measurement of Stress on the Coast of Southern Spain. *Coastal Management*, 28, 215-234.

Martí, M. (2011). Vulnerabilidad física de la costa catalana a diferentes agentes. Tesis de Especialidad. Ingeniería Marítima. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona. 158p.

Martínez, C., Lacoste, M., Gutiérrez, A., y Velásquez, J. (2016). Lineamientos de Desarrollo Compatible con el Clima y Paz para Urrao, Nutibara y el Urabá Antioqueño. 70p.

McLaughlin, S., Cooper, A., y McKenna, J. (2002). Socio-economic data in coastal vulnerability indices: Constraints and opportunities. *Journal of Coastal Research* (32):487-497.

Mendoza, E.T. y Jiménez, J.A. (2009), Regional vulnerability analysis of Catalan beaches to storms. *P. I. Civil Eng-Mar. Eng* 162(3):127–135.

Merlotto, A, Bértola, G, & Isla, F (2017). Riesgo de erosión costera de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*, 26(2),37-72. [fecha de Consulta 1 de agosto de 2020]. ISSN: 0326-8373. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3832/383254667003>

Molina-Flórez, L. G., Osorio Arias, A. F., y Otero Díaz, L. J. (2014). Capacidad de transporte potencial longitudinal de sedimentos a escala intra-anual en Punta Yarumal, Delta Del Río Turbo, Golfo De Urabá, a partir de la simulación de clima marítimo. *INVEMAR - Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras*, 43(2):213–248.

Molina, L. M., F. Pérez, J. Martínez, J.V. Franco, L. Marín, J. González y J. Carvajal. (1998). Geomorfología y Aspectos Erosivos del Litoral Caribe. *Pub. Geol. Esp. INGEOMINAS*, 21. 114p.

Montoya, J. (2010). Dinámica oceanográfica del golfo de Urabá y su relación con los patrones de dispersión de contaminantes y sedimentos. Tesis de Doctorado. Doctorado en Ingeniería – Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 254p.

Moore, L., y Griggs, G. (2002). Long-term cliff retreat and erosion hotspots along the central shores of the Monterey Bay National Marine Sanctuary: *Marine Geology*, 181(1-3):265-283.

Morell, I. y Hernández, F. (2000). El agua en Castellón: un reto para el siglo XXI. Castellón de la Plana: Editorial de la Universidad Jaume. España. 538p.

Navarrete-Ramírez, S. M. 2014. Protocolo Indicador Variación línea de costa: perfiles de playa. Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). Invemar, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales del Invemar No. 73, Santa Marta. 36 p.

Osorio A.F.; Montoya R.D.; Saavedra, V; y Padilla, S. (2018). Zona de estudio Punta Las Vacas. Recuperado de: componente de Oleaje. Proyecto "Investigación para la reversión del proceso de erosión de las costas del mar de Antioquia". Documento en revisión por parte de la Gobernación, agosto 2019.

Palacios, E. (2012). Apuestas productivas y capacidad institucional en las regiones de Antioquia. Universidad EAFIT, Medellín. 44p.

Paredes, V. (2010). Suceptibilidad a la contaminación salina del acuífero confinado costero del Eje Bananero de Urabá con técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas. *Revista Geológica de América Central*, 45, 123-139.

Paredes, V., Azofeifa, I., Quintero, M., y Hartig, F. (2010). Hidrogeoquímica en el acuífero costero del eje bananero de Urabá. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 9(17):51-62.



Pérez, G. (2007). El caribe antioqueño: entre los retos de la geografía y el espíritu paisa. Banco de la República (88):45.

Política nacional de cambio climático / Luis Gilberto Murillo, Ministro (2016 - :); [Eds.] Dirección de Cambio Climático: Florián Buitrago, Maritza; Pabón Restrepo, Giovanni Andrés; Pérez Álvarez, Paulo Andrés; Rojas Laserna, Mariana; Suárez Castaño, Rodrigo. Bogotá, D. C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 290p.

POMCA Río Turbo -Currulao (2018). Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica, Fase de diagnóstico Tomo II – Hidrogeología, hidrografía, morfometría, pendientes, hidrología, 284 pp.

Posada, B. O., Henao, W. (2008). Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe Colombiano. INVEMAR, serie de publicaciones especiales (13):200.

Posada, B. O., Morales, G., y Henao, W. (2011). Diagnóstico de la erosión costera del territorio insular colombiano. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales (24):116.

Poveda, G. (2004). La hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. Revista Académica Colombiana de Ciencias, 28(107):201-222.

Ramírez, E. (2020). Caracterización de la dinámica geomorfológica y sedimentaria de la playa La Martina en época húmeda. Tesis de pregrado de la Universidad de Antioquia, facultad de Ingeniería, Escuela ambiental. 63 pág.

Ramírez, O. J (2018). Deforestación del ecosistema de manglar por asentamiento urbano no planificado en zona urbana municipio turbo (2018). Tesis de la Universidad Autónoma a Distancia (UNAD).

Ramis, C. (2009). Valoración de los impactos del cambio climático en el Mediterráneo: evidencias, incertidumbres y escenarios. CIP-Ecosocial, 11-17. Obtenido de [http://www.bibliotecavirtual.info/wpcontent/uploads/2013/12/DOSSIER\\_CAMBIO\\_CLIMATICO.pdf](http://www.bibliotecavirtual.info/wpcontent/uploads/2013/12/DOSSIER_CAMBIO_CLIMATICO.pdf)

Ramos, R., Gama Campillo, L. M., Núñez Gómez, J. C., Sánchez Hernández, R., Hernández Trejo, H., y Ruíz Álvarez, O. (2016). Adaptación del modelo de vulnerabilidad costera en el litoral tabasqueño ante el cambio climático. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7(SPE13):2551-2563.

Rangel-Buitrago, N; Anfunso G; Correa, I (2012). OBRAS DE DEFENSA COSTERAS EN EL CARIBE COLOMBIANO ¿SOLUCIÓN O PROBLEMA? In book: Gestión Integrada de Áreas Litorales. Congreso Iberoamericano de Gestión Integrada de Áreas Litorales.

Rangel-Buitrago, N. G., y Posada-Posada, B. O. (2013). Determinación de la vulnerabilidad y el riesgo costero mediante la aplicación de herramientas SIG y métodos multicriterio en la línea de costa. Intropica, 8(1):29 – 42.

Ranjan, S. P., Kazama, S., Sawamoto, M., y Sana, A. (2009). Global scale evaluation of coastal fresh groundwater resources. Ocean & Coastal Management 52: 197-206

Restrepo, J.; López, S. (2008). Morfodinámica de los deltas de Colombia. En: Restrepo JD, editor. Deltas de Colombia: Morfodinámica y vulnerabilidad ante el cambio global. Medellín, Colombia: Fondo editorial Universidad EAFIT. 75-100

Restrepo, J., y López, S. (2008). Morphodynamics of the Pacific and Caribbean deltas of Colombia, South America. *Journal of South American Earth Sciences*, 25, 1-21.

Ricaurte-Villota, C., Coca-Domínguez, O., González, M. E., Bejarano-Espinosa, M., Morales, D. F., Correa-Rojas, C., Briceño-Zuluaga, F., Legarda, G. A. y Arteaga, M. E. (2018). Amenaza y vulnerabilidad por erosión costera en Colombia: enfoque regional para la gestión del riesgo. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andrés” –INVEMAR–. Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR. 33. Santa Marta, Colombia. 268p.

Robertson, K; N. Martínez., 1999. Cambios en el nivel del mar durante el Holoceno en el litoral Caribe Colombiano. *Cuadernos de Geografía*, 8(1): 168-198.

Robledo, A (2019). Patrones de transporte de sedimentos en playa la martina durante la época húmeda. Trabajo de grado, Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, 79 p.

Rojas-Higuera, P. J., y Pabón-Caicedo, J. D. (2015). Sobre el calentamiento y la acidificación del océano mundial y su posible expresión en el medio marino costero colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39(151):201-217.

Rumson, A. G., Hallett, S. H., y Brewer, T. R. (2017). Coastal risk adaptation: the potential role of accessible geospatial Big Data. *Marine Policy*, 83, 100-110

Sánchez-Páez, H., Álvarez-León, R., Guevara-Mancera, O.A. y Ulloa-Delgado, G.A. (2000). Lineamientos estratégicos para la conservación y uso sostenible de los manglares de Colombia. Propuesta técnica para análisis. Ministerio de Ambiente, ACOFORE, OIMT. Bogotá. 84p.

Saurí, D. (1997). Les inundacions. *Quaderns d'Ecologia Aplicada*. Barcelona, 1(14):13-26.

Schmitt T. (1994). Degradació de la vegetació psamòfila litoral de Mallorca. *Boletín de la Sociedad de Historia Natural de Baleares*. 37: 151-174

Seisdedos, J., Mulas, J., González de Vallejo, L. I., Rodríguez Franco, J. A., Gracia, F. J., Del Río, L., y Garrote, J. (2013). Estudio y cartografía de los peligros naturales costeros de la región de Murcia. *Boletín Geológico y Minero*, 124(3):505-520.

Servicio Geológico Colombiano (2017). Volcanismo de lodo del Caribe central colombiano. En: Vásquez-Salamanca, L (Eds.). Bogotá, Colombia, ISBN: 978-958-59782-0-1, 98 pp.

Sherif, M. M. y Singh V. P. 1999. Effect of climate change on seawater intrusion in coastal aquifers. *Hydrological Processes* 13 (8): 1277-1287

Taborda-Marín, A; Amortegui-Torres, V; Arroyave-Rincón, A; Sandoval, A; Estrada, E; Leal-Flórez, J; Vásquez, J; Vivas, A (2013). Deforestación y sedimentación en los manglares del

Golfo de Urabá Síntesis de los impactos sobre la fauna macrobéntica e íctica en el delta del río Turbo. *Gest. Ambient.*, Volumen 16, Número 2, p. 19-36, 2013. ISSN electrónico 2357-5905. ISSN impreso 0124-177X.

Users, J. (2013). El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales. *Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, 50, 71-98.

USGS. (1999). National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Atlantic Coast. Woods Hole: U.S. Geological Survey.

Valencia, N; Polanco, J (2010). Sostenibilidad de la explotación de *Rhizophora mangle* (Mangle rojo) en la unidad ambiental costera Darién. Tesis (Maestría en Economía) Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Económicas.

Vargas, M (2010). Propuesta Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad Intrínseca de los acuíferos a la Contaminación. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá D.C. 2010. p.28

Vargas, V. H., Uribe, E., Ríos, C. A., y Castellanos, O. M. (2016). Coastal landforms caused by deposition and erosion along the shoreline between Punta Brava and Punta Betín, Santa Marta, Colombian Caribbean. *Revista de la Academia Colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales*, 40(157):664-682.

Velásquez, N. (2000). Geomorfología y Dinámica en el Urabá Chocoano. Sector: Cabo Tiburón – Bahía Acandí. Trabajo de grado, Ingeniería Geológica. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 284p.

Vélez-Agudelo, C; Aguirre-Ramírez, N (2016). INFLUENCE OF THE ATRATO RIVER IN THE GULF OF URABÁ DURING THE LATE HOLOCENE, COLOMBIAN CARIBBEAN SEA. *Bol. Invest. Mar. Cost.* [online]. 2016, vol.45, n.1, pp.73-97. ISSN 0122-9761

Vides, M. P., P. C. Sierra-Correa y L. Cortés. (2012). Gestión costera como respuesta al ascenso del nivel del mar: guía para administradores de la zona costera del Caribe. Serie de Publicaciones Generales del Invemar (57): Santa Marta. 76p.

Villegas, P. (2013). Caracterización isotópica del acuífero del golfo de Urabá, utilizando 2H, 18O, 14C Y 13C. Trabajo de Maestría. Maestría en Ingeniería. Universidad de Antioquia, Medellín. 103p.

Walsh, K.; Betts, H.; Pittock, A.; Jackeu, D. y T. McDougall (2004). Using sea level rise projections for urban planning in Australia. *Journal of Coastal Research* 20(2):586-598.

Werner, A. D. y Simmons C. T. (2009). Impact of sea level rise on seawater intrusion in coastal aquifers. *Ground Water* 47(2):197-204.

Yanes, A., Botero, C., Arrizabalaga, M., y Vásquez, J. (2019). Methodological proposal for ecological risk assessment of the coastal zone of Antioquia, Colombia. *Ecological Engineering*, 130:242-251.

## ANEXOS

### Anexo 1. Acciones en Colombia frente al cambio climático.

**Tabla 1.** Acciones en Colombia frente al cambio climático.

Año	Descripción	Observaciones
1994	Ley 164 por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", realizada en Nueva York el 9 de mayo de 1992. (CMNUCC).	Se definen medidas para contrarrestar los efectos de los gases efecto invernadero.
1996	Decreto 1791 de 1996. Por medio de la cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal.	Regular las actividades de la administración pública y de los particulares respecto al uso, manejo, aprovechamiento y conservación de los bosques y La flora silvestre.
2000	Ley 629 por medio de la cual se aprueba el "Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático", hecho en Kyoto el 11 de diciembre de 1997.	Establece metas de reducción de gases de efecto invernadero (GEI).
2000	Se promulga la "Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia".	Se propone que mediante el manejo integrado se contribuya al desarrollo armónico de las actividades productivas y a la conservación y preservación de los ecosistemas y recursos marinos y costeros.
2001	Se publica La Política de Participación Social en la Conservación.	Planteó la necesidad de promover y consolidar procesos de participación social y coordinación interinstitucional para la conservación de la biodiversidad, de los servicios ambientales de las áreas protegidas y de la diversidad cultural del país.
2001	El país presentó su Primera Comunicación Nacional de Cambio Climático ante la CMNUCC, publicación coordinada por el IDEAM	En esta comunicación se analizó y expuso el Inventario Nacional de gases efecto invernadero para los años 1990 y 1994.
2002	Se crea Política de Humedales Interiores de Colombia para la conservación de los humedales.	Garantiza la sostenibilidad de los recursos hídricos mediante el

Año	Descripción	Observaciones
		uso sostenible y la conservación de los humedales.
2002	El entonces Ministerio de Medio Ambiente, con apoyo del Departamento Nacional de Planeación – DNP elaboró el documento: Lineamientos de política de cambio climático.	Se identificaron las estrategias requeridas para consolidar la capacidad nacional necesaria que permitió responder a las posibles amenazas del cambio climático y a las disposiciones de la Convención y el Protocolo de Kioto.
2002	Se creó la Oficina Colombiana para la Mitigación del Cambio Climático dentro del Ministerio del Medio Ambiente, Autoridad Nacional Designada para ser el ente promotor y evaluador de todos los proyectos: Mecanismos de Desarrollo Limpio del país.	Favoreció la consolidación de proyectos competitivos y eficientemente económicos que pudieran ser transados en el mercado mundial de reducción de emisiones de CO2.
2003	Se expidió el documento CONPES 3242 "Estrategia Nacional para la Venta de Servicios Ambientales de Mitigación de Cambio Climático"	Se buscó promover la incursión competitiva de Colombia en el mercado internacional de reducciones verificadas de emisiones de gases efecto invernadero.
2004	Decreto 291 Artículo 15, numeral 11.	Se designó al IDEAM como la entidad encargada de coordinar la elaboración de las Comunicaciones Nacionales ante la CMNUCC.
2004	El entonces Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial expidió las Resoluciones 0453 y 0454, las cuales posteriormente fueron derogados por el artículo 12 de la resolución 551 y 552 de 2009 y nuevamente en el 2010 a través de las resoluciones 2733 y 2734 expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.	Adopta los principios, requisitos, criterios y procedimiento para la aprobación nacional de proyectos MDL
2005	Resolución 340 de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial,	Se disuelve la Oficina Colombiana para la Mitigación del Cambio Climático, para dar paso al Grupo de Mitigación de Cambio Climático - GMCC dentro del Viceministerio de Ambiente del Ministerio de

Año	Descripción	Observaciones
2007	Se crea La Política Nacional del Océano y los espacios costeros	Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Esta política tiene como objeto el desarrollo sostenible y de los espacios costeros, así como los intereses marítimos de la Nación.
2010	En junio se presentó la Segunda Comunicación Nacional de Colombia ante la CMNUCC.	Este documento expuso el inventario nacional de fuentes y sumideros de GEI para los años 2000 y 2004. Adicionalmente, realizó un análisis de las características fisicobióticas y socioeconómicas para determinar la vulnerabilidad de Colombia ante los efectos adversos del cambio climático. Finalmente presentó las acciones que se habían adelantado en materia de adaptación y se plasmaron los objetivos y líneas estratégicas para disminuir el impacto y determinar las prioridades de acción.
2010	Se expide la Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico que busca orientar la planificación, administración, seguimiento y monitoreo del recurso hídrico a nivel nacional bajo un criterio de gestión integral del mismo.	Identificó los efectos del cambio climático sobre el régimen hidrológico, para lo cual incorporó el objetivo de gestión integral del riesgo asociado a la oferta y disponibilidad del agua, con el fin de reducir los riesgos asociados a la oferta hídrica resultantes de los fenómenos de variabilidad y cambio climático, y propuso la implementación de medidas de adaptación en los ecosistemas clave.
2011	Se creó la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono –ECDBC-, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático –PNACC-, y la Estrategia Nacional REDD+.	Busca desligar el crecimiento de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) del crecimiento económico nacional a través de medidas sectoriales de mitigación que contribuyen al desarrollo económico y competitividad de los sectores.

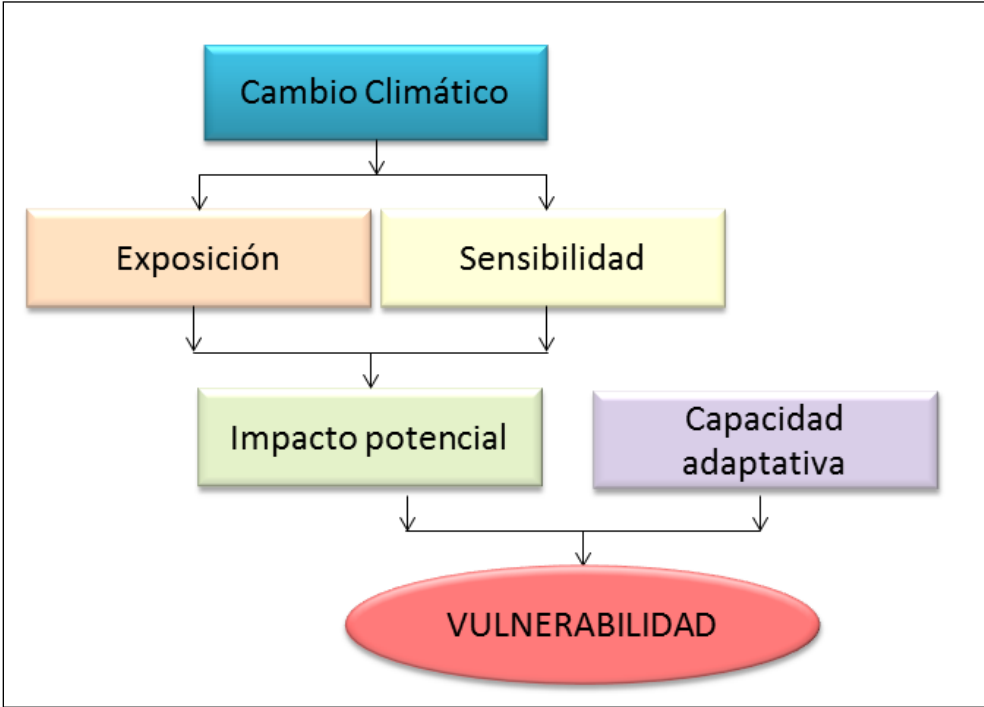
<b>Año</b>	<b>Descripción</b>	<b>Observaciones</b>
2011	Se expidió el documento CONPES 3700 del 2011	Se menciona por primera vez a los nodos regionales de cambio climático como una medida de descentralización de las acciones nacionales, en la búsqueda del empoderamiento de los entes territoriales y de las poblaciones locales frente a la gestión para enfrentar el cambio climático en Colombia.
2012	Se expide la Ley 1523 que adopta la Política Nacional de gestión del riesgo de desastres y establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastre. En el marco de esta ley también se expidió el Plan nacional de gestión del riesgo de desastres que hace parte de los referentes para la acción de la adaptación al cambio climático.	Constituye una política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo.
2013	Es formulada la Política nacional para la Gestión Integral Ambiental del Suelo, la cual reconoce que la degradación de los suelos contribuye al cambio climático.	Reconoce que la degradación de los suelos contribuye al cambio climático, razón por la cual le da prioridad a la protección de los suelos bajo cobertura arbórea y promueve la aplicación de la agricultura de conservación.
2014	Se expidió la Ley 1715 de 2014	Busca promover el desarrollo y utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable.
2015	Se adoptó el Acuerdo de París.	Buscó dar continuidad al Protocolo de Kioto, cuyo periodo de implementación estaba previsto entre los años 2008 y 2012, el cual fue extendido hasta 2020.
2015	Se adoptó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que plantea 17 objetivos con 169 metas de carácter integrado e indivisible que abarcan las esferas económica, social y ambiental.	Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), además de buscar el fin a la pobreza en el mundo, incluyen, entre otros puntos, erradicar el hambre y lograr la seguridad alimentaria; garantizar una vida sana y una educación de calidad; lograr la

Año	Descripción	Observaciones
		<p>igualdad de género; asegurar el acceso al agua y la energía; promover el crecimiento económico sostenido; adoptar medidas urgentes contra el cambio climático; promover la paz y facilitar el acceso a la justicia.</p>
2016	<p>Se expide el Decreto 298 de 2016 por medio del cual se estableció la organización y el funcionamiento del Sistema Nacional de Cambio Climático - Sisclima.</p>	<p>Define que el Sisclima será la instancia de coordinación, articulación, formulación, seguimiento y evaluación de las políticas, normas y demás instrumentos de gestión que en materia de adaptación al cambio climático y de mitigación de GEI desarrollen las entidades públicas, privadas y sin ánimo de lucro.</p>
2016	<p>Se expide la Política Nacional de Cambio Climático</p>	<p>El objetivo de la Política Nacional de Cambio Climático es incorporar la gestión del cambio climático en las decisiones públicas y privadas para avanzar en una senda de desarrollo resiliente al clima y baja en carbono, que reduzca los riesgos del cambio climático y permita aprovechar las oportunidades que este genera.</p>

**Fuente:** Elaborada a partir del documento Política Nacional de Cambio Climático – MinAmbiente (2016).



**Anexo 2. Vulnerabilidad – Cambio Climático. La vulnerabilidad al cambio climático condicionada por factores como la exposición del sistema a experimentar pérdidas potenciales debido a la incidencia de un impacto, y por la sensibilidad o capacidad del sistema ante la manifestación de un evento de impacto potencial.**



**Anexo 3. Identificación preliminar de las principales amenazas presentes en las zonas costeras.**

<b>Amenaza</b>	<b>Tipo</b>	<b>IPCC (2014, 2019)</b>	<b>INVEMAR (2017)</b>	<b>INGEOMINAS (2010)</b>
Acidificación marina	Química	X	X	
Erosión costera	Física	X	X	
Inundaciones costeras	Física	X		
Menor potencial de captura de peces	Biológica	X		
Pérdida de ecosistemas estratégicos	Física	X		
Propagación de enfermedades transmitida por vectores	Biológica	X		
Salinización de acuíferos	Química	X		
Temperatura superficial del mar	Física		X	
Diapirismo de lodo	Física			X
Subsidencia	Física			X
Deshielo de los glaciares	Física	X		
Expansión térmica	Física	X		
Intensidad/frecuencia de huracanes	Física	X		

Nota: Las amenazas relacionadas en la tabla no están asociadas únicamente al ascenso del nivel del mar.

**Anexo 4. Evidencias fotográficas validación en campo de las amenazas en la zona de estudio.**

Enrocado instalado en el tramo Playas Urbanas.



Cúmulo de troncos en Playa La Martina.



Inundación costera en Playas Urbanas.



Tramo de estudio Playas Urbanas.



Manglares en el tramo de estudio Playas Urbanas.



Relicto de bosque de manglar en Playa la Martina.



**Anexo 5. Variables consideradas en diversos estudios.**

<b>Amenaza por erosión</b>	
<b>Variable</b>	
<b>Rangel y Posada, 2013</b>	<b>Fernández et al., 2017</b>
Geomorfología	Geomorfología
Erosión (m/año)	Evolución de la línea de costa (m/año)
Ancho de playa (m)	X
Pendiente de playa (intermareal) (°)	Pendiente de playa frontal (%)
Grado de exposición al oleaje	Nivel de antropización
Estado morfodinámico	X
Presencia de rasgo geomorfológicos	X
Rango mareal	Rango mareal (m)
Altura de ola (m)	Máxima altura de la ola (m)
Aumento del nivel del mar (mm/año)	Variación del nivel del mar (mm/año)
X	Litología

## Anexo 6. Clasificación de variables que representan la amenaza.

Tipo de amenaza	Variable	Intervalo de valores				
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
		1	2	3	4	5
Erosión	Geomorfología	Acantilados altos (+ 4 m)	Acantilados medios y bajos (- 4 m)	Barreras, deltas, espigas y tómbolos	Playa y playa sobre plataforma litoral	Planicies de marea y marismas
	Pendiente de playa frontal (%)	≥ 7,5	Entre 4 y 7,4	Entre 2 y 3,9	Entre 1,3 y 1,9	< 1,2
	Rango mareal (m)	< a 0,5	Entre 0,5 y 0,9	Entre 1 y 1.4	Entre 1.4 y 2	> 2
	Evolución de la línea de costa (m/año)	≥ 13	Entre 13 y 5	Entre 5 y 0	Entre -0,1 y -2	< -2
	Variación del nivel del mar (mm/año)	< 3	Entre 3,1 y 3,3	Entre 3,4 y 3,7	Entre 3,8 y 4	≥ 4,1
	Altura de ola significativa (Hs) (m)	Entre 0 y 1	x	Entre 1 y 2 m	X	>2
	Grado de exposición al oleaje	Puertos, espigones, rompeolas, rellenos duros	Regeneración de playas, rellenos blandos (obras de protección costera no rígidas)	Costa natural, muelle sobre pilotes	Deforestación, extracción de áridos, edificios en altura	Destrucción y extracción de material de playa, drenaje urbano en playa
Litología	Roca volcánica, plutónica y metamórfica de alto grado	Roca metamórfica de bajo grado	Mayoría de rocas sedimentarias	Roca sedimentaria poco consolidada	Sedimentos no consolidados Roca sedimentaria inconsolidada	
Inundación	Geomorfología	Acantilados altos (+ 4 m)	Acantilados medios y bajos (- 4 m)	Barreras, deltas, espigas y tómbolos	Playa y playa sobre plataforma litoral	Planicies de marea y marismas
	Pendiente de playa frontal (%)	≥ 7,5	Entre 4 y 7,4	Entre 2 y 3,9	Entre 1,3 y 1,9	< 1,2
	Evolución de la línea de costa (m/año)	≥ 13	Entre 13 y 5	Entre 5 y 0	Entre -0,1 y -2	< -2
Salinización de acuíferos	Perfil estratigráfico	Perfil donde predominan arcillas	Perfil con 50% arcillas y 50% limos	Perfil donde predominan los limos	Perfil con 50% limos y 50% arenas	Perfil donde predominan las arenas
	Conductividad (m/día)	Entre 0 y 2,9	Entre 2,9 y 5,7	Entre 5,7 y 8,5	Entre 8,5 y 11,3	> 11,3
	Distancia de la línea de costa (m)	>20	Entre 20 y 12	Entre 12 y 7,7	Entre 7 y 3	<3

Tipo de amenaza	Variable	Intervalo de valores				
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
		1	2	3	4	5
Pérdida de ecosistemas estratégicos	Evolución de la línea de costa (m/año)	$\geq 13$	Entre 13 y 5	Entre 5 y 0	Entre -0,1 y -2	$< -2$
	Geomorfología	Acantilados altos (+ 4 m)	Acantilados medios y bajos (- 4 m)	Barreras, deltas, espigas y tómbolos	Playa y playa sobre plataforma litoral	Planicies de marea y marismas
	Ancho de la playa (m)	$> 100$	Entre 100 y 60	Entre 60 y 20	$< 20$	Sin playa
	Pendiente de playa frontal (%)	$\geq 7,5$	Entre 4 y 7,4	Entre 2 y 3,9	Entre 1,3 y 1,9	$< 1,2$

Anexo 7.

a) Fotografías de la medición en campo de las variables en playas Urbanas de Turbo y La Martina (Municipio de Turbo).





**b) Amenazas y variables.**

<b>Fase</b>	<b>Tipo de amenaza</b>	<b>Variable</b>
Amenaza	Erosión	Geomorfología
		Pendiente de playa frontal (%)
		Rango mareal (m)
		Evolución de la línea de costa (m/año)
		Variación del nivel del mar (mm/año)
		Altura de ola significativa (m)
		Grado de exposición al oleaje (adimensional)
		Litología
	Inundación	Geomorfología
		Pendiente de playa frontal (%)
		Evolución de la línea de costa (m/año)
	Salinización de acuíferos	Perfil estratigráfico
		Conductividad (m/día)
		Distancia de la línea de costa (m)
	Perdidas de ecosistemas estratégicos	Evolución de la línea de costa (m/año)
		Geomorfología
		Ancho de playa (m)
		Pendiente de playa frontal (%)



## Anexo 8. Subcapítulo 1: Resultados – Geomorfología

### a) Geomorfología en los tramos de playas Urbanas de Turbo

<b>Playas Urbanas de Turbo</b>							
Perfil 1	Perfil 2	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 4	Perfil 5
<b>Tramo 1</b>		<b>Tramo 2</b>		<b>Tramo 3</b>		<b>Tramo 4</b>	
Geomorfología playa		Geomorfología playa		Geomorfología playa		Geomorfología obras de protección costeras rígidas.	
Perfil 5	Perfil 6	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 7		Perfil 8	
<b>Tramo 5</b>		<b>Tramo 6</b>		<b>Tramo 7</b>			
Geomorfología obras de protección costeras rígidas.		Geomorfología obras de protección costeras rígidas.		Geomorfología obras de protección costeras rígidas.			

### b) Geomorfología en los tramos de playa La Martina.

<b>Playa La Martina</b>					
Perfil 1	Perfil 2	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 3	Perfil 4
<b>Tramo 1</b>		<b>Tramo 2</b>		<b>Tramo 3</b>	
Geomorfología obras de protección costeras y playa. Predomina la geomorfología playa a lo largo del tramo.		Geomorfología playa		Geomorfología playa	
Perfil 4	Perfil 5	Perfil 5		Perfil 6	
<b>Tramo 4</b>		<b>Tramo 5</b>			
Geomorfología playa		Geomorfología playa y marisma (área de inundación con diferentes tipos de manglares). Predomina la geomorfología playa a lo largo del tramo.			

**Anexo 9. Subcapítulo 1: Resultados – Pendiente de playa frontal**

**a) Pendientes de playa frontal en playas Urbanas de Turbo.**

<b>Playas Urbanas de Turbo</b>					
Perfil 1	Perfil 2	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 3	Perfil 4
<b>Tramo 1</b>		<b>Tramo 2</b>		<b>Tramo 3</b>	
Perfil	Pendiente promedio (%)	Perfil	Pendiente promedio (%)	Perfil	Pendiente promedio (%)
1	3,2	2	3,0	3	3,5
1.1	3,4	2.1	2,6	3.1	5,8
1.2	2,6	2.2	3,3	3.2	6,2
1.3	3,1	2.3	3,8	3.3	4,7
		2.4	5,9		

**b) Pendientes de playa frontal en playa La Martina**

<b>Playa La Martina</b>									
Perfil 1	Perfil 2	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 5	Perfil 6
<b>Tramo 1</b>		<b>Tramo 2</b>		<b>Tramo 3</b>		<b>Tramo 4</b>		<b>Tramo 5</b>	
Perfil	Pendiente promedio (%)	Perfil	Pendiente promedio (%)	Perfil	Pendiente promedio (%)	Perfil	Pendiente promedio (%)	Perfil	Pendiente promedio (%)
1	4,0	2	2,0	3	7,5	4	7,3	5	6,4
1.1	3,4	2.1	1,8	3.1	6,8	4.1	3,7	5.1	5,32
1.2	4,2	2.2	1,2	3.2	5,5	4.2	5,5	5.2	4,6
1.3	2,0	2.3	5,6	3.3	7,0	4.3	5,4	5.3	3,2
		2.4	6,3			4.4	7,5	5.4	2,7

**c) Pendiente de playa frontal promedio en cada tramo**

<b>Pendiente de playa frontal (%)</b>		
<b>Playas Urbanas de Turbo</b>		
<b>Tramo 1</b>	<b>Tramo 2</b>	<b>Tramo 3</b>
3,1	3,7	5,1
<b>Playa La Martina</b>		
<b>Tramo 1</b>	<b>Tramo 2</b>	<b>Tramo 3</b>
3,4	3,4	6,7
<b>Tramo 4</b>		<b>Tramo 5</b>
5,9		4,5

**Anexo 10. Subcapítulo 1: Resultados – Evolución de la línea de costa**

**a) Cálculos DSAS: EPR (Tasa de Punto Final) y NSM (Movimiento Neto de la Costa) de transectos de la línea de costa en playas Urbanas de Turbo.**

<b>Playas Urbanas de Turbo</b>								
Perfil 1	-	Perfil 2	Perfil 2	-	Perfil 3	Perfil 3	-	Perfil 4
<b>Tramo 1</b>			<b>Tramo 2</b>			<b>Tramo 3</b>		
Transecto	EPR (m/año)	NSM (m)	Transecto	EPR (m/año)	NSM (m)	Transecto	EPR (m/año)	NSM (m)
1	3,4	7,3	4	7,7	16,9	7	5,6	30,0
2	3,7	8,1	5	10,5	23,0	8	3,3	17,3
3	6,8	14,9	6	13,2	29,2	9	-1,2	-6,4
Perfil 4	-	Perfil 5	Perfil 5	-	Perfil 6	Perfil 6	-	Perfil 7
<b>Tramo 4</b>			<b>Tramo 5</b>			<b>Tramo 6</b>		
Transecto	EPR (m/año)	NSM (m)	Transecto	EPR (m/año)	NSM (m)	Transecto	EPR (m/año)	NSM (m)
10	-0,4	-2,3	13	1,0	5,4	16	1,0	2,3
11	0,4	2,3	14	-0,2	-1,2	17	2,3	5,1
12	-0,3	-1,8	15	1,8	9,4	18	1,0	2,3
Perfil 7			-			Perfil 8		
<b>Tramo 7</b>								
Transecto			EPR (m/año)			NSM (m)		
19			2,9			6,3		
20			0,5			1,1		
21			0,1			0,2		
22			2,3			5,0		

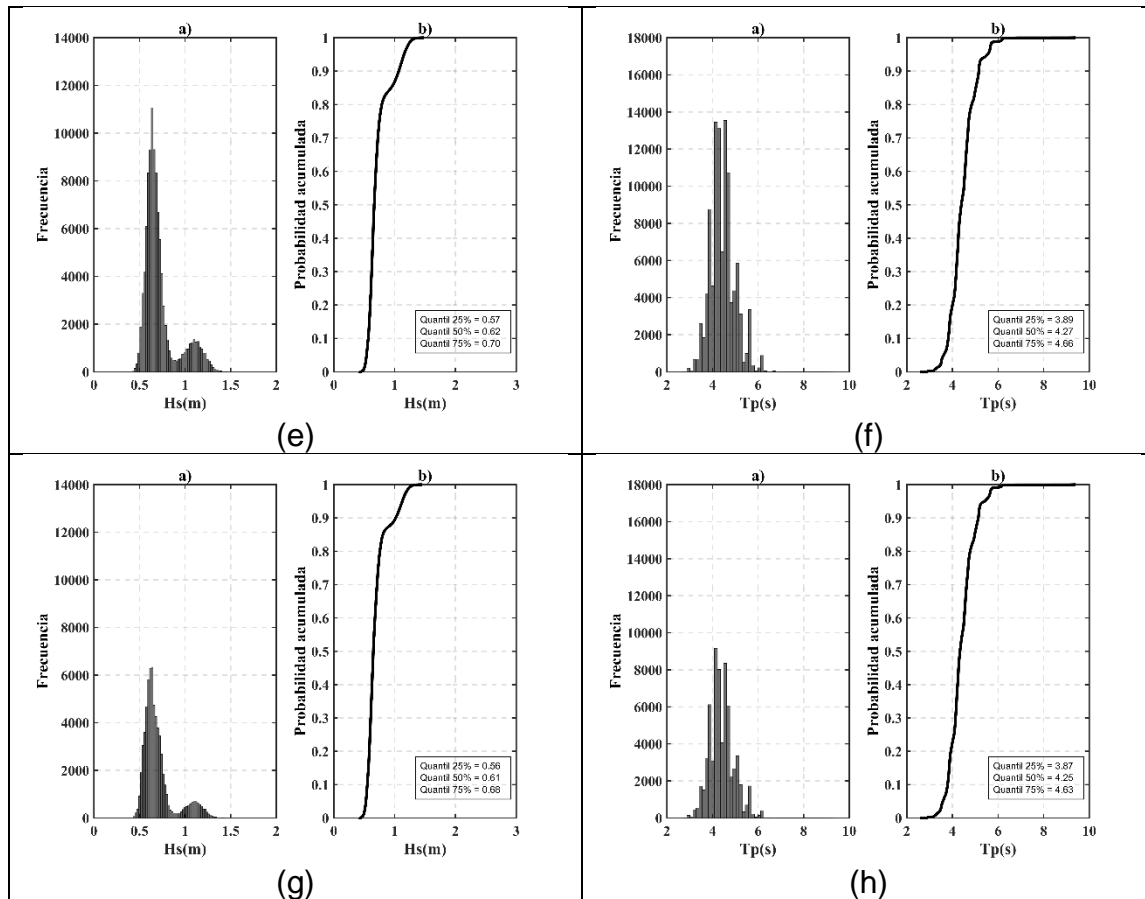
**b) Cálculos DSAS: EPR (Tasa de Punto Final) y NSM (Movimiento Neto de la Costa) de transectos de la línea de costa en playa La Martina.**

<b>Playa La Martina</b>								
Perfil 1	-	Perfil 2	Perfil 2	-	Perfil 3	Perfil 3	-	Perfil 4
<b>Tramo 1</b>			<b>Tramo 2</b>			<b>Tramo 3</b>		
Transecto	EPR (m/año)	NSM (m)	Transecto	EPR (m/año)	NSM (m)	Transecto	EPR (m/año)	NSM (m)
1	-1,0	-5,2	4	0,3	1,6	7	-0,4	-2,2
2	0,2	1,0	5	-0,7	-3,4	8	-1,0	-5,4
3	1,0	5,1	6	-0,5	-0,2	9	-0,7	-3,8

Perfil 4	-	Perfil 5	Perfil 5	-	Perfil 6
<b>Tramo 4</b>			<b>Tramo 5</b>		
Transecto	EPR (m/año)	NSM (m)	Transecto	EPR (m/año)	NSM (m)
10	0,3	1,7	13	0,7	0,3
11	1,2	6,2	14	0,1	0,6
12	-0,4	-2,2	15	-0,4	-2,0
			16	-1,5	-7,8

## Anexo 11. Subcapítulo 1: Resultados – Altura de ola significativa

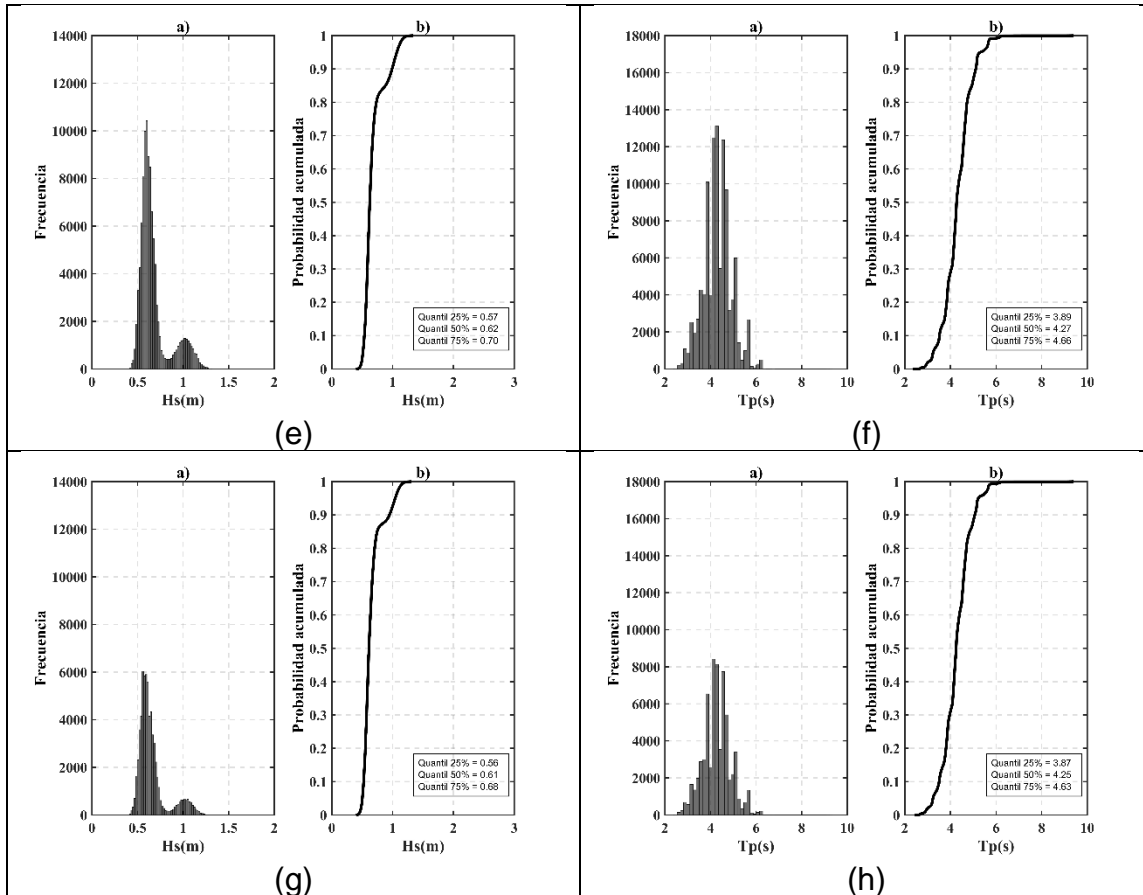
a) **Boya MUNP1: Histograma de frecuencias de Hs; Der) Función de distribución de Tp (e) y (f) época húmeda; (g) y (h) época huracanes.**



b) **Resumen estadístico de la serie de oleaje, variable medida: Hs – (régimen medio).**

Periodo	Dirección	Probabilidad (%)	Hs (5%)	Hs (50%)	Hs (95%)	Hs (99%)
Completo	WSW	0,2	0,6	1,0	1,2	1,3
	W	99,9	0,6	0,7	1,3	<b>1,4</b>
Seca	WSW	0,2	0,7	1,0	1,2	1,3
	W	99,8	0,7	1,0	1,3	<b>1,4</b>
Húmeda	WSW	0,1	0,6	0,6	1,2	1,2
	W	99,9	0,5	0,7	1,2	<b>1,3</b>
Huracanes	WSW	0,1	0,6	1,0	1,2	1,2
	W	99,9	0,5	0,7	1,1	<b>1,2</b>

c) **Boya MUNP8: Histograma de frecuencias de Hs; Der) Función de distribución de Tp. e) y (f) época húmeda; (g) y (h) época huracanes.**

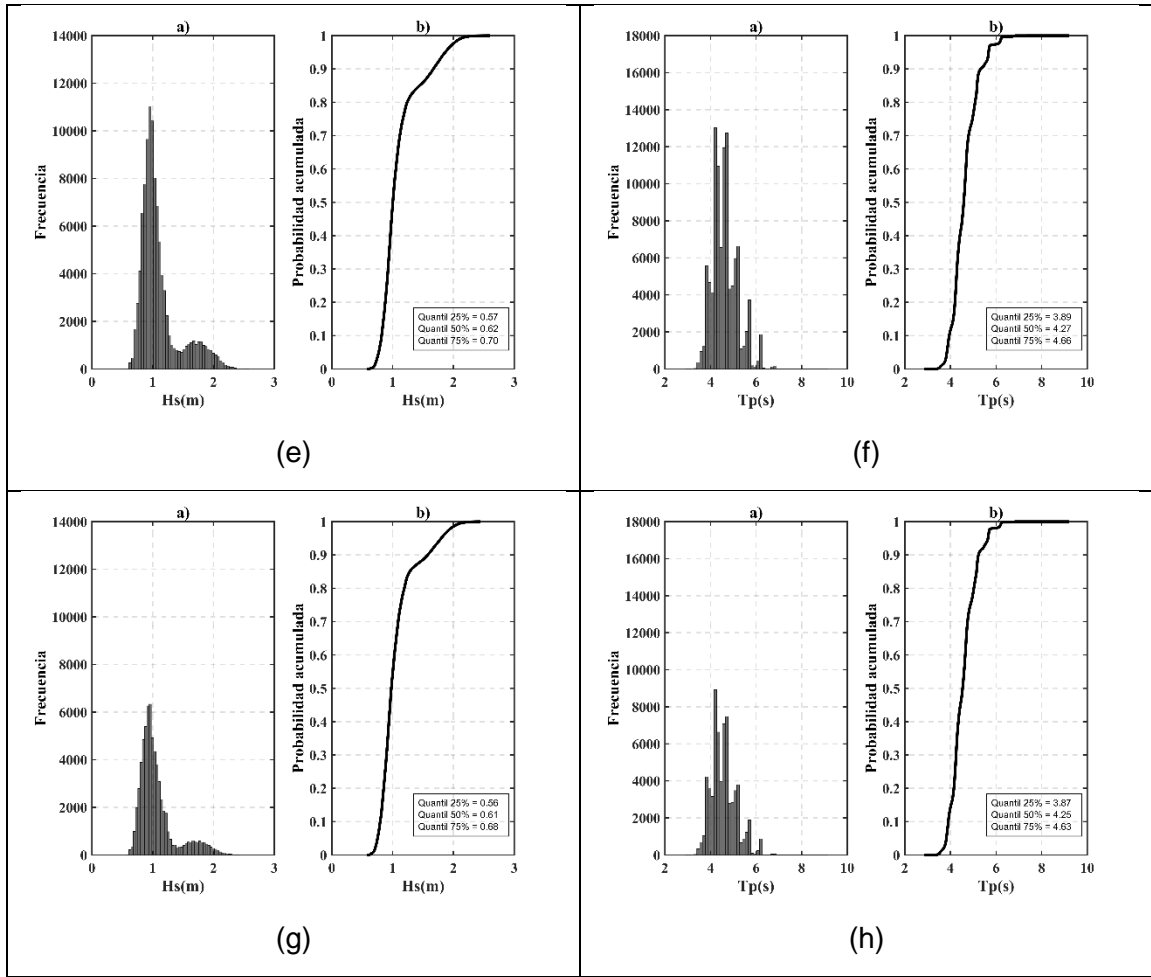


**d) Resumen estadístico de la serie de oleaje, variable medida: Hs – (régimen medio)**

Periodo	Dirección	Probabilidad (%)	Hs (5%)	Hs (50%)	Hs (95%)	Hs (99%)
Completo	WSW	19,4	0,5	0,6	1,1	1,2
	W	80,7	0,5	0,6	1,0	1,1
Seca	WSW	22,5	0,6	1,1	1,3	1,3
	W	77,5	0,6	0,9	1,2	1,3
Húmeda	WSW	20,0	0,5	0,6	1,1	1,2
	W	79,9	0,5	0,6	1,1	1,2
Huracanes	WSW	19,3	0,5	0,6	1,1	1,2
	W	80,7	0,5	0,6	1,0	1,1

**Boya MARP1:**

a) Histograma de frecuencias de Hs; Der) Función de distribución de Tp. e) y (f) época húmeda; (g) y (h) época huracanes.



**b) Resumen estadístico de la serie de oleaje, variable medida: Hs - (régimen medio)**

Periodo	Dirección	Probabilidad (%)	Hs (5%)	Hs (50%)	Hs (95%)	Hs (99%)
Completo	WNW	100	0,80	1,11	2,11	2,3
Seca	WNW	100	1,03	1,63	2,26	2,4
Húmeda	WNW	100	0,77	1,00	1,86	2,1
Huracanes	WNW	100	0,75	0,98	1,80	2,0

**Anexo 11. Subcapítulo 1: Resultados boyta MARP6 – Playa La Martina.**

**Régimen medio**

- **Análisis de los años 1999 – 2016.**

En función de distribución de altura significativa (Hs) se observa que en la boyta MARP6 el cuartil del 50% es igual a 1,10 m, es decir que hay un 50% de olas que superan este valor y otro 50% que no lo superan. La altura de ola que es superada por el 25% de las olas corresponde a las alturas más pequeñas, ya que es superado por un 75% de las alturas y

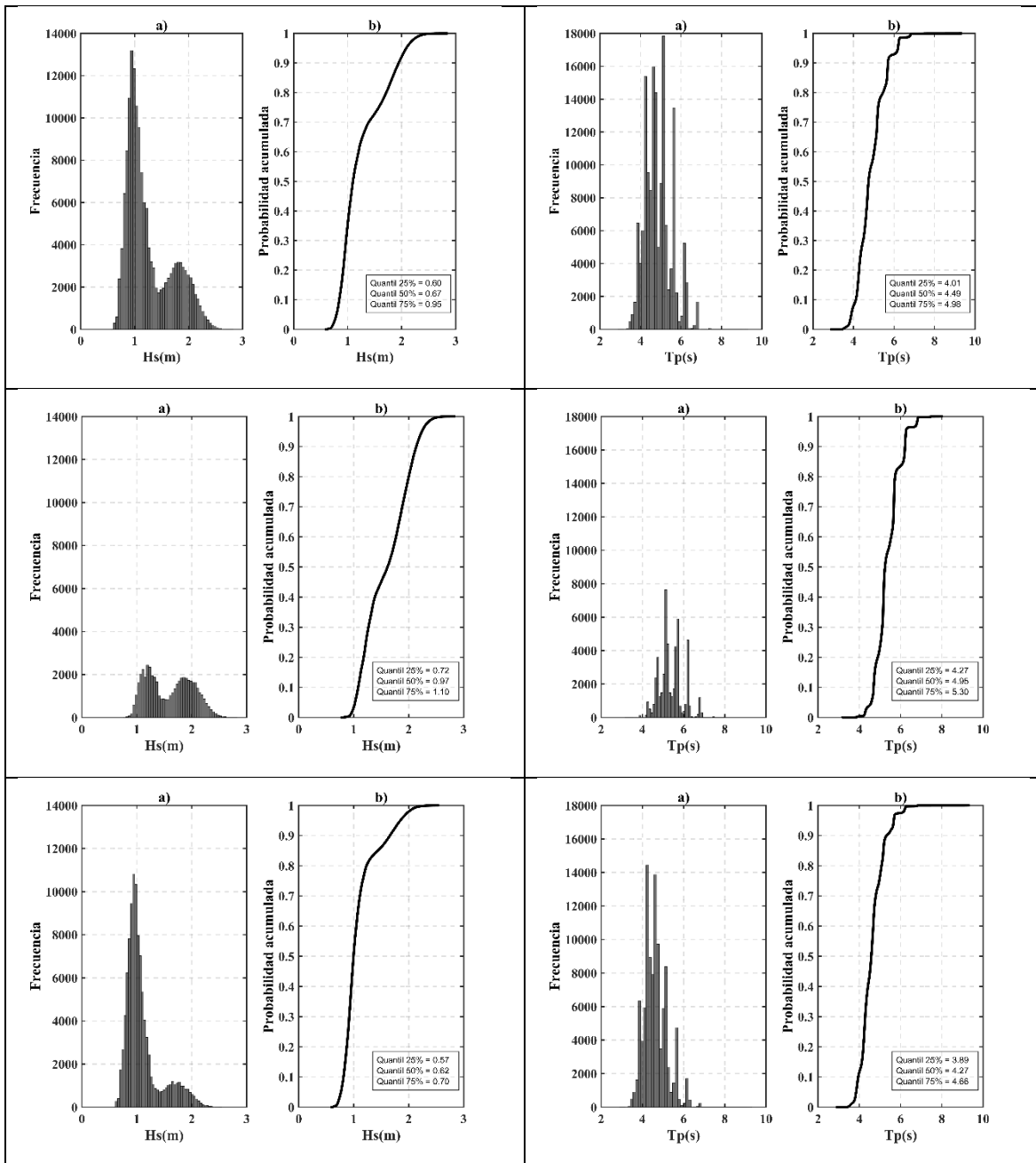
su valor es de 0,94 m, además las alturas de ola que es superado por un 75% corresponde a 1,58 m. En cuanto al período pico, se observan los cuartiles calculados para la boya MARP6, un 75% tiene periodos mayores de 4,35 segundos, los cuales corresponden al cuartil del 25%, el cuartil del 50% corresponde a un periodo de 4,74 segundos y el cuartil de 75% es el periodo de 5,21 segundos.

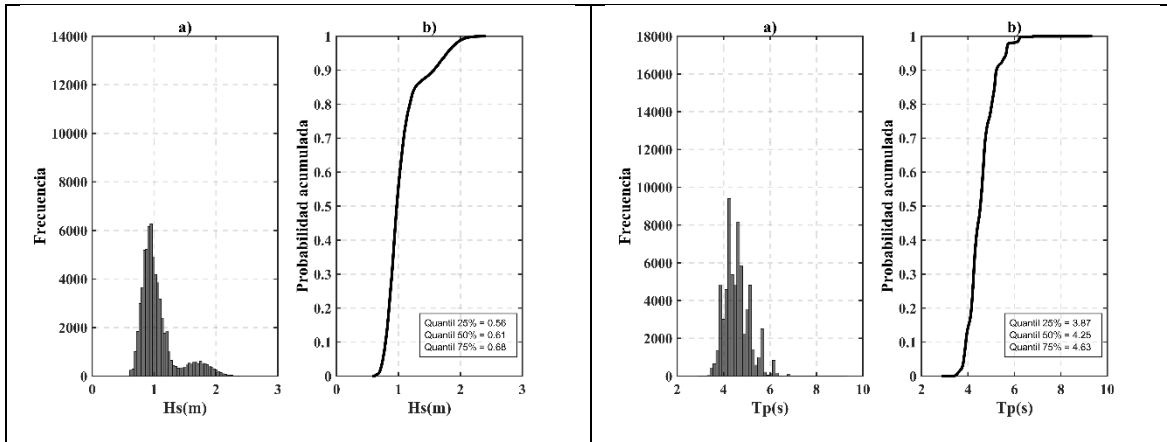
Para la época seca en función de distribución de altura significativa ( $H_s$ ), se observa el valor del cuartil correspondiente al 25%, 50% y 75% de las alturas de olas superadas en la boya, sus valores corresponden a 1,22 m, 1,61 m y 1,94 m respectivamente. En cuanto al período pico, se observan los cuartiles calculados para la boya MARP6, un 75% tiene periodos mayores de 5,04 segundos, los cuales corresponden al cuartil del 25%, el cuartil del 50% corresponde a un periodo de 5,25 segundos y el cuartil de 75% es el periodo de 5,69 segundos.

Para la época húmeda en función de distribución de altura significativa ( $H_s$ ), se observa el valor del cuartil correspondiente al 25%, 50% y 75% de las alturas de olas superadas en la boya, sus valores corresponden a 0,90 m, 1,00 m y 1,16 m respectivamente. En cuanto al período pico, se observan los cuartiles calculados para la boya un 75% tiene periodos mayores de 4,24 segundos, los cuales corresponden al cuartil del 25%, el cuartil del 50% corresponde a un periodo de 4,58 segundos y el cuartil de 75% es el periodo de 4,97 segundos.

Para la temporada de huracanes en función de distribución de altura significativa ( $H_s$ ), se observa el valor del cuartil correspondiente al 25%, 50% y 75% de las alturas de olas superadas en la boya, sus valores corresponden a 0,87 m, 0,97 m y 1,13 m respectivamente. En cuanto al período pico, se observan los cuartiles calculados para la boya MARP6, un 75% tiene periodos mayores de 4,20 segundos, los cuales corresponden al cuartil del 25%, el cuartil del 50% corresponde a un periodo de 4,53 segundos y el cuartil de 75% es el periodo de 4,88 segundos.







Histograma de frecuencias de Hs; b) Función de distribución de Hs. a) Histograma de frecuencias de Tp; b) Función de distribución de Tp.

En la siguiente tabla, se presenta las estadísticas principales con las probabilidades de ocurrencia de las direcciones del oleaje. Se muestra las direcciones de oleaje más probables asociadas a sus respectivas alturas de olas significantes (Hs). Se destaca una probabilidad del 100% para la dirección WNW. Igualmente, para la boya MARP6 se trabajó con las alturas de olas con una probabilidad de ser superadas un 99%, ya que representan un buen estadístico de las condiciones más críticas del régimen medio, dando una altura de ola de 2,31 m para la mayor y única probabilidad.

Para la época seca, se evidencia direcciones de oleaje más probables asociadas a sus respectivas alturas de olas significantes (Hs), con una probabilidad del 100% para la dirección WNW. Además, se calculó las alturas de olas con una probabilidad de ser superadas un 99%, ya que representan un buen estadístico de las condiciones más críticas del régimen medio, dando una altura de ola de 2,42 m.

Del mismo modo, para la época húmeda se muestra las direcciones de oleaje más probables asociadas a sus respectivas alturas de olas significantes (Hs). Así mismo, en la época seca se observa una probabilidad del 100% para la dirección WNW. Además, se calculó las alturas de olas con una probabilidad de ser superadas un 99%, ya que representan un buen estadístico de las condiciones más críticas del régimen medio, dando una altura de ola de 2,08 m.

Por último, para la temporada de huracanes, se muestra las direcciones de oleaje más probables asociadas a sus respectivas alturas de olas significantes (Hs), una probabilidad del 100% para la dirección WNW. Además, se calculó las alturas de olas con una probabilidad de ser superadas un 99%, ya que representan un buen estadístico de las condiciones más críticas del régimen medio, dando una altura de ola de 2,02 m.

Resumen estadístico de la serie de oleaje, variable medida: Hs.

	Dirección	Probabilidad (%)	Hs (5%)	Hs (50%)	Hs (95%)	Hs (99%)
	WNW	100	0,8	1,1	2,1	2,3
	WNW	100	1,0	1,6	2,2	2,4
	WNW	100	0,8	1,0	1,9	2,1
	WNW	100	0,8	1,0	1,8	2,0

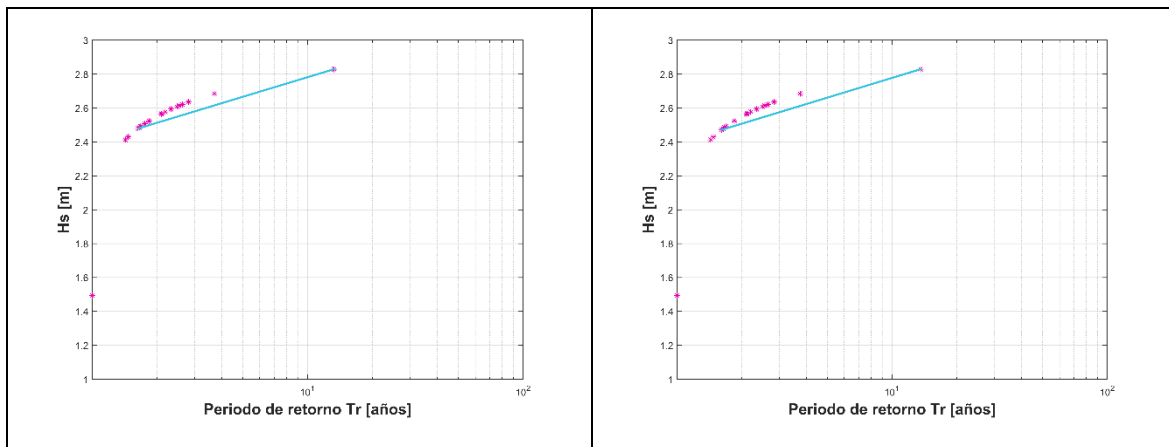
### Régimen extremal

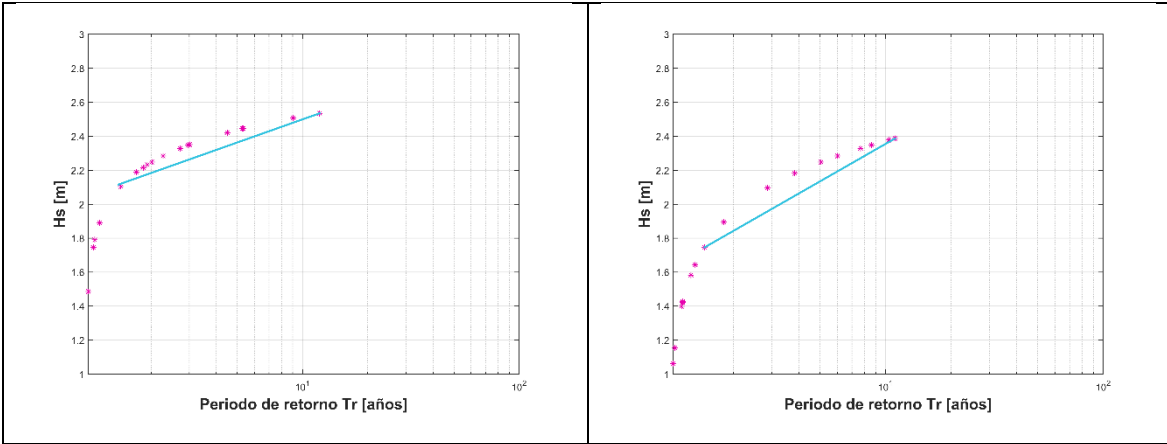
Para determinar el régimen extremal de oleaje de la serie de tiempo correspondiente a la boya MARP6 se utilizó el método de máximos anual. Se dividió la serie temporal en unidades de un año, seleccionando los valores máximos de la altura significativa en el tiempo, logrando obtener una serie continua de valores extremos independientes a lo largo del tiempo. Además, se ajustó los valores extremos a la función de distribución de Gumbel para determinar los periodos de retorno de las alturas de oleaje en la zona de estudio. Por lo tanto, para el régimen extremal del oleaje medido presentan los resultados en papel probabilístico Gumbel de máximos, donde se muestra la altura de oleaje en metros y el periodo de retorno en años. La figura indica que para un periodo de retorno de 2,9 años la altura de ola significativa registraría 2,6 m, mientras que para un periodo de retorno de 13,3 años la altura de oleaje en el mismo punto alcanzaría los 2,8 m.

Para la época seca, la figura indica que para un periodo de retorno de 2,1 años la altura de ola significativa es de 2,6 m, mientras que para un periodo de retorno de 13,5 años la altura de oleaje en el mismo punto alcanzaría los 2,8 m.

En relación con la época húmeda, la figura indica que para un periodo de retorno de 4,4 años la altura de ola significativa es de 2,4 m, mientras que para un periodo de retorno de 11,9 años la altura de oleaje en el mismo punto alcanzaría los 2,5 m.

En la temporada de huracanes, la figura indica que para un periodo de retorno de 1,7 años la altura de ola significativa registraría 1,9 m, mientras que para un periodo de retorno de 11 años la altura de oleaje en el mismo punto alcanzaría los 2,4 m.





Ajuste de la serie de oleaje extremal a la función de distribución de Gumbel.

## Anexo 12. Subcapítulo 1: Resultados – Grado de exposición al oleaje

### a) Grado de exposición al oleaje en playas Urbanas de Turbo.

<b>Playas Urbanas de Turbo</b>							
Perfil 1	Perfil 2	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 4	Perfil 5
<b>Tramo 1</b>		<b>Tramo 2</b>		<b>Tramo 3</b>		<b>Tramo 4</b>	
Obra de protección no rígida (relleno de playa)		Obra de protección no rígida (relleno de playa)		Obra de protección costera rígida y costa natural		Obra de protección costera rígida	
Perfil 5	Perfil 6	Perfil 6		Perfil 7		Perfil 7	Perfil 8
<b>Tramo 5</b>		<b>Tramo 6</b>				<b>Tramo 7</b>	
Obra de protección costera rígida		Obras de protección costera rígida y costa natural.				Obra de protección costera rígida y costa natural.	

### b) Grado de exposición al oleaje en playa la Martina.

<b>Playa La Martina</b>					
Perfil 1	Perfil 2	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 3	Perfil 4
<b>Tramo 1</b>		<b>Tramo 2</b>		<b>Tramo 3</b>	
Obras de protección no rígidas (4) y costa natural.		Costa natural		Costa natural	
Perfil 4		Perfil 5		Perfil 5	Perfil 6
<b>Tramo 4</b>				<b>Tramo 5</b>	
Obras de protección no rígidas, costa natural y drenaje urbano. Predomina la clasificación costa natural a lo largo del tramo.				Costa natural	

## Anexo 13. Subcapítulo 1: Resultados – Perfil estratigráfico

### a) Correlación del SEV – PLAYA DULCE 5

Horizonte	Espesor (m)	Resistividad (Ohm/m).	Profundidad Techo	Profundidad Piso	Correlación Litológica
1	2.5	55	0	2.5	Relleno de grano grueso compacto
2	9.5	4.6	2.5	12	Arenas con agua salobre y arcillas intercaladas.
3	10	0.34	12	22	Arcillas saturadas de agua salobre
4	45	10	22	67 <sup>1</sup>	Arcillas o Arcillas limosas saturadas de agua salobre con posible presencia de bandas de arenas.

### b) Correlación del SEV – PLAYA DULCE

Horizonte	Espesor (m)	Resistividad (Ohm/m).	Profundidad Techo	Profundidad Piso	Correlación Litológica
1	1.3	130	0	1.3	Relleno de material vegetal grueso
2	8	26	2.5	6.7	Arenas con agua salobre. Posiblemente de grano medio o con poca presencia de matriz
3	18	0.3	12	22	Arcillas saturadas de agua salobre
4	45	20.1	22	67*	Arcillas o Arcillas limosas saturadas de agua salobre

### c) Correlación del SEV – BARRIO PESCADOR 2

Horizonte	Espesor (m)	Resistividad (Ohm/m).	Profundidad Techo	Profundidad Base	Correlación litológica
1	1	11.8	0	1	Relleno de grano grueso compacto húmedo
2	6.4	27,7	1	7.4	Arenas con agua salobre. Posiblemente de grano medio o con poca presencia de matriz
3	6.6	0.4	7.4	14	Arcillas saturadas de agua salobre

<sup>1</sup> Valor estimado de profundidad confiable de interpretación

4	36	1.63	14	50*	Arcillas o Arcillas limosas saturadas de agua salobre
---	----	------	----	-----	---

**a) Correlación del SEV – BARRIO PESCADOR 8**

Horizonte	Espesor (m)	Resistividad (Ohm/m).	Profundidad Techo	Profundidad Base	Correlación litológica
1	0.8	6.21	0	0.8	Arcillas típicas de suelo saturado
2	7.2	17.5	0.8	8	Arenas con agua salobre. Posiblemente de grano fino o con moderada cantidad de matriz
3	17	1.04	8	17	Arcillas saturadas de agua salobre
4	33	1.51	17	50*	Arcillas o Arcillas limosas saturadas de agua salobre

**b) Correlación del SEV – PLAYA DULCE 9**

Horizonte	Espesor (m)	Resistividad (Ohm/m).	Profundidad Techo	Profundidad Base	Correlación litológica
1	2.5	3.93	0	2.5	Arcillas típicas de suelo saturado
2	2.5	16.9	2.5	5	Arenas con agua salobre. Posiblemente de grano fino o con moderada cantidad de matriz
3	23	0.51	5	23	Arcillas saturadas de agua salobre
4	42	5.53	23	65	Arcillas o Arcillas limosas saturadas de agua salobre, unas leves cantidades de materiales gruesos mezclados (probablemente arenas finas)

**c) Correlación del SEV – PLAYA DULCE 10**

Horizonte	Espesor (m)	Resistividad (Ohm/m).	Profundidad Techo	Profundidad Base	Correlación litológica
1	2.5	8.45	0	2.5	Relleno de grano grueso compacto húmedo
2	15.5	0.92	2.5	18	Arcillas saturadas de agua salobre
3	49.5	2.1	18	65	Arcillas o Arcillas limosas saturadas de

					agua salobre, unas leves cantidades de materiales gruesos mezclados (probablemente arenas finas)
--	--	--	--	--	--

**d) Correlación del SEV – MARTINA 1**

Horizonte	Espesor (m)	Resistividad (Ohm/m).	Profundidad Techo	Profundidad Base	Correlación litológica
1	3.3	25.4	0	3.3	Arenas con agua salobre. Posiblemente de grano medio o con poca presencia de matriz
2	7.2	5.34	3.3	10.5	Arcillas saturadas de agua salobre con una pequeña proporción mezclada de arenas, como pequeñas bandas de arenas o materia orgánica
3	26	0.6	10.5	36.5	Arcillas saturadas de agua salobre
4	30.5	2.31	36.5	67	Arcillas saturadas de agua salobre con presencia de limos.

**e) Correlación del SEV – MARTINA 4**

Horizonte	Espesor (m)	Resistividad (Ohm/m).	Profundidad Techo	Profundidad Base	Correlación litológica
1	0.4	4.52	0	0.4	Arcillas típicas de suelo incipiente saturado
2	0.9	13.5	0.4	1.3	Arenas con agua salobre. Posiblemente de grano fino o con buena presencia de matriz
3	1.4	0.8	1.3	2.7	Arcillas saturadas de agua salobre
4	3	5.55	2.7	5.7	Arcillas saturadas de agua salobre con una pequeña proporción mezclada de arenas, como pequeñas bandas de arenas o materia orgánica



5	77.3	1.67	5.7	83	Arcillas o Arcillas Limosas saturadas de agua salobre
---	------	------	-----	----	---

## Anexo 14. Subcapítulo 1: Resultados – Ancho de playa

### a) Ancho de playa en playas Urbanas de Turbo.

Perfil 1	Perfil 2	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 3	Perfil 4
<i>Tramo 1</i>		<i>Tramo 2</i>		<i>Tramo 3</i>	
Transecto	Longitud (m)	Transecto	Longitud (m)	Transecto	Longitud (m)
T P1	67,8	T P2	108,8	T P3	32,3
T1	76,0	T1	87,2	T1	30,2
T2	78,4	T2	73,7	T2	31,1
T3	105,6	T3	67,5	T3	27,1
T4	98,1	T4	55,7	T4	25,8
T5	91,1	T5	50,4	T5	4,0
T6	85,9	T6	41,9	T6	4,4
T7	125,2	T7	38,1		
Promedio	91,0		65,4		22,1

### b) Ancho de playa en playa La Martina.

Perfil 1	Perfil 2	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 5	Perfil 6
<i>Tramo 1</i>		<i>Tramo 2</i>		<i>Tramo 3</i>		<i>Tramo 4</i>		<i>Tramo 5</i>	
Transecto	Longitud (m)	Transecto	Longitud (m)	Transecto	Longitud (m)	Transecto	Longitud (m)	Transecto	Longitud (m)
T A P1	28,9	T P2	57,5	T P3	16,4	T P4	31,5	T P5	38,6
T P1	31,3	T1	56,5	T1	15,1	T1	34,9	T1	38,6
T1	53,5	T2	55,8	T2	20,3	T2	43,0	T2	17,7
T2	34,2	T3	13,9	T3	32,7	T3	26,8	T3	31,7
T3	40,2	T4	41,2	T4	24,0	T4	12,2	T4	34,0
T4	42,0	T5	21,3	T5	27,4	T5	11,5	T5	32,7
T5	37,8	T6	12,9			T6	25,4	T6	9,3
T6	35,7	T7	7,4			T7	36,6	T7	7,3
T7	37,3	T8	11,9					T P6	18,4
T8	31,6							T D P6	25,3
Promedio	38,2		30,9		22,7		27,8		25,4

## Anexo 15. Subcapítulo 2: Desarrollo metodológico – Uso del suelo

### Clasificación de cobertura Corine Land Cover.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	
1. Territorios artificializados	1.1. Zonas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo	
	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.1. Zonas industriales o comerciales	
		1.2.2. Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	
		1.2.3. Zonas portuarias	
		1.2.4. Aeropuertos	
		1.2.5. Obras hidráulicas	
	1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	1.3.1. Zonas de extracción minera	
		1.3.2. Zona de disposición de residuos	
	1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4.1. Zonas verdes urbanas	
		1.4.2. Instalaciones recreativas	
	2. Territorios agrícolas	2.1 Cultivos transitorios	2.1.1 Otros cultivos anuales o transitorios
			2.1.2 Cereales
2.1.3 Oleaginosas y leguminosas			
2.1.4 Hortalizas			
2.1.5 Tubérculos			
2.2 Cultivos permanentes		2.2.1 Cultivos permanentes herbáceos	
		2.2.2 Cultivos permanentes arbustivos	
		2.2.3 Cultivos permanentes arbóreos	
		2.2.4 Cultivos agroforestales	
		2.2.5 Cultivos confinados	
		2.2.6 Cacao	
		2.2.7 Palma africana	
		2.2.8 Frutales	
		2.2.9 Cultivos confinados	
2.3 Pastos		2.3.1 Pastos limpios	
		2.3.2 Pastos arbolados	
		2.3.3 Pastos enmalezados o enrastrajados	
2.4 Áreas agrícolas heterogéneas		2.4.1 Mosaico de cultivos	
		2.4.2 Mosaico de pastos y cultivos	
		2.4.3 Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	
		2.4.4 Mosaico de pastos con espacios naturales	
		2.4.5 Mosaico de cultivos y espacios naturales	

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
3. Bosques y áreas seminaturales	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso
		3.1.2. Bosque abierto
		3.1.3. Bosque de fragmentado
		3.1.4 Bosque de galería y/o ripario
		3.1.5 Bosque forestal
	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1 Herbazal denso
		3.2.2 Herbazal denso
		3.2.3 Vegetación secundaria o en transición.
	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.1 Zonas arenosas naturales
		3.3.2 Afloramientos rocosos
		3.3.3 Tierras desnudas o degradadas
		3.3.4 Zonas quemadas
		3.3.5 Zonas glaciares y nivales

**Fuente:** Clasificación de cobertura. Tomado de: metodología por Corine Land Cover, 2020.

## Anexo 16. Subcapítulo 2: Desarrollo metodológico – Uso del suelo

### Clasificación de usos del suelo según el POT.

<b>USOS DEL SUELO – POT TURBO</b>	
<b>Urbano</b>	<b>Rural</b>
Actividad comercial	Agrosilvícola
Eje de Actividad Múltiple	Centro Poblado
Industrial y Cabotaje	Consejo Comunitario
Institucional - Religioso	Conservación y recuperación de Ecosistemas
Institucional Deportivo y Recreativo	Cultivos transitorios intensivos
Institucional Educativo	Cultivos transitorios semintensivos
Institucional y de servicios	Industrial
Protección y recuperación ecológica	Resguardo Indígena
Reserva histórica	Suelo Suburbano
Residencial	Usos según Unidad Ambiental Costera
Residencial y de servicios (Suelo de Expansión)	Zona Urbana
Residencial y de servicios (Suelo Urbano)	Zona de Expansión
Transporte Fluvial y marítimo	
Uso Turístico	

**Fuente:** Clasificación de usos de suelo. Tomado: POT de Turbo, 2020.

## Anexo 17. Subcapítulo 2: Desarrollo metodológico – Zonificación

### Zonificación de uso del suelo por la UAC.

<b>ZONIFICACIÓN UNIDAD AMBIENTAL COSTERA DEL DARIÉN – UAC DARIÉN</b>		
<b>Categorías</b>	<b>Zonas de uso y manejo</b>	<b>Subzonas de uso y manejo</b>
<b>Conservación y protección ambiental</b>	Áreas de protección	Áreas de importancia Ambiental
	Áreas de restauración	Áreas de restauración ecológica
	Áreas protegidas	áreas del SINAP
<b>Uso múltiple</b>	Áreas de restauración	Áreas de recuperación
	Áreas para actividades marítimas	Áreas para actividades marítimas
	Áreas para la producción agrícola, ganadera y de uso sostenible de los recursos naturales	Agrícolas
		Forestal
		Pesquera artesanal
		Pesquera industrial
	Agrosilvopastoriles	
Áreas urbanizadas consolidadas	Urbana municipales y distritales	

Fuente: POMIUAC Darién – 2018.

**Anexo 18. Subcapítulo 2: Variables que representan la vulnerabilidad ante las amenazas.**

<b>Tipo de amenaza</b>	<b>Variable</b>
Erosión	Uso del suelo
	Índice K – estructuras
	Porcentaje de área desarrollada (%)
	Infraestructura de servicios (%)
	Cobertura socioeconómica
	Patrimonio histórico artístico
Inundación	Uso del suelo
	Índice K – estructuras
	Porcentaje de área desarrollada (%)
	Infraestructura de servicios (%)
	Cobertura socioeconómica
	Patrimonio histórico artístico
Salinización de acuíferos	Nivel estático (m)
	Tipo de acuífero
	Espesor del acuífero (m)
	Índice de calidad de agua [Cl/HCO <sub>3</sub> ] (meq/l)
Pérdida de ecosistemas estratégicos	Zonificación
	Cobertura ecológica
	Sitios prioritarios

**Anexo 19. Subcapítulo 2: Fotografías de la medición en campo de las variables de vulnerabilidad.**





**Anexo 20. Clasificación de variables que representan la vulnerabilidad ante las amenazas.**

Tipo de amenaza	Variable	Rango de valores				
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
		1	2	3	4	5
Erosión	Uso del suelo	Protección y Recuperación Ecológica, Conservación y recuperación de Ecosistemas, Usos según Unidad Ambiental Costera	Transporte Fluvial y marítimo, Reserva Histórica, Zona Expansión, Suelo Suburbano.	Agrosilvícola, Cultivos transitorios intensivos, Cultivos transitorios semiintensivos,	Institucional de Servicios, Institucional al Educativo, Institucional al Deportivo y Recreativo, Institucional – Religioso.	Residencial, Servicios, Turístico, Actividad Comercial, Industrial, Cabotaje, Centro Poblado, Resguardo Indígena, Zona Urbana, Consejo Comunitario, Eje de Actividad Múltiple.
	Índice K – estructuras	No estructuras (K = 0)	Mínimo (K = 0,0001-0,1)	Promedio (K=0,11 - 0,5)	Máximo (K=0,51 - 1)	Extremo (K mayor de 1)
	Porcentaje de área desarrollada	Desarrollo menor del 20 %	Desarrollo entre 20-40%	Desarrollo entre 40-60%	Desarrollo entre 60-80%	Desarrollo mayor al 80 %
	Infraestructura de servicios	Desarrollo menor del 20 %	Desarrollo entre 20-40%	Desarrollo entre 40-60%	Desarrollo entre 60-80%	Desarrollo mayor al 80 %
	Cobertura socioeconómica	Bosques y áreas seminaturales: Bosques, Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	x	Territorios agrícolas: Cultivos transitorios, Cultivos permanentes, Pastos, Áreas agrícolas heterogéneas.	x	Territorios artificializados: Zonas urbanizadas, Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación, Zonas de extracción minera y escombreras, Zonas verdes artificializadas, no agrícolas.
	Patrimonio histórico artístico	No presente	x	x	x	Bienes del patrimonio y sitios del patrimonio

Tipo de amenaza	Variable	Rango de valores				
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
		1	2	3	4	5
						histórico nacional. Bienes del patrimonio y culturales de carácter departamental, bienes del patrimonio y culturales de carácter distrital. Comunidades indígenas, minorías, ROM, negras, afrocolombianas, raizales y palenqueras.
Inundación	Uso del suelo	Protección y Recuperación Ecológica, Conservación y recuperación de Ecosistemas, Usos según Unidad Ambiental Costera	Transporte Fluvial y marítimo, Reserva Histórica, Zona Expansión, Suelo Suburbano.	Agrosilvícola, Cultivos transitorios intensivos, Cultivos transitorios semiintensivos,	Institucional de Servicios, Institucional Educativo, Institucional Deportivo y Recreativo, Institucional – Religioso.	Residencial, Servicios, Turístico, Actividad Comercial, Industrial, Cabotaje, Centro Poblado, Resguardo Indígena, Zona Urbana, Consejo Comunitario, Eje de Actividad Múltiple.
	Índice K – estructuras	No estructuras (K = 0)	Mínimo (K = 0,0001-0,1)	Promedio (K=0,11 - 0,5)	Máximo (K=0,51 - 1)	Extremo (K mayor de 1)
	Porcentaje de área desarrollada	Desarrollo menor del 20 %	Desarrollo entre 20-40%	Desarrollo entre 40-60%	Desarrollo entre 60-80%	Desarrollo mayor al 80 %
	Infraestructura de servicios	Desarrollo menor del 20 %	Desarrollo entre 20-40%	Desarrollo entre 40-60%	Desarrollo entre 60-80%	Desarrollo mayor al 80 %
		Bosques y áreas	x	Territorios agrícolas:	x	

Tipo de amenaza	Variable	Rango de valores				
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
		1	2	3	4	5
	Cobertura socioeconómica	seminaturales: Bosques, Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, Áreas abiertas, sin o con poca vegetación		Cultivos transitorios, Cultivos permanentes, Pastos, Áreas agrícolas heterogéneas.		Territorios artificializados: Zonas urbanizadas, Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación, Zonas de extracción minera y escombreras, Zonas verdes artificializadas, no agrícolas.
	Patrimonio histórico artístico	No presente	x	x	x	Bienes del patrimonio y sitios del patrimonio histórico nacional. Bienes del patrimonio y culturales de carácter departamental, bienes del patrimonio y culturales de carácter distrital. Comunidades indígenas, minorías, ROM, negras, afrocolombianas, raizales y palenqueras.
Salinización de acuíferos	Nivel estático	0 – 10	>10 - 20	x	>20 - 30	>30 - 40
	Tipo de acuífero	Confinado	x	Semiconfinado	x	Libre
	Espesor del acuífero (m)	0	>0 - 74.5	>74.5 - 149	> 149 - 223.5	>223.5 - 298

Tipo de amenaza	Variable	Rango de valores				
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
		1	2	3	4	5
	Indicador de calidad de agua [Cl/HCO3]	Menor o igual 0,5	Mayor a 0,5 y menor o igual a 1,5	Mayor a 1,5 y menor o igual a 3	Mayor a 3 y menor o igual 5	Mayor a 5
Pérdida de ecosistemas estratégicos	Zonificación	Urbanas municipales y distritales.	Agrícolas, agrosilvopastoriles, forestal, pesquera industrial, pesquera artesanal	Áreas de restauración ecológica. Áreas de recuperación, Agrícolas, agrosilvopastoriles, forestal, pesquera industrial, pesquera artesanal, Urbana municipales y distritales.	Áreas de recuperación	Áreas del SINAP, áreas de importancia ambiental, áreas de restauración ecológica.
	Cobertura ecológica	Territorios artificializados: Zonas urbanizadas, Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación, Zonas de extracción minera y escombreras, Zonas verdes artificializadas, no agrícolas.	x	Territorios agrícolas: Cultivos transitorios, Cultivos permanentes, Pastos, Áreas agrícolas heterogéneas.	x	Bosques y áreas seminaturales: Bosques, Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
	Sitios prioritarios	No Presente	x	x	x	Distrito nacional y/o regional de manejo integrado, distritos de conservación

Tipo de amenaza	Variable	Rango de valores				
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
		1	2	3	4	5
						de suelos, parques naturales nacionales o regionales, reserva natural, reserva natural de la sociedad civil, reservas forestales protectoras nacionales o regionales, santuario de fauna, santuario de fauna y flora, santuario de flora, vía parque, área natural única, área de recreación.

**Anexo 21. Subcapítulo 2: Resultados – Uso del suelo**

**a) Usos del suelo en Playas Urbanas de Turbo.**

P1	P2	P2	P3	P3	P4		
<b>Tramo 1</b>		<b>Tramo 2</b>		<b>Tramo 3</b>			
Usos según UAC		Turístico y centro poblado.		Turístico y centro poblado.			
P4	P5	P5	P6	P6	P7	P7	P8
<b>Tramo 4</b>		<b>Tramo 5</b>		<b>Tramo 6</b>		<b>Tramo 7</b>	
Turístico y centro poblado.		Turístico y centro poblado.		Turístico y centro poblado.		Turístico y centro poblado.	

**b) Usos del suelo en Playas Urbanas de Turbo.**

<b>Playa La Martina</b>					
P1		P2		P3	
<b>Tramo 1</b>			<b>Tramo 2</b>		
Usos según UAC			Usos según UAC.		
P3	P4	P4	P5	P5	P6
<b>Tramo 3</b>		<b>Tramo 4</b>		<b>Tramo 5</b>	
Usos según UAC.		Usos según UAC		Usos según UAC	

## Anexo 22. Subcapítulo 2: Resultados – Cobertura socioeconómica

### a) Cobertura socioeconómica Playas Urbanas

<b>Playas Urbanas de Turbo</b>							
P1		P2		P2	P3	P3	P4
<b>Tramo 1</b>				<b>Tramo 2</b>		<b>Tramo 3</b>	
Zonas comerciales e instalaciones recreativas, mosaicos de pastos, arbustos y matorrales				Zonas comerciales e instalaciones recreativas		Zonas comerciales e instalaciones recreativas, obras hidráulicas, bosque de mangle y mosaico de pastos	
P4	P5	P5	P6	P6	P7	P7	P8
<b>Tramo 4</b>		<b>Tramo 5</b>		<b>Tramo 6</b>		<b>Tramo 7</b>	
Tejido urbano, obras hidráulicas, bosque de mangle		Instalaciones recreativas, zonas comerciales, tejido urbano, obras hidráulicas, bosque de mangle, mosaico de pastos		Instalaciones recreativas, zonas comerciales, tejido urbano, obras hidráulicas y mosaico de pastos		Instalaciones recreativas, zonas comerciales, tejido urbano y obras hidráulicas	

### b) Cobertura socioeconómica Playas La Martina

<b>Playa La Martina</b>					
P1		P2		P2	P3
<b>Tramo 1</b>			<b>Tramo 2</b>		
Instalaciones recreativas y zonas comerciales, pastos arbolados, arbustos y matorrales.			Instalaciones recreativas, zonas comerciales y tejido urbano, pastos arbolados, arbustos y matorrales.		
P3	P4	P4	P5	P5	P6
<b>Tramo 3</b>		<b>Tramo 4</b>		<b>Tramo 5</b>	
Instalaciones recreativas y zonas comerciales, pastos arbolados, arbustos y matorrales.		Instalaciones recreativas, zonas comerciales y tejido urbano, mosaico de pastos, pastos arbolados, arbustos y matorrales.		Instalaciones recreativas, zonas comerciales y tejido urbano, marisma, mosaico de pastos, pastos arbolados, arbustos y matorrales.	

**Anexo 23. Subcapítulo 2: Resultados – Índice K – Estructuras**

**a) Índice K – Playas Urbanas.**

<b>Playas Urbanas de Turbo</b>							
		P1	P2	P2	P3	P3	P4
		<b>Tramo 1</b>		<b>Tramo 2</b>		<b>Tramo 3</b>	
		0		0		0.6	
P4	P5	P5	P6	P6	P7	P7	P8
<b>Tramo 4</b>		<b>Tramo 5</b>		<b>Tramo 6</b>		<b>Tramo 7</b>	
1.31		1.3		1.1		0.9	

**b) Índice K – Playa la Martina.**

<b>Playa La Martina</b>					
P1		P2		P3	
<b>Tramo 1</b>			<b>Tramo 2</b>		
0,1			0		
P3	P4	P4	P5	P5	P6
<b>Tramo 3</b>		<b>Tramo 4</b>		<b>Tramo 5</b>	
0		0		0	



**Anexo 24. Subcapítulo 2: Resultados – Porcentaje de área desarrollada**

**a) Porcentaje de área desarrollada Playas Urbanas.**

<b>Playas Urbanas de Turbo</b>							
		P1	P2	P2	P3	P3	P4
		<b>Tramo 1</b>		<b>Tramo 2</b>		<b>Tramo 3</b>	
		45.6		64.1		63.0	
P4	P5	P5	P6	P6	P7	P7	P8
<b>Tramo 4</b>		<b>Tramo 5</b>		<b>Tramo 6</b>		<b>Tramo 7</b>	
46.9		52.7		37.8		18.6	

**b) Porcentaje de área desarrollada Playa La Martina.**

<b>Playa La Martina</b>					
		P1	P2	P2	P3
		<b>Tramo 1</b>		<b>Tramo 2</b>	
		22.0		5.5	
P3	P4	P4	P5	P5	P6
<b>Tramo 3</b>		<b>Tramo 4</b>		<b>Tramo 5</b>	
6.5		14.1		27.6	

**Anexo 25. Subcapítulo 2: Resultados – Patrimonio histórico artístico**

**Patrimonio histórico Playas Urbanas.**

<b>Playas Urbanas de Turbo</b>							
		P1	P2	P2	P3	P3	P4
		<b>Tramo 1</b>		<b>Tramo 2</b>		<b>Tramo 3</b>	
		No presente		Bienes del patrimonio y culturales de carácter distrital.		No presente	
P4	P5	P5	P6	P6	P7	P7	P8
<b>Tramo 4</b>		<b>Tramo 5</b>		<b>Tramo 6</b>		<b>Tramo 7</b>	
No presente		No presente		No presente		Bienes del patrimonio y culturales de carácter distrital.	

## Anexo 26. Subcapítulo 2: Resultados – Cobertura ecológica

### a) Cobertura ecológica Playas Urbanas.

Playas Urbanas de Turbo							
P1	P2		P2	P3	P3	P4	
<b>Tramo 1</b>				<b>Tramo 2</b>		<b>Tramo 3</b>	
Zonas comerciales e instalaciones recreativas, arbustos y matorrales, mosaico de pastos.				Zonas comerciales e instalaciones recreativas.		Zonas comerciales e instalaciones recreativas, mosaico de pastos y bosque de mangle.	
P4	P5	P5	P6	P6	P7	P7	P8
<b>Tramo 4</b>		<b>Tramo 5</b>		<b>Tramo 6</b>		<b>Tramo 7</b>	
Tejido urbano, bosque de mangle.		Instalaciones recreativas, zonas comerciales, tejido urbano, mosaico de pastos, bosque de mangle.		Instalaciones recreativas, zonas comerciales, tejido urbano y mosaico de pastos.		Instalaciones recreativas, zonas comerciales y tejido urbano.	

### b) Cobertura ecológica La Martina.

Playa La Martina					
		P1	P2	P2	P3
		<b>Tramo 1</b>		<b>Tramo 2</b>	
		Mosaico de pastos, pastos arbolados, arbustos y matorrales, zonas comerciales e instalaciones recreativas.		Pastos arbolados, arbustos y matorrales, instalaciones recreativas, zonas comerciales y tejido urbano.	
P3	P4	P4	P5	P5	P6
<b>Tramo 3</b>		<b>Tramo 4</b>		<b>Tramo 5</b>	
Pastos arbolados, arbustos y matorrales, instalaciones recreativas y zonas comerciales.		Mosaico de pastos, pastos arbolados, arbustos y matorrales, instalaciones recreativas, zonas comerciales, zona de disposición de residuos y tejido urbano.		Marisma, bosque de mangle, mosaico de pastos, pastos arbolados, arbustos y matorrales, tejido urbano.	

## Anexo 27. Subcapítulo 3: Ponderación de variables

### a) Valoración cualitativa y ponderación de variables. Playa la Martina.

Variable analizar	Factor	P	P	VP	P	P	VP	P	P	VP	P	P	VP	P	P	VP
		1	2		2	3		3	4		4	5		6		
		Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3		Tramo 4		Tramo 5						
Geomorfología	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
Pendiente de playa frontal (%)	0.8	3	2.4	3	2.4	2	1.6	2	1.6	2	1.6	2	1.6			
Rango mareal (m)	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6			
Evolución de la línea de costa (m/año)	1	3	3	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4			
Variación del nivel del mar (mm/año)	0.6	4	2.4	4	2.4	4	2.4	4	2.4	4	2.4	4	2.4			
Altura de ola significativa (Hs) (m)	0.6	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3			
Grado de exposición al oleaje	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
Litología	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5			
Perfil estratigráfico	0.8	2	1.6	2	1.6	2	1.6	1	0.8	1	0.8	1	0.8			
Conductividad hidráulica (m/día)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Distancia de la línea de costa (m)	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5			
Ancho de la playa (m)	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
Uso del suelo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Índice K – estructuras	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Porcentaje de área desarrollada	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2			
Infraestructura de servicios	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
Cobertura socioeconómica	1	5	5	5	5	2	2	5	5	5	5	5	5			
Patrimonio histórico artístico	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6			
Nivel estético	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8			
Tipo de acuífero	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
Espesor del acuífero	0.6	4	2.4	4	2.4	4	2.4	4	2.4	4	2.4	4	2.4			
Indicador de calidad de agua	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6			
Zonificación	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
Cobertura ecológica	1	1	1	1	1	4	4	1	1	1	1	1	1			
Sitios prioritarios	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8			

**b) Valoración cualitativa y ponderación de variables. Playas Urbanas de Turbo.**

Variable analizar	Fa cto r	P 1	P 2	V P	P 2	P 3	V P	P 3	P 4	V P	P 4	P 5	V P	P 5	P 6	V P	P 6	P 7	V P	P 7	P 8	V P
		Tram o 1			Tram o 2			Tram o 3			Tram o 4			Tram o 5			Tram o 6			Tram o 7		
Geomorfología	1	4		4	4		4	4		4	3		3	3		3	3		3	3		3
Pendiente de playa frontal (%)	0.8	3		2.4	3		2.4	2		1.6	5		4	5		4	5		4	5		4
Rango mareal (m)	0.6	1		0.6	1		0.6	1		0.6	1		0.6	1		0.6	1		0.6	1		0.6
Evolución de la línea de costa (m/año)	1	3		3	2		2	3		3	4		4	3		3	3		3	3		3
Variación del nivel del mar (mm/año)	0.6	3		1.8	3		1.8	3		1.8	3		1.8	3		1.8	3		1.8	3		1.8
Altura de ola significativa (Hs) (m)	0.6	3		1.8	3		1.8	3		1.8	3		1.8	3		1.8	3		1.8	3		1.8
Grado de exposición al oleaje	1	2		2	2		2	3		3	1		1	1		1	1		1	1		1
Litología	1	5		5	5		5	5		5	5		5	5		5	5		5	5		5
Perfil estratigráfico	0.8	1		0.8	1		0.8	2		1.6	2		1.6	2		1.6	2		1.6	2		1.6
Conductividad hidráulica (m/día)	1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1
Distancia de la línea de costa (m)	1	5		5	5		5	5		5	5		5	5		5	5		5	5		5
Evolución de la línea de costa (m/año)	1	3		3	2		2	3		3	4		4	3		3	3		3	3		3
Ancho de la playa (m)	1	2		2	2		2	3		3	5		5	5		5	5		5	5		5
Uso del suelo	1	1		1	5		5	5		5	5		5	5		5	5		5	5		5
Índice K – estructuras	1	1		1	1		1	4		4	5		5	5		5	5		5	4		4
Porcentaje de	1	3		3	4		4	4		4	3		3	3		3	2		2	1		1

Variable analizar	Factor	P 1	P 2	V P	P 2	P 3	V P	P 3	P 4	V P	P 4	P 5	V P	P 5	P 6	V P	P 6	P 7	V P	P 7	P 8	V P	
		Tramo 1			Tramo 2			Tramo 3			Tramo 4			Tramo 5			Tramo 6			Tramo 7			
área desarrollada																							
Infraestructura de servicios	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Cobertura socioeconómica	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Patrimonio histórico artístico	0.6	1	0.6	5	3	1	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	5	3				
Nivel estático	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8
Tipo de acuífero	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Espesor del acuífero	0.6	2	1.2	2	1.2	2	1.2	2	1.2	2	1.2	2	1.2	2	1.2	2	1.2	2	1.2	2	1.2	2	1.2
Indicador de calidad de agua	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6	1	0.6
Zonificación	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cobertura ecológica	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sitios prioritarios	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8	1	0.8