

**PROPUESTA DE INSTRUMENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE
DATOS EN CAMPO PARA EL MONITOREO DE OBRAS DE
PROTECCIÓN COSTERA ESTRUCTURALES EN EL SECTOR TURBO
- ARBOLETES, ANTIOQUIA (CARIBE COLOMBIANO)**

**Autor
Stefania Grisales Loaiza**

**Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería (Escuela Ambiental)
Turbo, Colombia
2020**



Propuesta de instrumento para recolección de datos en campo para el monitoreo de obras de protección costera estructurales en el sector Turbo – Arboletes, Antioquia (Caribe colombiano)

Stefania Grisales Loiza

Informe de práctica académica presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniera Oceanográfica

Asesores

Alfredo Jaramillo Vélez
Ingeniero Ambiental, MSc Oceanografía

Jonny Hernández Correa
Oceanógrafo

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento, Escuela Ambiental
Turbo, Colombia
2020

Agradecimientos

Principalmente a CORPOURABA por permitirme tener la oportunidad de enriquecer mis conocimientos y aplicarlos en el desarrollo de mi práctica académica. De igual forma a la Ing. Kelis Hinestroza, a la Ing. Katerine García, a mis asesores, la Ing. Bonny Mena y al Oceanógrafo Jonny Hernández por su gran apoyo, enseñanza y direccionamiento durante mi periodo en la corporación y a la mayoría de los integrantes de esta, pues de cada uno me llevo una bonita enseñanza.

A mi familia por el apoyo y la confianza incondicional que depositaron en todo mi proceso y que fue mi mayor motivación para seguir avanzando.

A mi asesor el MCs Alfredo Jaramillo que desde el inicio de mi carrera fue una gran guía hasta el final y por compartir sus conocimientos en conjunto con el resto de docentes de la universidad.

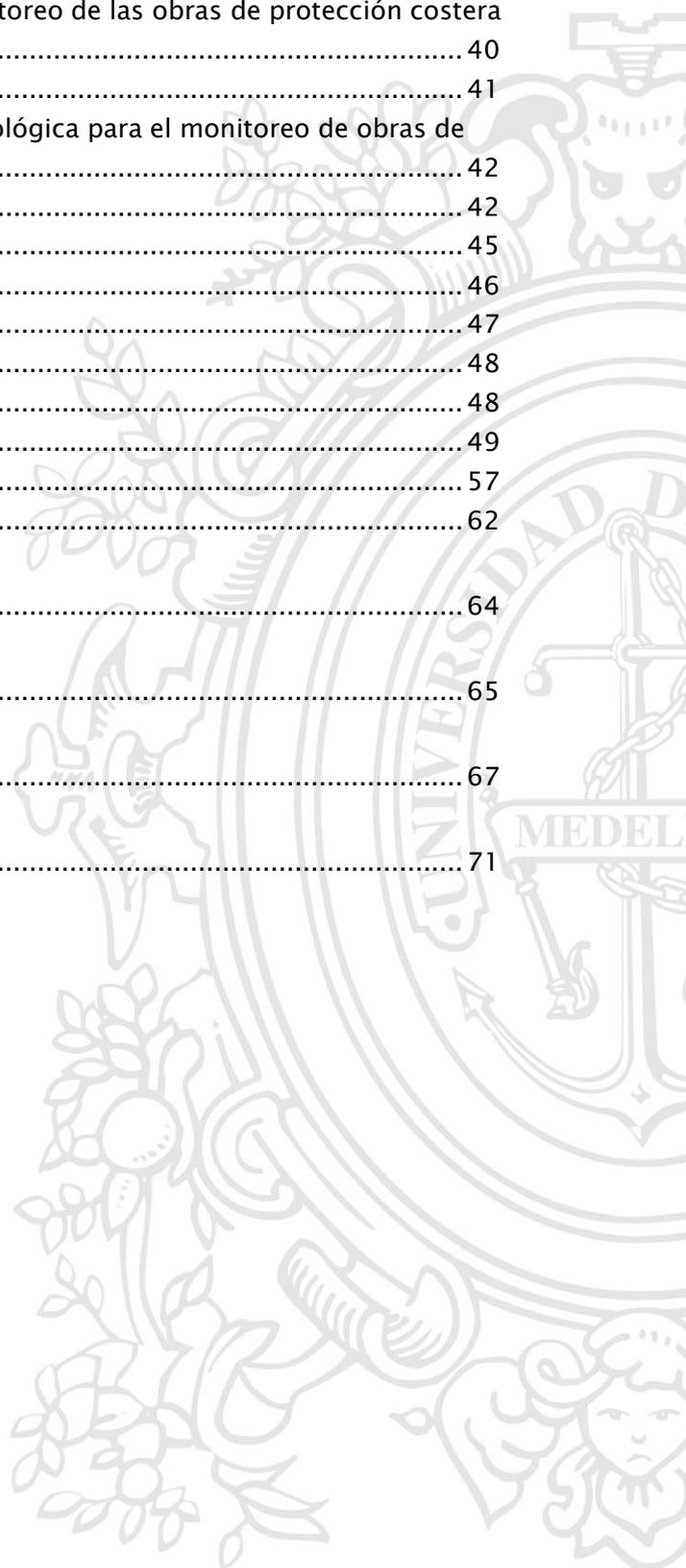
A mis compañeras Isabel López y Geraldin Morelo por el acompañamiento durante el desarrollo de mi trabajo, por sus asesorías y retroalimentación de conocimientos.

A mis compañeros de clase Ayda Mercado, Giner Jiménez, Ferney Orejuela, Juan Ruiz, Camila Aguirre y Janes Pretelt que fueron una gran motivación durante este proceso, por su apoyo y experiencias vividas en nuestra vida universitaria.

Lista de Contenido

1	INTRODUCCIÓN	10
2	OBJETIVOS	11
	2.1 Objetivo general	11
	2.2 Objetivos específicos	11
3	MARCO TEÓRICO	12
	3.1 Erosión costera	12
	3.2 Factores naturales que favorecen la erosión costera	12
	3.3 Factores antrópicos que favorecen la erosión costera	13
	3.4 Obras de protección costera	14
	3.5 Clasificación y funciones de obras de protección costera	15
	3.5.1 Obras estructurales o duras	16
	3.5.2 Obras no estructurales o blandas	17
	3.6 Proceso de planeación de obras de protección costera	18
	3.7 Estado del arte acerca de las obras de protección costera en el caribe colombiano y métodos para el seguimiento de las mismas después de su construcción	19
4	METODOLOGÍA	24
	4.1 Área de estudio	24
	4.2 Recolección de información primaria	26
	4.2.1 Fase de campo	26
	4.2.2 Fase de procesamiento	27
	4.3 Elaboración de la propuesta metodológica	27
5	RESULTADOS Y ANÁLISIS	28
	5.1 Inventario de las obras de protección costera estructurales del litoral antioqueño ..	28
	5.1.1 Turbo	30
	5.1.2 Necoclí	32
	5.1.3 San Juan de Urabá	34
	5.1.4 Arboletes	36

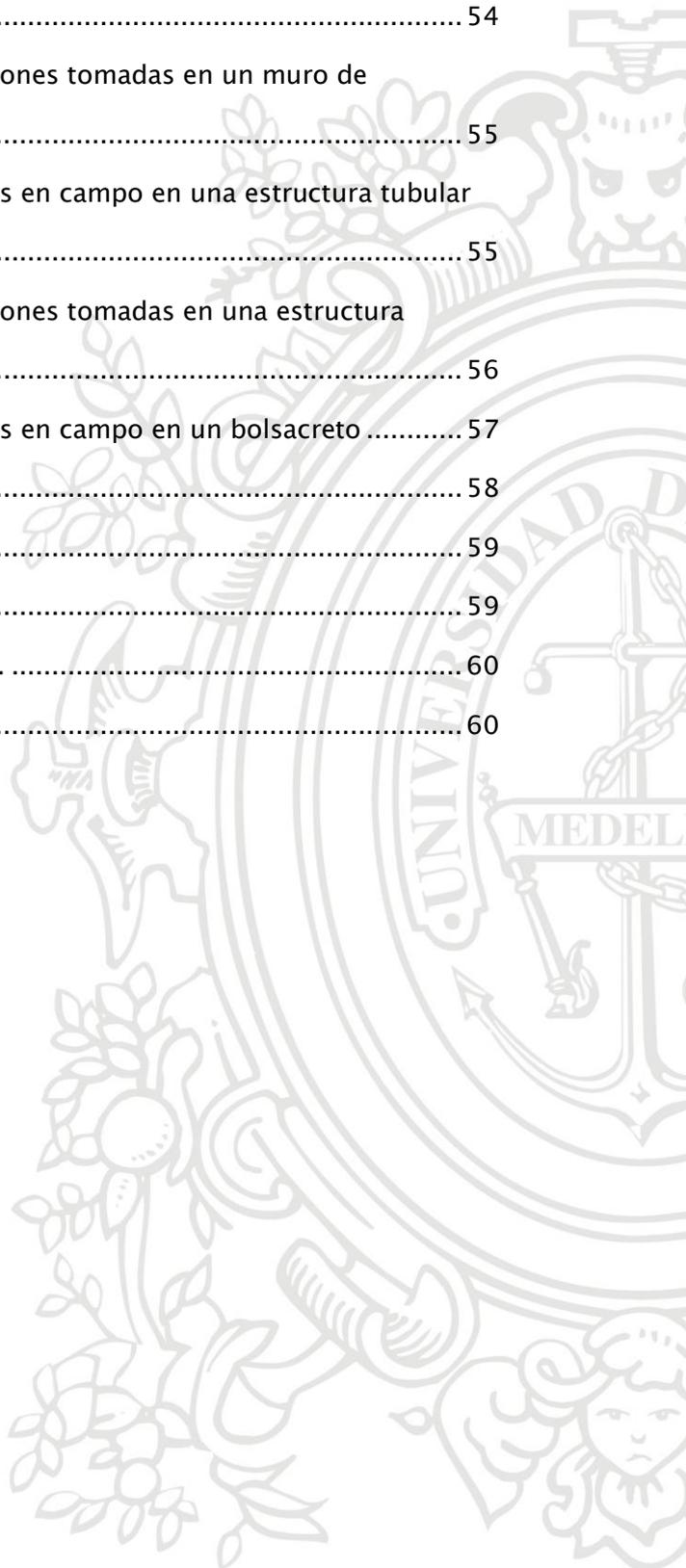
5.2 Recopilación de inventarios de obras de protección costera en el litoral antioqueño.....	38
5.3 Propuesta de formato de campo para el monitoreo de las obras de protección costera estructurales.....	40
5.3.1 Ficha de monitoreo	41
5.3.2 Descripciones de la propuesta metodológica para el monitoreo de obras de protección costera estructurales.....	42
5.3.2.1 Generalidades.....	42
5.3.2.2 Características de la obra	45
5.3.2.2.1 Tipo de obra	46
5.3.2.2.2 Tipo de material.....	47
5.3.2.2.3 Forma del material.....	48
5.3.2.2.4 Observaciones	48
5.3.2.3 Dimensiones.....	49
5.3.2.4 Cambios físicos de la estructura.....	57
5.3.2.5 Otros.....	62
6 CONCLUSIONES.....	64
7 RECOMENDACIONES	65
8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
9 ANEXOS	71



Lista de Figuras

Figura 1. Erosión por escorrentía y socavación en la base de taludes sobre rocas no cohesivas en el sector costero de Zapata, Antioquia (Colombia).....	13
Figura 2. A) Viviendas muy cercanas al mar en La Boquilla, Cartagena; B) Enrocado en una avenida en Cartagena, Colombia.	14
Figura 3. Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	25
Figura 4. A) Mediciones en celda experimental (Zapata, Necoclí). B) Mediciones en espigones (El Carlo, Necoclí). C) Mediciones en espigones (Punta de Piedra, Necoclí).....	26
Figura 5. Mapa de la distribución de obras de protección costera estructurales en el municipio de Turbo. Zona norte	30
Figura 6. Mapa de la distribución de obras de protección costera estructurales en el municipio de Turbo. Zona sur.....	30
Figura 7. Obras estructurales del municipio de Turbo. A) Geotubo. B) Muro de contención. 32	
Figura 8. Mapa de la distribución de obras de protección costera estructurales en el municipio de Necoclí. A) Zona norte. B) Zona sur.....	32
Figura 9. Enrocado en el municipio de Necoclí	34
Figura 10. Mapa de la distribución de obras de protección costera estructurales en el municipio de San Juan de Urabá	34
Figura 11. Obras estructurales del municipio de San Juan de Urabá. A) Espolón en roca. B) Espolón en bolsacreto.....	35
Figura 12. Mapa de la distribución de obras de protección costera estructurales en el municipio de Arboletes.....	36
Figura 13. Enrocado en el municipio de Arboletes.....	37
Figura 14. A) Asentamiento global. B) Asentamiento diferencial.....	50
Figura 15. Representación gráfica de la toma de datos en campo en un espolón	51
Figura 16. Ilustración de puntos de control y dimensiones tomadas en un espolón	51
Figura 17. Representación gráfica de la toma de datos en campo en un rompeola.....	52
Figura 18. Ilustración de puntos de control y dimensiones tomadas en un rompeola.....	52
Figura 19. Representación gráfica de la toma de datos en campo en un revestimiento	53

Figura 20. Ilustración de puntos de control y dimensiones tomadas en un revestimiento ...	53
Figura 21. Representación gráfica de la toma de datos en campo en un muro de contención	54
Figura 22. Ilustración de puntos de control y dimensiones tomadas en un muro de contención.....	55
Figura 23. Representación gráfica de la toma de datos en campo en una estructura tubular	55
Figura 24. Ilustración de puntos de control y dimensiones tomadas en una estructura tubular.....	56
Figura 25. Representación gráfica de la toma de datos en campo en un bolsacreto	57
Figura 26. Diferencia entre grieta y fisura	58
Figura 27. Representación del escamado.	59
Figura 28. Representación de la erosión.....	59
Figura 29. Representación de la exposición del acero.	60
Figura 30. Representación de la corrosión.....	60



Lista de Tablas

Tabla 1. Tipos, objetivos, funciones y representación de las obras de protección costera duras.....	16
Tabla 2. Tipos, objetivos y funciones de las obras de protección costera blandas.....	18
Tabla 3. Inventarios de obras de protección costera en el litoral antioqueño.	38
Tabla 4. Relación entre parámetros de la ficha de monitoreo y fuentes bibliográficas asociadas.....	41
Tabla 5. Descripción de toma de datos en un espolón.	52
Tabla 6. Descripción de toma de datos en un rompeola.....	53
Tabla 7. Descripción de toma de datos en un revestimiento.....	54
Tabla 8. Descripción de toma de datos en una estructura tubular.....	56

Lista de Gráficos

Gráfico 1. Objetivos de la implementación de obras de protección costera.....	15
Gráfico 2. Cantidad de obras registradas en cada municipio.....	29
Gráfico 3. Cantidad de obras registradas en el municipio de Turbo.....	31
Gráfico 4. Cantidad de obras registradas en el municipio de Necoclí.....	33
Gráfico 5. Cantidad de obras registradas en el municipio de San Juan de Urabá.....	35
Gráfico 6. Cantidad de obras registradas en el municipio de Arboletes.....	36

Lista de Anexos

Anexo A. Formato de campo. Diagnóstico de obras de protección costera.....	71
Anexo B. Ficha de campo para el monitoreo estructural de obras de protección costera estructurales.....	72

RESUMEN

Las obras de protección costera son frecuentemente usadas por el hombre principalmente para la protección de sus asentamientos costeros. Muchas de estas estructuras se realizan sin estudios previos debido a que la mayoría son construidas por la misma comunidad aledaña, por tanto, tampoco se tiene información de estas después de su construcción, donde se evidencie los cambios estructurales que presenta la estructura a lo largo de su vida útil. Con el fin de tener registro de estas obras, se realizó un inventario de obras de protección costera instaladas a lo largo de la línea de costa entre el municipio de Turbo y Arboletes (caribe antioqueño), con el objetivo de tener un aproximado de la cantidad de obras instaladas en esta franja litoral. Para la recolección de estos datos, se realizó un recorrido por todo este trayecto donde se contabilizó la cantidad de obras por municipio, se tomó registro fotográfico de estas y se filtraron las estructuras que hacían parte de la clasificación de obras de protección costera estructurales, en el que se registraron un total de 195 estructuras a lo largo de toda la zona de estudio, de las cuales se encontraron espolones, rompeolas, muros de contención, enrocados, geotubos y bolsacretos. Con base a este inventario, se diseñó una propuesta de formato de campo para el monitoreo de las obras de protección costera estructurales, en la que se creó una ficha de campo para el monitoreo estructural de las obras. Allí se inspecciona y describe información general de estas, sus características, dimensiones y cambios físicos que pueda sufrir.

Palabras claves: Monitoreo, obras de protección costera, caribe antioqueño, erosión costera.

1 INTRODUCCIÓN

La erosión de playas y acantilados es un proceso natural que hace parte del reciclaje constante de los materiales de la tierra. Los procesos erosivos tienen la capacidad de remoción de cientos de toneladas de sedimentos, de tamaño limo, arcilla y arena, principalmente de la franja costera y laderas fluviales, transportándolos hacia el lecho marino (Freebairn, et al., 1996). Las causas naturales de la erosión costera están asociadas a variaciones climáticas que generan intensificación del transporte transversal de sedimentos asociado a los temporales y del transporte longitudinal, así como variaciones naturales del nivel medio del mar (Correa & Vernet, 2004). Se calcula que en el pasado la erosión ocurría a una velocidad mucho más lenta que en el presente, debido a que gran mayoría de la superficie terrestre emergida estaba cubierta de vegetación, mientras que, en la actualidad, las actividades antropogénicas (el cambio del uso del suelo, las construcciones, la minería, el cambio del curso de los ríos, dragado de canales, etc.) han acelerado estos procesos erosivos presentándose un retroceso de la línea de costa (Restrepo, 2005).

En la franja costera de Antioquia que se encuentra entre los municipios de Turbo y Arboletes se calcula una línea de costa de 145 km aproximadamente (Correa & Vernet, 2004), de los cuales en un 67% predominan los procesos erosivos (CORPOURABA, 2018). A causa de esta problemática ambiental, se ha implementado la construcción de obras de protección costera principalmente espolones, en el periodo 1997–2000 el número de estos pasó de 56 a 155 y se tuvo una inversión de aproximadamente 10 mil millones de pesos colombianos (Correa & Vernet, 2004). Sin embargo, a pesar de estas grandes inversiones no se han registrado resultados que muestren una mejora de esta problemática ya que en su mayoría se han construido por las comunidades directamente afectadas (CORPOURABA, 2018), y por tanto no se realizan estudios pertinentes antes de su construcción ni un monitoreo que permita comparar la evolución estructural de estas construcciones.

De acuerdo con lo anterior, este trabajo pretende proponer un formato de campo que permita a las personas y/o empresas que realizan este tipo de construcciones, implementar un

seguimiento a las obras de protección costera estructurales, de modo que se pueda evaluar el estado estructural de la obra y realizar una comparación detallada durante la vida útil de estas, para efectuar conclusiones sobre sus variaciones. Adicionalmente se espera realizar una actualización de la funcionalidad y clasificación de las obras de protección costera que se encuentran en la franja litoral de los municipios de Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá y Arboletes.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Proponer un instrumento para la recolección de datos en campo, con el propósito de monitorear las obras de protección costera estructurales entre los municipios de Turbo y Arboletes, Antioquia (Caribe Colombiano).

2.2 Objetivos específicos

- Identificar las obras de protección costera estructurales en los municipios de Turbo y Arboletes, Antioquia.
- Recopilar información de los inventarios realizados en el litoral antioqueño.
- Diseñar una propuesta de formato para la recolección de datos en campo para el monitoreo de las obras de protección costera estructurales.

3 MARCO TEÓRICO

A continuación, se exponen los conceptos teóricos que sustentan el desarrollo de este trabajo.

3.1 Erosión costera

Es un proceso natural responsable de la reducción de las playas, el retroceso de las dunas y acantilados. En las costas rocosas, se manifiesta por la excavación de los acantilados que, debilitados por la infiltración de agua de lluvia en la roca, conduce a su colapso y en las costas de sedimentos blandos (arenas y gravas), el equilibrio depende de la cantidad de material que se deposita en la orilla de otras fuentes (bancos de arena, otras playas, acantilados erosionados, etc.). Si el balance de sedimentos es positivo, la orilla avanza hacia el mar (acreción), si es negativo, la costa retrocede (erosión). (CORIMAT, n.d.)

3.2 Factores naturales que favorecen la erosión costera

Dependiendo del tipo de sustrato que conforma el litoral, este puede ser muy susceptible a la erosión costera, pues los litorales con sustratos duros, pueden presentar poca o ninguna erosión, mientras que, en zonas de acantilados con rocas poco consolidadas, frágiles y altamente fracturadas, como la que se presenta en la Figura 1, hay un importante retroceso de la línea de costa (Posada & Henao, 2008). Asimismo, la constante acción del oleaje sobre la base de los acantilados genera la formación de hendiduras dando como resultado el colapso de material, este material es retrabajado y se incorpora como sedimento en la dinámica litoral. La actividad tectono–diapírica como la que se presenta a lo largo de toda a costa caribe, las fallas locales y la alta densidad de fracturas predisponen la roca a los procesos erosivos (Verette, 1985), así mismo, dicha actividad diapírica (domos y volcanes de lodo) adiciona inestabilidad en el litoral debido a la disminución de la resistencia de las capas de sedimento facilitando la erosión, pues estos modifican las condiciones oceanográficas, lo que influye en la dinámica costera de la zona (Martinez, 1993). Por último, el aumento relativo del nivel del

mar que tiene una relación con el cambio climático mundial y los procesos de levantamiento o hundimiento de los terrenos (Page, 1986).



Figura 1. Erosión por escorrentía y socavación en la base de taludes sobre rocas no cohesivas en el sector costero de Zapata, Antioquia (Colombia). Fuente: (Posada & Henao., 2008)

3.3 Factores antrópicos que favorecen la erosión costera

Dentro de los factores antrópicos que favorecen la erosión costera se menciona la extracción de arenas en las playas y en el lecho de los ríos, pues esto genera pérdidas de material necesario para nutrir de sedimentos a las playas, este material es normalmente utilizado por la comunidad aledaña a la zona para la construcción de viviendas. Además, la construcción de infraestructura turística, la extensión de áreas portuarias, los dragados de sedimentos, los dragados de canales para la navegación o control de inundaciones en la línea de costa no solo modifica la batimetría o propagación del oleaje, también modifica las corrientes de deriva litoral y por lo tanto de transporte y distribución de sedimentos que llega a la zona. Asimismo, la construcción de obras fijas en las zonas intermareales, playas y dunas, modifican los procesos de transporte de sedimentos que se dan naturalmente en estas zonas ocasionando un fenómeno que se conoce como rigidización del sistema costero. Muchas de estas obras se construyen como obras de protección costera, siendo destacable la ausencia de estudios técnicos que sustentan su implementación, lo cual provoca un aumento de la erosión en zonas aledañas potenciando el problema en el litoral (Posada & Henao., 2008) (Figura 2).



Figura 2. A) Viviendas muy cercanas al mar en La Boquilla, Cartagena; B) Enrocado en una avenida en Cartagena, Colombia. Fuente: Posada & Henao, 2008

En el crecimiento urbano en zonas de acantilados, principalmente asociados a rocas frágiles en la mayoría de los casos, no se tienen en cuenta los estudios geotécnicos que indiquen la carga que puede soportar el talud sin desestabilizarse ni tampoco la adecuación de los terrenos para controlar aguas de escorrentía y aguas negras provenientes de las viviendas. Por consiguiente, las basuras y los escombros son vertidos sobre los taludes incrementado así su peso y propiciando la concentración de humedad que favorece los movimientos de masa. Por último, la construcción de presas aguas arriba de los ríos ya sea para acueductos o para sistemas de riego, son también causas antrópicas de la erosión costera (Restrepo, 2005).

3.4 Obras de protección costera

La protección costera nace desde que el hombre adquirió, por medio de herramientas y obras simples, la capacidad de proteger el espacio que lo rodea para su propio beneficio, puesto que los numerosos asentamientos costeros generan dinamismo y vulnerabilidad en el equilibrio de las costas. Es por esto por lo que la infraestructura de protección costera representa el conjunto de obras y sistemas construidos e implementados por el hombre para la defensa o estabilización costera contra las fuerzas del mar, río, lago, etc. Las obras de protección costera pueden ser diseñadas para proteger asentamientos establecidos en la costa, o para proteger la costa misma (USACE, 2002). Los principales objetivos de las obras se presentan en el Grafico 1.

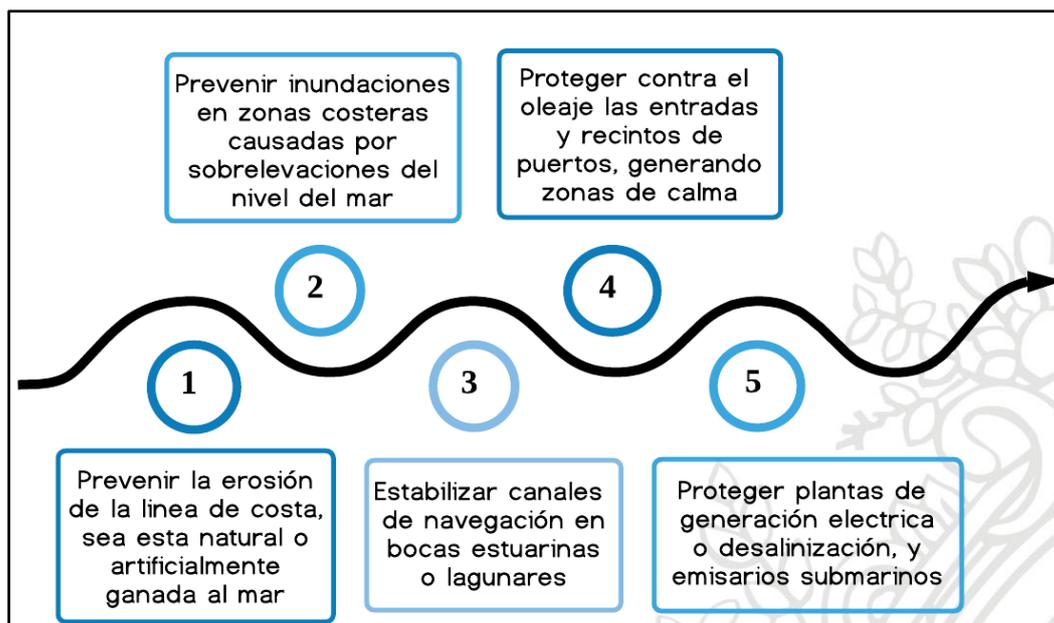


Gráfico 1. Objetivos de la implementación de obras de protección costera. Adaptado de (USACE,2002)

Existen países como Japón que dependen de la protección costera para controlar o por lo menos minimizar la pérdida de costa y por ende de territorio. En otros países, como es el caso de México, la protección costera obedece generalmente a necesidades e intereses más localizados: por ejemplo, para la estabilidad de playas para fines turísticos o intereses de particulares por conservar estable su frente playero, o para la estabilidad de bocas lagunares o estuarinas para fines de navegación y/o circulación adecuada en lagunas y cuerpos de agua semi-cerrados.

3.5 Clasificación y funciones de obras de protección costera

La clasificación de obras de protección costera se puede realizar de acuerdo con diversos criterios, sin embargo, solo se presentará una lista de las técnicas utilizadas, descritas por varios autores según sus experiencias, las que usualmente se dividen en:

3.5.1 Obras estructurales o duras

Se ha demostrado a nivel mundial que este tipo de obras ha tenido efectos positivos en el ámbito local y a corto plazo, a causa de su larga vida útil, y de que cumplen generalmente el objetivo de proteger y mitigar la erosión. Estas normalmente están constituidas de concreto, rocas, arenas, estructuras metálicas y geotextiles (Posada & Henao, 2008), pero desafortunadamente presentan numerosos aspectos negativos a medio plazo, debido a que agravan a menudo la erosión costera próxima a la zona protegida (ANCORIM, n.d) . En la Tabla 1 se mencionan algunas de las obras de protección duras.

Tabla 1. Tipos, objetivos, funciones y representación de las obras de protección costera duras. Fuente: USACE, 2002; Posada & Henao, 2008; CORPOURABA, 2018.

Tipo de Obra de protección costera dura	Objetivo	Función principal	Imagen
Dique	Prevenir o mitigar inundaciones de zonas costeras bajas	Separación entre la línea de costa y las zonas bajas en tierra	
Muro de contención	Evitar deslizamientos de tierra, proteger de la acción del oleaje	Refuerzo de parte del perfil de playa	
Revestimiento	Proteger la línea de costa contra la erosión	Refuerzo de parte del perfil de playa	

Rompeolas	Proteger puertos y obras contra oleaje y corrientes	Disipación de energía de oleaje y/o reflexión del oleaje hacia mar adentro	
Espigón	Prevenir erosión costera	Reducción de transporte longitudinal a la playa	
Geotextiles	Prevenir erosión costera	Escudo contra la acción del oleaje	
Baterías de espolones	Ganar playa	Atrapar arena de la corriente litoral para formar playa	

3.5.2 Obras no estructurales o blandas

Estas obras se han caracterizado por ser más “amigables” con el medio ambiente, tratan de aprovechar los recursos naturales existentes en la zona a intervenir, para lograr la recuperación o estabilización del proceso de erosión, además, tienen una vida útil reducida, son reversibles, dependen de las características propias de cada tipo de obra blanda y de los cambios del medio ambiente a escala global (cambio climático) o local (ordenación del territorio), pero por la falta de implementación principalmente en el Caribe colombiano, no se ha logrado comprobar su eficacia (ANCORIM, n.d). En la Tabla 2 se mencionan algunas de las obras no estructurales o blandas.

Tabla 2. Tipos, objetivos y funciones de las obras de protección costera blandas. Fuente: (Posada & Henao, 2008).

Tipo de Obra de protección costera blanda	Objetivo	Función principal
Arrecifes artificiales	Defensa costera, proporcionar un hábitat natural para la diversidad biológica y propiciar actividades recreativas.	Absorber la energía del oleaje.
Drenaje de playa	Reducir el movimiento o transporte de sedimentos hacia el mar	Reducir el volumen de agua superficial que incide en la infiltración de este líquido en la playa.
Drenaje de acantilados	Proteger la línea de costa contra la erosión	Refuerzo de parte del perfil de playa
Relleno de playas	Proteger el segmento de playa	Aumento artificial de la arena en la playa
Perfilamiento de taludes	Encontrar el ángulo adecuado de estabilidad.	Aumentar la estabilidad del talud
Conservación y siembra de manglares	Mantener el ambiente de pantano de manglar y la estabilidad de la línea de costa.	Contrarrestar exitosamente los efectos de la energía del oleaje

3.6 Proceso de planeación de obras de protección costera

Se recomienda que el enfoque a la solución del problema de erosión sea interdisciplinario para que intervengan expertos en aspectos físicos, del medio ambiente y sociales, entre otros y dependiendo del tipo y magnitud del problema y proyecto, ingenieros costeros, geotécnicos, estructurales e hidráulicos, meteorólogos, oceanógrafos, biólogos, geólogos, economistas, urbanistas y especialistas del transporte (Salles & Silva, 2003). En cuanto al diseño de una obra de protección costera, los pasos más importantes después de la etapa de planeación son:

1. Desarrollar y probar el diseño funcional de la obra con los objetivos para los cuales fue diseñado.

2. Desarrollar y probar el diseño estructural frente a las condiciones climáticas y oceanográficas de la zona.
3. Verificar la factibilidad del proceso constructivo, la operatividad, el mantenimiento y los costos durante la vida útil de la obra.
4. Realizar el proyecto ejecutivo.
5. Construir la obra.
6. Monitorear y evaluar el desempeño de la obra de protección costera.

3.7 Estado del arte acerca de las obras de protección costera en el Caribe colombiano y métodos para el seguimiento de las mismas después de su construcción

Una obra de protección costera es una estructura que se construye con el fin de defender y/o estabilizar contra el embate de las olas del mar o corrientes de un cuerpo de agua a una zona afectada por estos, como el impacto a las comunidades que viven en dichas zonas y se afectan con la pérdida de estos terrenos (Salles & Silva, 2003). Con el objeto de garantizar una completa funcionalidad de la obra y que su estructura permanezca en condiciones óptimas para hacerlo, se hace necesario realizar monitoreos y seguimientos a estas para tener registro de sus cambios a través del tiempo (PRIF, 2017) y de esta manera tomar decisiones adecuadas y oportunas durante la vida útil de la obras para descubrir fallas que puedan alterar su correcta funcionalidad (CIMAR, n.d.).

En las últimas décadas, se han venido construyendo diferentes obras de protección costera a lo largo de la línea de costa del Caribe colombiano, algunas de estas cuentan con permisos de construcción otorgados por la Dirección General Marítima (Dimar) y otras (la mayoría) fueron construidas de manera artesanal y empírica por la comunidad (CORPOURABA, 2018). Así mismo, diferentes autores han realizado diversos estudios acerca del estado del Caribe, en los cuales describen principalmente la dinámica de la línea de costa, el inventario y la clasificación de las obras de protección costeras presentes en términos de su funcionalidad y de sus características cualitativas.

De acuerdo con lo anterior, Correa et al., (2007) realizaron un acercamiento a la erosión costera del tramo Arboletes – Punta San Bernardo, el cual estuvo basado en un recuento de la morfología costera y en la caracterización y evaluación de los efectos producidos por las obras de protección costera asentadas en el área desde 1938 hasta 2006. Posteriormente, Posada & Henao, (2008) realizaron un diagnóstico de la erosión de la zona costera del Caribe colombiano, allí se describió el desgaste que ha venido sufriendo este litoral, las diferentes técnicas para el manejo de esta problemática, el inventario de obras de protección costera que han sido usadas en las diferentes zonas y las técnicas de monitoreo costero aplicadas. Finalmente, Rangel–Buitrago, et al., (2012) realizaron un análisis de la zona costera de los departamentos de Córdoba, Bolívar y en la ciudad de Santa Marta en Magdalena, allí se ejecutó y se clasificó un inventario de las obras de protección costera halladas en cada departamento, además, evaluaron el impacto de estas obras sobre las zonas estudiadas.

Por otro lado, orientados a la franja costera entre Turbo y Arboletes, Correa & Vernet, (2004) llevaron a cabo un diagnóstico del problema de erosión asociado a causas antrópicas, en este realizaron la caracterización del estado de conservación (geometría, forma y tipo de material de construcción, entre otros), efectividad e impactos producidos por las obras de protección costera presentes a lo largo del litoral.

En los términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental en proyectos de construcción de obras marítimas duras, se presenta un plan de manejo ambiental que exige planes de seguimiento y monitoreo a la calidad del medio, dentro del cual cada proyecto debe describir los componentes ambientales a monitorear (ANLA, 2016). En el año 2009 la gobernación de Antioquia presentó ante al ministerio de ambiente la solicitud de licencia ambiental para la ejecución del proyecto “Obras de protección costera en los municipios de Arboletes, Antioquia y Los Córdoba, Córdoba”. El proyecto tiene como objetivo la construcción de obras de protección costera tipo diques exentos, espolones y protección longitudinal, con el fin de detener la erosión y regenerar, en algunas zonas, las playas que por este proceso se han perdido. Dentro del documento que demuestra que esta licencia fue otorgada a la gobernación de Antioquia, se presentan los programas de monitoreo y seguimiento propuestos por el proyecto, en los cuales se tienen en cuenta factores físicos,

bióticos y socioeconómicos pero no tienen en cuenta el factor estructural de las construcciones a realizar, lo cual se hace importante porque de esta depende el cumplimiento del objetivo del proyecto (Ministerio de ambiente, 2009).

En la legislación marítima colombiana, mediante el Decreto Ley 2324 de 1984 (DIMAR, 1984) se reorganiza la Dirección General Marítima y Portuaria (Dimar), en el Artículo 5 de este decreto se delegan sus funciones y atribuciones, dentro de las cuales se notifica que Dimar tiene la función de regular, autorizar y controlar las concesiones y permisos en las aguas, terrenos de bajamar, playas y demás bienes de uso público de las áreas de su jurisdicción. Además, en la Resolución 135 de febrero del 2018 (DIMAR, 2018) se expide el Reglamento Marítimo Colombiano (REMAC) en cuyo contenido figuran aspectos relacionados con temas técnicos de la normatividad marítima, este reglamento está estructurado por ocho partes, siendo la parte cinco (REMAC 5) la que relaciona los temas de “Protección del medio marino y litorales” y se adiciono a la parte tres de este reglamento por medio de la Resolución N° 020-2019 el título tres en el cual se fijan los criterios técnicos para otorgar autorización de obras de protección costera. En esta menciona que, quien este autorizado en la construcción de una obra de protección costera debe presentar la solicitud de autorización por medio de la capitanía de puertos respectiva o por sede electrónica una vez ésta sea implementada. Para el otorgamiento de dicha autorización, el interesado debe cumplir con varios requerimientos técnicos exigidos por la Dirección General Marítima. Entre estos están: la copia de cédula de ciudadanía del interesado, memoria descriptiva del proyecto, planos de construcción proyectada, estudios técnicos, certificados de la alcaldía, licencia ambiental, Plan de Manejo ambiental o Concepto de viabilidad según sea el caso, entre otros requerimientos. Estas solicitudes serán resueltas por el Director General Marítimo con base en el procedimiento establecido en el Título IX del Decreto Ley 2324 de 1984. El Artículo 169 describe los requerimientos que exige la Dimar para el otorgamiento de concesiones y permisos de construcción. Después de enviada la solicitud con los requisitos exigidos, el interesado debe cumplir con los siguientes pasos:

1. Que al vencimiento del término por el cual se concede el permiso reviertan a la nación las construcciones.

2. Que las construcciones se sujeten a las condiciones de seguridad, higiene y estética que determinen los planos reguladores o las disposiciones de la Dirección General Marítima y Portuaria.
3. A reconocer que el permiso no afecta el derecho de dominio de la Nación sobre los terrenos, ni limita en ningún caso el derecho de ésta para levantar sus construcciones en cualquier sitio que considere conveniente.
4. A dar un fiador mancomunado y solidario o establecer a favor de la Nación, Dirección General Marítima y Portuaria, póliza que garantice la observancia de las obligaciones contraídas y el pago de una cláusula penal que debe señalarse para el caso de incumplimiento.

Adicionalmente, en el Artículo 19 del proyecto de Ley N° 008–14 Senado (Proyecto de Ley No. 008–14 Senado, 2014), se describe que Dimar en atención a la naturaleza del proyecto y a los informes de los impactos realizados por la autoridad ambiental, podrá exigir la constitución de pólizas de seguros que amparen los daños que se puedan llegar a ocasionar al territorio marino–costero como consecuencia de las obras de protección costera y en el Artículo 31 se especifica dentro de los tipos de sanciones aplicadas, la demolición de obra al infractor cuando este haya adelantado la construcción sin haber solicitado permisos o concesiones y cause daño al medio ambiente o a los recursos renovables.

Sin embargo, en el año 2017, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la embajada del Reino de los Países Bajos en Colombia y la Agencia Empresarial de los Países Bajos (RVO), con el apoyo del Comité Técnico (conformado por MinAmbiente, el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés”– INVEMAR, la Dirección General Marítima – Dimar y el Servicio Geológico colombiano), desarrollaron el Plan Maestro de Erosión Costera de Colombia con el objetivo de crear una visión y una estrategia nacional a largo plazo con un adecuado respaldo técnico, financiero e institucional, a fin de prevenir, mitigar y controlar la erosión y sus consecuencias en las costas de Colombia. Dentro de este plan maestro, se determinó un plan de implementación que sugiere una serie de iniciativas de acción (que se describen a continuación) para mejorar la información técnica y ambiental en la toma de decisiones con un conjunto de principios de diseño de ingeniería con el fin de

“Construir con la Naturaleza” y posiblemente, normas destinadas a la erosión costera (Schutte et al., 2017).

- Iniciativa 1: Mejorar la gestión compartida entre ANLA y Dimar para la definición del diseño y las características técnicas y ambientales de las obras costeras.
- Iniciativa 2: Desarrollar un plan de monitoreo integral a largo plazo.
- Iniciativa 3: Mejorar acceso a datos y desarrollar un base de datos Centralizado.

De acuerdo con lo anterior, se entiende que los estudios realizados a lo largo del litoral del Caribe colombiano hacen referencia al problema de erosión que se presenta, a los impactos debido a las actividades antrópicas y los inventarios de las obras que se han construido. Adicionalmente, la legislación colombiana sugiere el seguimiento y monitoreo del impacto de la obra en su entorno (factores bióticos, abióticos y socioeconómicos). Sin embargo, no hay estudios relacionados directamente a los cambios estructurales que puedan presentar las obras a lo largo de su vida útil y tampoco se registran metodologías para el seguimiento y/o monitoreo del estado de conservación de la obra en cuanto a su estructura, de modo que permita generar una malla de datos unificada que registre su evolución en términos de estado y funcionalidad en el tiempo.

4 METODOLOGÍA

Para realizar este trabajo se llevaron a cabo las actividades que se describen a continuación:

4.1 Área de estudio

El Golfo de Urabá es un cuerpo de agua semicerrado, con una longitud de aproximadamente 80 km de largo, 25 km de ancho, profundidades medias de 25 m y máximas de 60 m. En el extremo sur del Golfo se localiza el delta del río Atrato con una descarga de aproximadamente 81 km³/ año, por lo que se considera uno de los ríos más caudalosos del mundo con respecto a su cuenca (Bernal, et al., 2005) (Figura 3). La franja costera oriental del Golfo de Urabá comprende los municipios de Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá y Arboletes. Estos representan los centros urbanos costeros más importantes de Antioquia en el Golfo (Thomas, et al., 2007) pues son un gran atractivo turístico y ecoturístico debido a sus amplias playas, además de sus atractivos naturales, culturales, históricos y folclóricos que generan un crecimiento significativo en empleo, consumo y dinamismo en la economía de bienes y servicios de estos municipios (Larrea, et al., 2019).

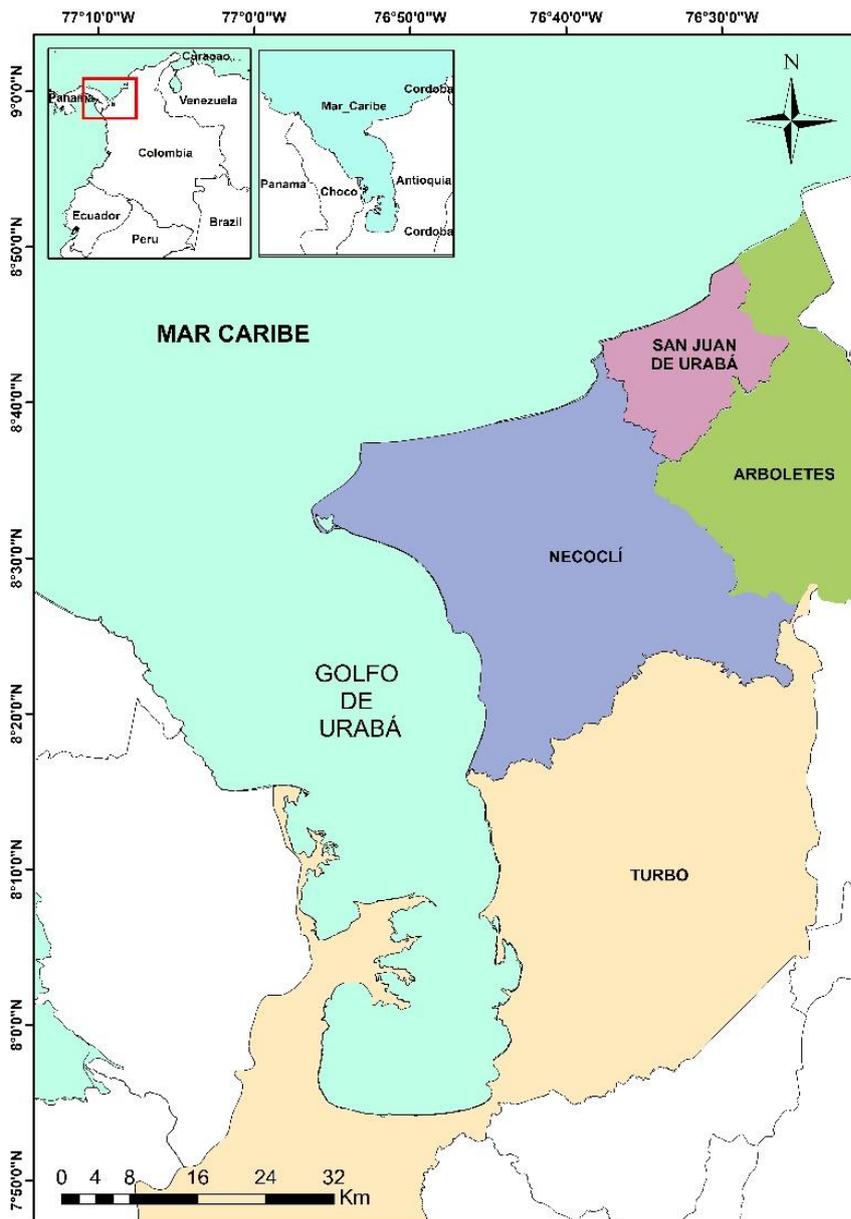


Figura 3. Ubicación geográfica de la zona de estudio

Debido a su ubicación geográfica, el golfo de Urabá se encuentra influenciado por la circulación ecuatorial marítima, las cuencas hidrográficas de los ríos León y Atrato y la zona de convergencia intertropical (ZCIT), por lo que el clima de esta región es cálido-húmedo con temperaturas que oscilan entre 27- 29 °C. A su vez, el Golfo presenta un periodo lluvioso entre mayo y noviembre; y un periodo seco desde diciembre hasta mediados de abril. En términos oceanográficos, el Golfo de Urabá presenta marea mixta con régimen micromareal, con altura máxima de 0,92 m y altura media inferior a 0,5 m, la temperatura del agua en el periodo húmedo es aproximadamente de 28,5° C en superficie, con una variación de 3° C en

toda la extensión del golfo, la salinidad del agua oscila entre 0,8 ‰ y 35,5 ‰. A demás, se evidencia la penetración de aguas por la franja occidental del Golfo y una salida por la franja oriental tanto en superficie como en profundidad generando una mezcla entre las masas de agua. Finalmente, en el periodo seco la temperatura del agua promedio es de 28,5° C con pequeñas variaciones (1,5°C) y aguas superficiales dulces con salinidades que oscilan entre 2 y 26 ‰ (Thomas et al., 2007).

4.2 Recolección de información primaria

4.2.1 Fase de campo

En el 2018, se realizó un recorrido de aproximadamente 147 km de línea de costa del litoral antioqueño, desde la Desembocadura del Río León (Turbo) hasta el sector Punta del Rey (Arboletes) para la identificación de las obras de protección costera que se encontraban instaladas en esta trayectoria. En el 2019, se realizaron visitas de campo a algunas de las zonas donde ya se había realizado el inventario, con el objeto de actualizar la información recolectada en las visitas anteriores.

La recolección de datos en campo se realizó mediante inspección directa y encuestas (Figura 4) de acuerdo con el criterio de los contratistas de CORPOURABA y utilizando la metodología que tienen determinada para sus estudios.



Figura 4. A) Mediciones en celda experimental (Zapata, Necoclí). B) Mediciones en espigones (El Carlo, Necoclí). C) Mediciones en espigones (Punta de Piedra, Necoclí)

La metodología mencionada anteriormente consiste en un formato en el cual se registraron algunas características de la obra encontrada: información general de la obra (fecha de construcción, localización geográfica), asociación a un proyecto o permiso de construcción (este dato se obtuvo por medio de la base de datos de CORPOURABA y preguntando a la comunidad), características cualitativas de la obra (mediante observación directa) y características cuantitativas (longitudes y alturas) (Anexo A).

4.2.2 Fase de procesamiento

La información colectada en campo fue tabulada (En Excel) y anexada a la base de datos que creó CORPOURABA en la expedición de monitoreo del 2018. Estos datos fueron procesados en el software ArcGIS®, actualizando los mapas cartográficos donde se presentan las obras de protección costera instaladas a lo largo de la línea de costa entre Turbo y Arboletes.

4.3 Elaboración de la propuesta metodológica

Para el diseño del formato de recolección de datos en campo para obras de protección costera estructurales en la zona de estudio, se realizó una búsqueda de antecedentes y metodologías relacionadas con el seguimiento de obras costeras a nivel nacional e internacional que permitieron identificar las características principales para la elaboración de la propuesta metodológica, en conjunto con los datos e información colectados en la fase de búsqueda de información primaria y secundaria.

5 RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo de los diferentes procesos abordados durante la práctica académica realizada en la Corporación Autónoma Regional CORPOURABA, todos ellos relacionados con el análisis del panorama de las obras de protección costera en el litoral antioqueño, por lo que se ha dividido en los siguientes apartados:

- Inventario de las obras de protección costera estructurales del litoral antioqueño.
- Recopilación de inventarios de obras de protección costera en el litoral antioqueño.
- Propuesta de formato de campo para el monitoreo estructural de obras de protección costera duras.

5.1 Inventario de las obras de protección costera estructurales del litoral antioqueño

A la base de datos creada en el inventario con la información de campo, se le realizó una depuración de las obras de protección costera duras o estructurales, entre las cuales se lograron registrar: rompeolas, geotubos, bolsacretos, espolones, muros de contención y enrocados.

NOTA: Para el cálculo aproximado de las líneas de costa de cada municipio y de los tramos de mayor concentración de obras de protección costera, se usó el software Arcgis. Para el caso de las longitudes de los municipios, se midió la línea de costa del municipio de extremo a extremo, y para las zonas de mayor concentración de estructuras, se trazaron tramos que abarcaran las zonas donde se encontraban la mayor cantidad de obras, esto no quiere decir que los transectos que se escogieron están ocupados por obras en su totalidad, es decir, las estructuras pueden encontrarse dispersas en todo el tramo seleccionado, ya la cuantificación de estas definirá la concentración sobre la línea de costa. Esto se hace con el objeto de mostrar en distancias de manera aproximada, la zona donde se encuentran el mayor número de obras por municipio.

A continuación, en el Gráfico 2 se presenta la cantidad de obras de protección costera estructurales presentes entre el año 2019 en los municipios del litoral antioqueño, jurisdicción de CORPOURABA.

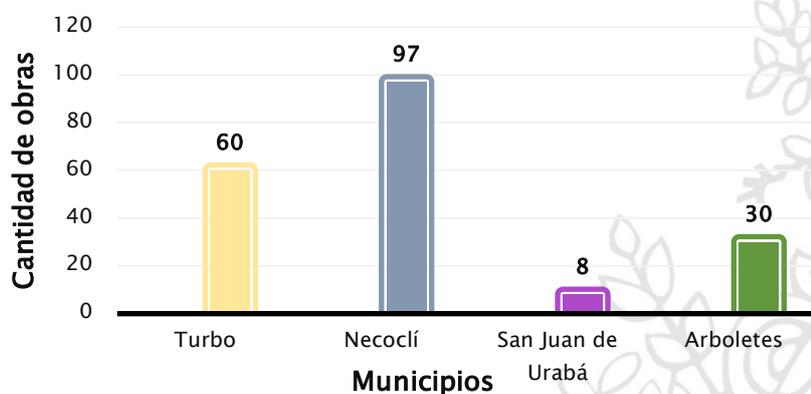


Gráfico 2. Cantidad de obras registradas en cada municipio

Como se puede observar en el anterior gráfico, el municipio en el cual se registran más obras de protección costera estructurales es Necolí con una cantidad de 97 construcciones (el 49,7% del total de obras estructurales registradas en el litoral antioqueño), en segundo lugar, se encuentra el municipio de Turbo con 60 obras registradas (30,8 %), luego Arboletes con 30 (15,4%) y en el último lugar se encuentra San Juan de Urabá con un total de 8 (4,1%) obras registradas.

5.1.1 Turbo

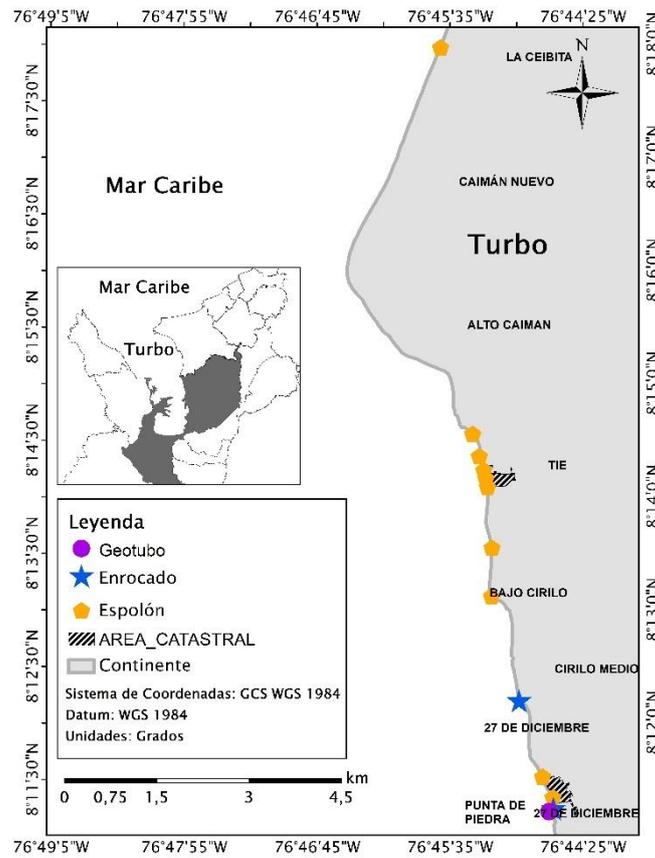


Figura 5. Mapa de la distribución de obras de protección costera estructurales en el municipio de Turbo. Zona norte

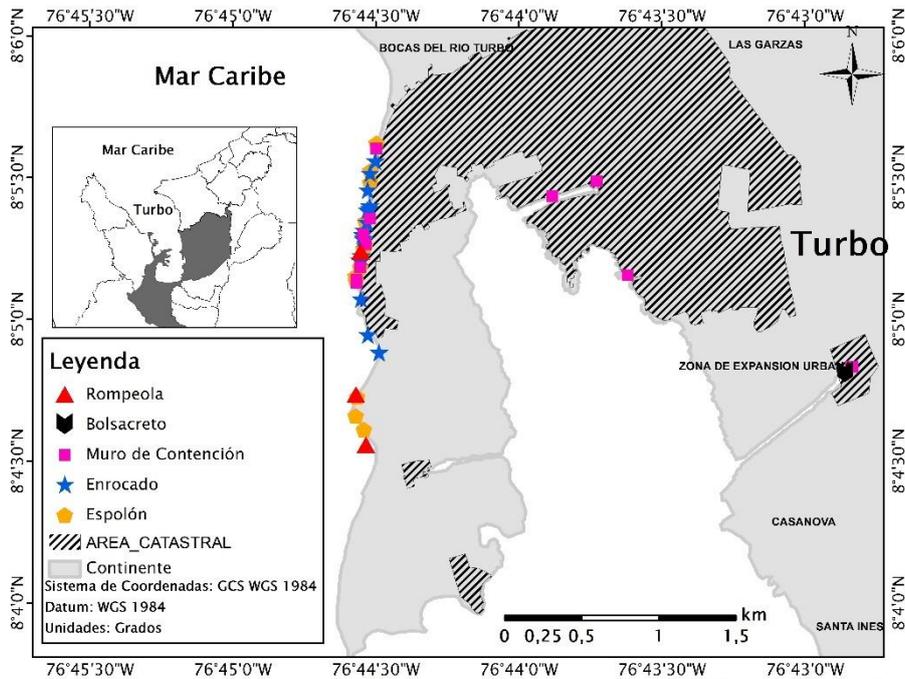


Figura 6. Mapa de la distribución de obras de protección costera estructurales en el municipio de Turbo. Zona sur

A continuación, en el Gráfico 3 se observan las cantidades de obras de protección costera de acuerdo a su clasificación.

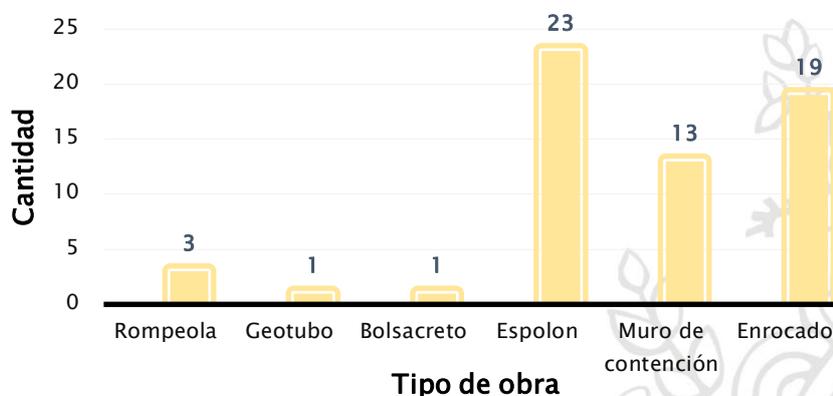


Gráfico 3. Cantidad de obras registradas en el municipio de Turbo

Tal como se observa, la presencia de estructuras tipo espolón, enrocado y muro de contención (Figura 7B) predominó por encima de las estructuras tipo rompeola, geotubo (Figura 7A) y bolsacreto (cantidades de 3, 1 y 1 respectivamente).

El municipio de Turbo tiene una línea de costa de 222 Km aproximadamente, la cual está ocupada en algunas zonas por obras de protección costera. En la Figura 5 y 6, se observa la ubicación de dichas obras a lo largo del litoral y las zonas donde hay mayor concentración de estas. En la zona norte (Figura 5), se evidencia que la mayoría de obras se encuentra entre Punta de Piedra y Tíe, que abarca una longitud de litoral de aproximadamente 2 Km de costa (equivalente al 0,9% del litoral de Turbo). En la zona sur (Figura 6), se muestra que entre el sector Punta las Vacas y las Playas Urbanas se encuentran la mayor cantidad de obras, abarcando alrededor de 2,2 Km de costa (aproximadamente el 1%). De acuerdo a lo anterior, se evidencia que alrededor del 2% de la línea de costa de Turbo, se encuentra ocupada por la mayor parte de las obras de protección costera del municipio.



Figura 7. Obras estructurales del municipio de Turbo. A) Geotubo. B) Muro de contención

5.1.2 Necoclí

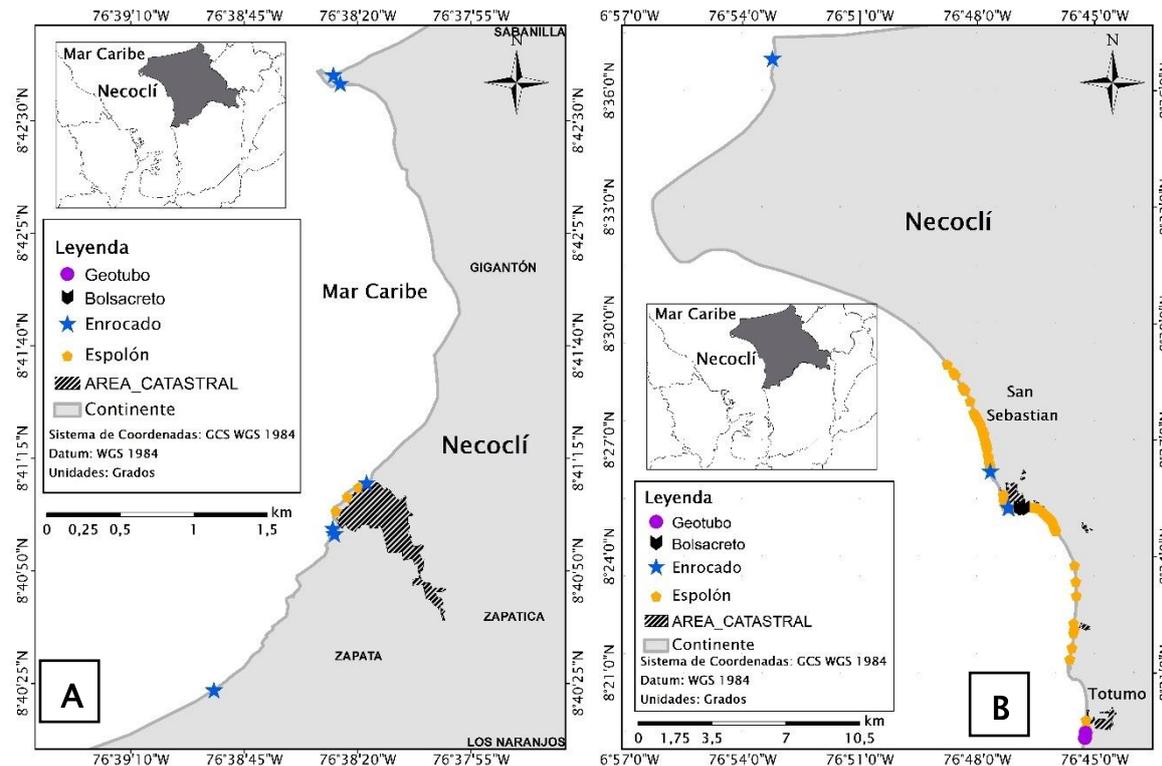


Figura 8. Mapa de la distribución de obras de protección costera estructurales en el municipio de Necoclí. A) Zona norte. B) Zona sur

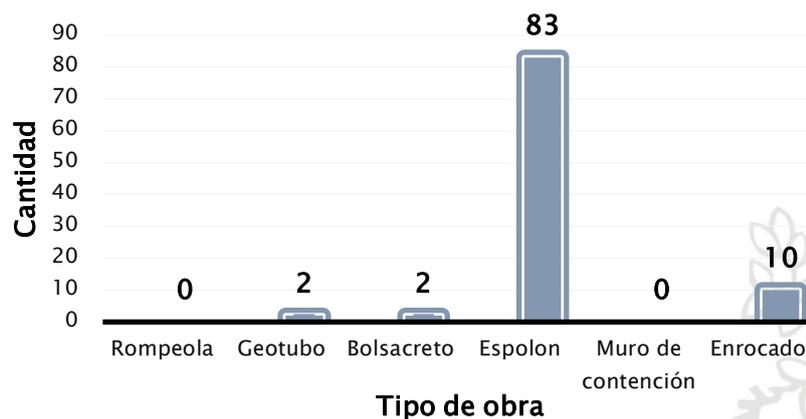


Gráfico 4. Cantidad de obras registradas en el municipio de Necoclí

Necoclí es el municipio con mayor cantidad de obras de protección costera estructurales registradas, en el Gráfico 4 se observa con gran claridad que las obras tipo espolón son las que más abundan en este lugar con una cantidad de 83 construcciones de este tipo. Por otro lado, también se registraron 10 enrocados (Figura 9), dos geotubos y dos bolsacretos.

Necoclí cuenta con aproximadamente 91 Km de línea de costa, la cual está ocupada en algunas zonas por obras de protección costera. En la Figura 8, se observa la ubicación de dichas obras a lo largo del litoral y las zonas donde hay mayor concentración de estas. En la zona norte (Figura 8A), se evidencia que la mayoría de obras se encuentran en el corregimiento de Zapata, que abarca una longitud de litoral de aproximadamente 530 m de costa (equivalente al 0,6% del litoral de Necoclí). En la zona sur (Figura 8B), se muestra que entre el sector Totumo y Río Necoclí (siendo más predominante la presencia de obras en San Sebastian) se encuentran la mayor cantidad de obras, abarcando alrededor de 17,3 Km de costa (aproximadamente el 19%). De acuerdo a lo anterior, se evidencia que alrededor del 19,6% de la línea de costa de Necoclí, se encuentra ocupada por la mayor parte de las obras de protección costera del municipio.



Figura 9. Enrocado en el municipio de Necoclí

5.1.3 San Juan de Urabá

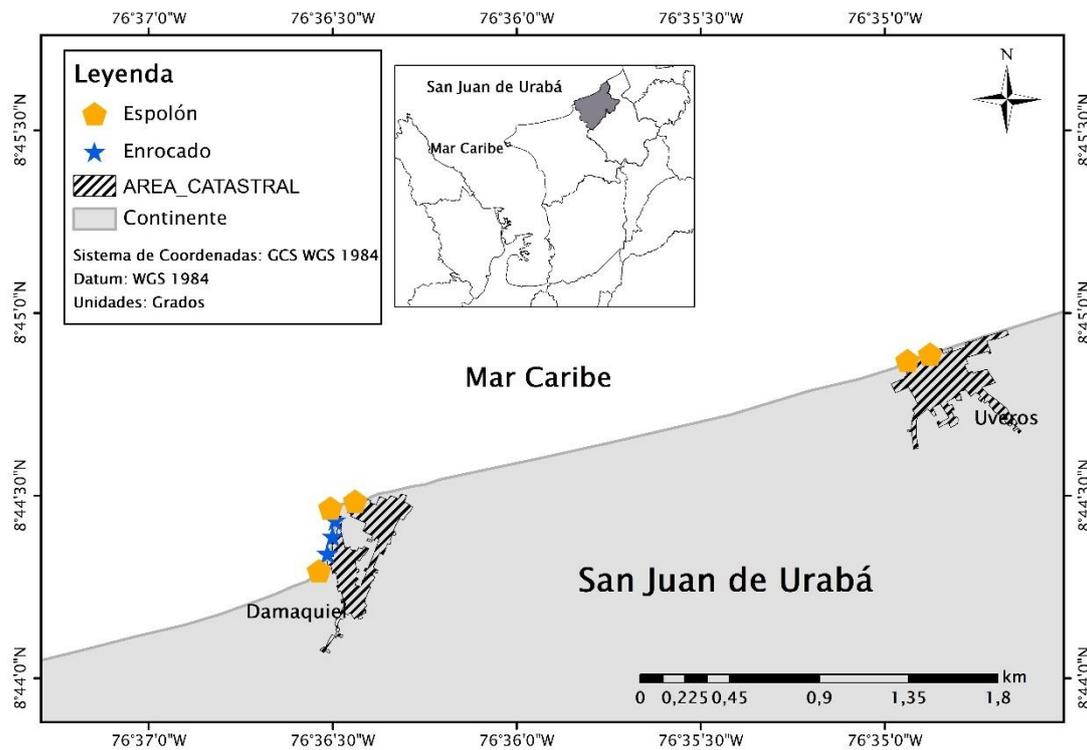


Figura 10. Mapa de la distribución de obras de protección costera estructural en el municipio de San Juan de Urabá

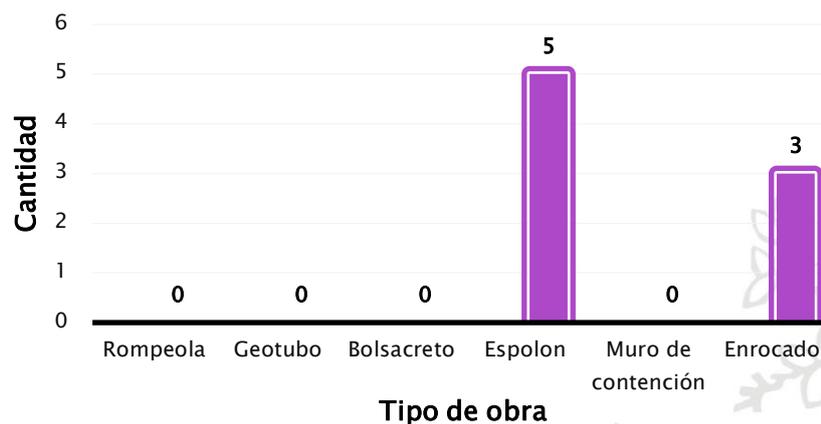


Gráfico 5. Cantidad de obras registradas en el municipio de San Juan de Urabá

San Juan de Urabá es el municipio con menor cantidad de obras de protección costera estructurales registradas, en el Gráfico 5 se observa que las obras tipo espolón y enrocado son las únicas presentes en este lugar.

El municipio de San Juan de Urabá cuenta con aproximadamente 20 Km de línea de costa, la cual está ocupada en algunas zonas por obras de protección costera. En la Figura 10, se observa la ubicación de dichas obras a lo largo del litoral y las zonas donde hay mayor concentración de estas. Se evidencia que la mayoría de obras se encuentran ubicadas en el corregimiento de Damaquiel, que abarca una longitud de litoral de aproximadamente 579 m de costa, equivalente al 3% del litoral del municipio.



Figura 11. Obras estructurales del municipio de San Juan de Urabá. A) Espolón en roca. B) Espolón en bolsacreto

5.1.4 Arboletes

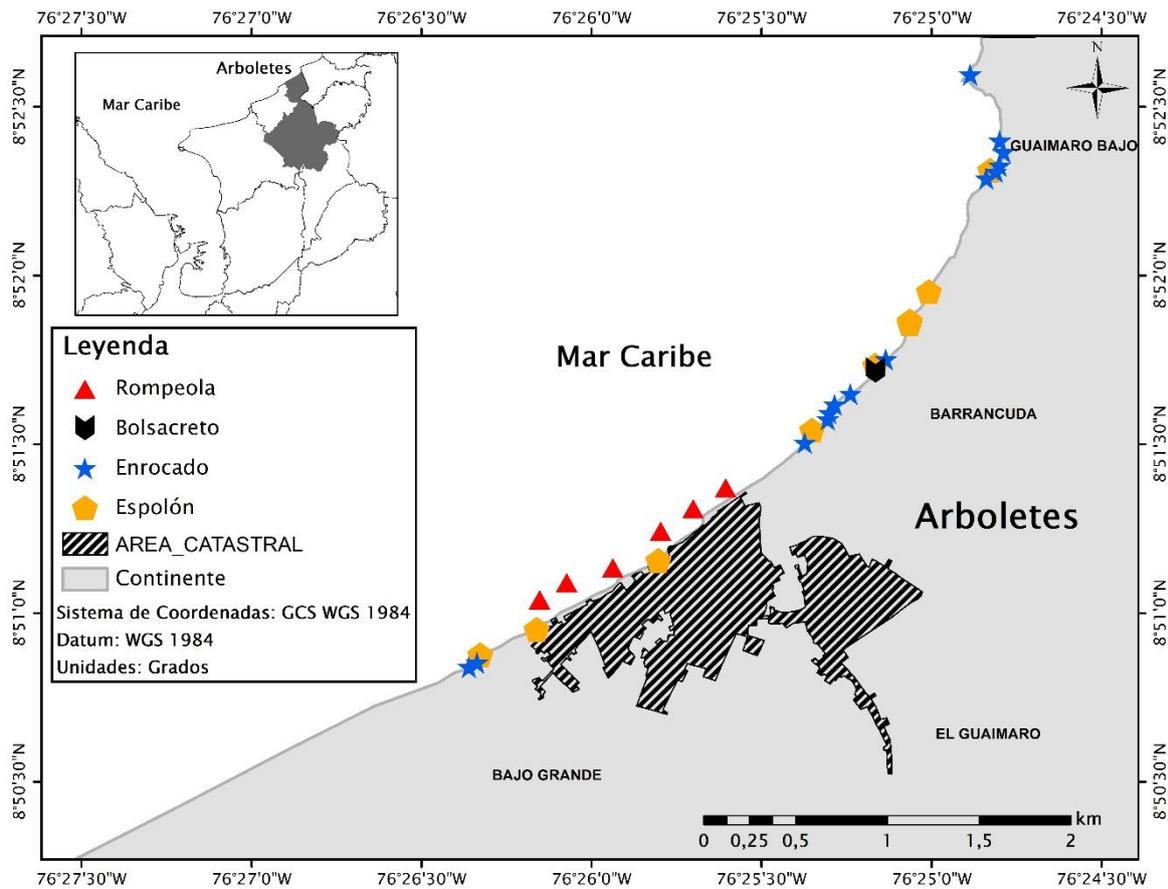


Figura 12. Mapa de la distribución de obras de protección costera estructurales en el municipio de Arboletes

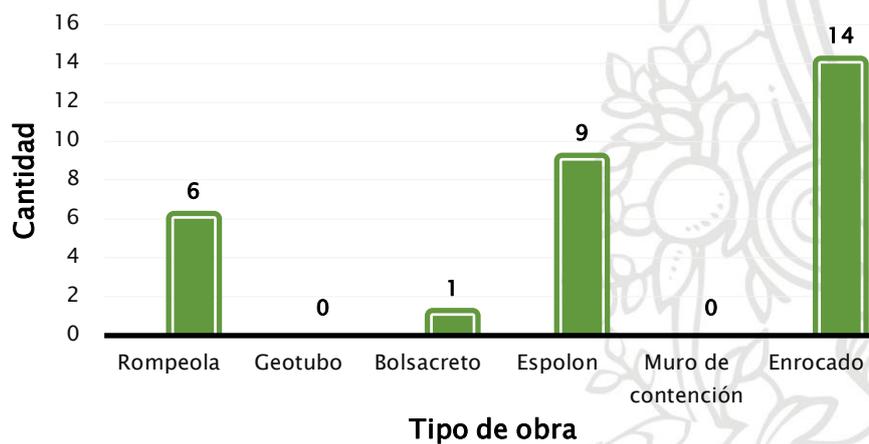


Gráfico 6. Cantidad de obras registradas en el municipio de Arboletes

En el Gráfico 6 se describen las obras estructurales registradas en el municipio de Arboletes, allí se observa que en este lugar hay 14 estructuras tipo enrocado, nueve obras tipo espolón, seis rompeolas y un bolsacreto.

El municipio de Arboletes cuenta con aproximadamente 9,6 Km de línea de costa, la cual está ocupada en algunas zonas por obras de protección costera. En la Figura 12, se observa la ubicación de dichas obras a lo largo del litoral y las zonas donde hay mayor concentración de estas. Se evidencia que la mayoría de obras se encuentran ubicadas entre las veredas Bajo Grande y Barrancuda, que abarca una longitud de litoral de aproximadamente 4,9 Km de costa, equivalente al 51% del litoral del municipio.



Figura 13. Enrocado en el municipio de Arboletes

5.2 Recopilación de inventarios de obras de protección costera en el litoral antioqueño

Tabla 3. Inventarios de obras de protección costera en el litoral antioqueño. Fuentes: Correa & Vernet, 2004; Posada & Henao, 2008; CORPOURABA, 2016; CORPOURABA, 2018; Pereira et al., 2019.

Inventarios	Tipos de obras considerados	Tipos y formas de material considerados	Áreas de estudio	Número de obras total	Número de obras x municipio	Metodología usada
Correa & Vernet, 2004. Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá (Sector Arboletes – Turbo) Costa Caribe Colombiana.	Espolones Enrocados Barreras de protección Muros de contención	Roca. Tetrápodos y pentápodos.	Turbo (Puntas las Vacas)– Arboletes (Punta de Rey)	155	Turbo: 60 Necoclí: 52 San Juan de Urabá: 5 Arboletes: 38	Mapas base 1:10.0000
Posada & Henao, 2008. Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe Colombiano.	Canalización Enrocados Espolones Rompeolas Muros de contención Tajamares Muelles	Roca. Pentápodos.	Urabá (caribe colombiano)	62	NA	Revisión de información bibliográfica e imágenes de Google Earth.
CORPOURABA, 2016. Inventario de obras de defensa costera.	Espolones Rompeolas Diques Muros de contención Tómbolos Bolsacretos Otros	Roca, concreto, cemento, madera, escombro, llantas, costales de arena. Pentápodos. Otros.	Turbo (Puntas las Vacas)– Arboletes (Punta de Rey)	214	Turbo: 76 Necoclí: 92 San Juan de Urabá: 8 Arboletes: 40	Salidas de campo (observación directa y encuestas).
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.	Espolones Bolsacretos Enrocados Gavión Muelle Muros de contención Muelles Tómbolos Tubos de concreto Cúmulos de arena Bolsas de arena Geotubos	Roca, concreto, arena, bolsas, llantas. Pentápodos, tetrápodos. Otros.	Turbo (Desembocadura del río León) – Arboletes (Punta del Rey).	231	Turbo: 77 Necoclí: 106 San Juan de Urabá: 8 Arboletes: 40	Salidas de campo (observación directa y encuestas).

Pereira et al., 2019	Rompeolas Espolones Muros	NA	Darién	136	NA	Imágenes satelitales
----------------------	---------------------------------	----	--------	-----	----	-------------------------

Esta comparación de inventarios de obras de protección costera a lo largo del litoral Turbo-Arboletes (Tabla 3), se realizó con el objeto de ver el avance de rigidización de la franja costera. Sin embargo, cabe aclarar que, dado que no existía previamente una metodología de recolección de datos en campo para el monitoreo e inventario de las obras de protección, se recomienda tomar el presente trabajo como línea base y la propuesta de formato de campo para posteriores mediciones e inventarios que elabore la institución.

Por otro lado, cabe resaltar que los diferentes trabajos presentados en la Tabla 3 presentan zonas de estudio diferentes o parcialmente similares, además de usar diferentes metodologías para la recolección de datos y análisis de los mismos, lo que conlleva a que la comparación entre estos inventarios no arroje los resultados esperados que permita la visualización clara de la rigidización del litoral y los efectos que las obras producen a su entorno.

Sin embargo, los inventarios realizados por Correa & Vernet, 2004, CORPOURABA, 2016 y CORPOURABA, 2018 se realizaron en la misma zona de estudio y utilizaron metodologías de recolección de datos similares, por tanto, se puede observar que:

- Del año 2004 al 2016 hubo un aumento de 59 obras de protección costera, y del 2016 al 2018, 17 obras. Estos valores reflejan el aumento de la construcción de obras sobre la franja costera entre Turbo y Arboletes.
- Comparando la cantidad de obras por municipio entre el año 2004 y 2018, Necoclí ha sido el que ha presentado una mayor rigidización de su línea costera, con un aumento de 54 obras de protección, en segundo lugar, se encuentra Turbo con una diferencia de 17 obras, luego San Juan de Urabá con 3 y, por último, Arboletes con solo 2 obras de protección de diferencia.
- En cuanto a la funcionalidad de las obras, Correa & Vernet, 2004 y CORPOURABA, 2016 concordaron en que la recuperación de playa en los municipios de Turbo y Arboletes por efecto de la construcción de espolones, ha sido mínima y en algunos

casos nula. En relación a los tómbolos construidos en Arboletes, se sigue evidenciando desde el 2016 al 2018 el avance de la línea de costa al frente del caso urbano del municipio.

- Cabe resaltar que para evidenciar la eficiencia que ha tenido una obra de protección costera a lo largo del tiempo, se deben realizar estudios pertinentes que arrojen información del estado de la playa y del entorno aledaño de la obra, y usar la misma metodología para estos estudios, de manera que al momento de comparar los resultados se puedan evidenciar los cambios comparando relativamente la misma base de datos, pero con los datos reales de cada año. Por esta razón, de los inventarios mostrados en la Tabla 3 no se pueden sacar muchas conclusiones respecto a la funcionalidad de las obras en estudio, porque no se tienen los mismos resultados ni análisis en cada inventario para poder hacer comparaciones.

5.3 Propuesta de formato de campo para el monitoreo de las obras de protección costera estructurales

En vista de que en los estudios realizados en el Caribe colombiano y en los planes de seguimiento concernientes a las obras de protección costera no incluye una metodología de monitoreo estructural de estas obras, nace la necesidad de llevar un control para la evaluación de su estado estructural que permita analizar sus variaciones a lo largo de su vida útil y con ello gestionar los recursos necesarios y oportunos para su mantenimiento o desmantelamiento si se considera justificable. Por tal motivo, se creó una ficha de campo para el monitoreo de las obras de protección costera estructurales, la cual se desarrolló con base a las características que presentaban las estructuras encontradas en el inventario realizado en el Caribe antioqueño.

A continuación, se adjunta el formato propuesto para la metodología de monitoreo a obras de protección costera estructurales de la región de Urabá.

5.3.1 Ficha de monitoreo

En el *Anexo B* se encuentra la ficha de campo para el monitoreo de las obras de protección costera estructurales.

Para la elaboración del formato de monitoreo, se utilizaron diferentes fuentes bibliográficas que sirvieron como base para la identificación de los parámetros más relevantes y que ofrecieran información adecuada para la descripción del estado estructural de las obras de protección costera que se estén monitoreando (Tabla 4).

Tabla 4. Relación entre parámetros de la ficha de monitoreo y fuentes bibliográficas asociadas.

Campo	Parámetro	Documento asociado	Observación
Características de la obra	Tipo de obra, tipo de material y forma del material.	Correa, I. & Vernet, G. (2004). Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá problema de la erosión litoral en Urabá (Sector Arboletes – Turbo) Costa Caribe Colombiana.	
	Puntos de control.	Wan et al., 2002. Monitoring of breakwater structure: GPS versus geodetic method.	La metodología de este estudio fue acoplada para todas las obras de protección costera consignadas en la ficha.
Dimensiones	Longitud, ancho, altura, pendiente	Correa, I. & Vernet, G. (2004). Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá (Sector Arboletes – Turbo) Costa Caribe Colombiana.	En su estudio evaluó las características técnicas de las obras de protección costera.
	Asentamiento y distorsión angular	CIRIA C683. (2007). The Rock Manual. Monitoring, inspection, maintenance, and repair.	
Cambios físicos de la estructura	Fisuras, grietas, fracturas, escamado, erosión, exposición del acero, corrosión.	Jiménez, M. (2016). Determinación y evaluación de las patologías del concreto en columnas, vigas, sobrecimiento y muros de albañilería confinada del cerco perimétrico de la institución educativa María Reina de la Paz, distrito de Pariñas, región Piura.	Estos parámetros fueron evaluados de acuerdo con las patologías del concreto, porque la mayoría de las obras están construidas con este material.
	Punzamiento, desgarre, pérdida de costura, pérdida de contenido, abolladura, abrasión	Geotexan (2012). Geotextiles. Tomado de: https://geotexan.com/geotextiles-en-obras-lineales-funciones-y-aplicaciones/	Estos parámetros fueron elegidos tomando en cuenta las características de los geotextiles, las cuales hay posibilidad de

	y degradación fotoquímica.	SOLUCIONES AMBIENTALES. (n,d). Geotextil. Tomado de: https://www.geosai.com/geotextil/	que fallen en su manipulación.
Otros	Condiciones meteorológicas y oceanográficas. Instrumentos usados en campo.	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.	

5.3.2 Descripciones de la propuesta metodológica para el monitoreo de obras de protección costera estructurales

A continuación, se realiza la descripción de los parámetros que se deben tener en cuenta para llenar los campos de la ficha de monitoreo de obras de protección costera estructurales.

5.3.2.1 Generalidades

Del monitoreo

- **Fecha monitoreo:**

Allí se describe la fecha en la cual se realiza el monitoreo, esta debe estar en formato DD/MM/AAAA.

- **Hora de monitoreo:**

En este campo se debe escribir la hora en la que se lleva a cabo el monitoreo de la obra de protección costera. Se recomienda usar formato de 24h.

- **Responsable del monitoreo:**

La persona que realiza el monitoreo debe poner su nombre completo y su firma en este campo.

- **Monitoreo N°:**

En este campo se describe el número del monitoreo que se está llevando a cabo, este número debe ir de forma sucesiva y ascendente, en caso de que sea el primer monitoreo que se realiza a la obra se debe iniciar con el número uno (1).

- **Otro:**

En esta casilla se escribe algún dato adicional concerniente a las generalidades del monitoreo.

De la obra

- **Localización:**

En este campo se deben llenar las casillas de departamento, municipio, corregimiento y vereda (si aplica) de donde se encuentra la obra. En caso de que no se tenga alguno de los datos anteriores, se debe poner la palabra "NA".

- **Coordenadas de ubicación:**

Aquí se escribe la ubicación de la obra de protección costera en términos de coordenada (latitud y longitud), este dato se halla utilizando una estación total o un DGPS, en adelante, esta ubicación se llamará "punto de control de ubicación". Este punto se debe ubicar al inicio de cada obra y debe marcarse para que en cada monitoreo se tome la ubicación en el mismo lugar.

- **Orientación respecto al norte:**

Se debe poner el dato del ángulo que tiene la obra respecto al norte, este valor se puede tomar con brújula o a partir de unos puntos georreferenciados levantados con cualquier herramienta topográfica (estación total, DGPS, dron, entre otros) tomando como referencia el punto de ubicación descrito más adelante.

- **Responsable de la construcción:**

Este campo se llena escribiendo el nombre de la persona o empresa responsable de la construcción monitoreada, en caso de que no se tenga conocimiento de este nombre, se debe escribir "NA".

- **Fecha de construcción:**

Aquí se escribe la fecha de construcción de la obra en formato DD/MM/AAAA. En caso de que no se tenga este dato, se debe escribir "NA".

- **¿Está asociada a algún proyecto?:**

Este campo se llena respondiendo a la pregunta. Marque con X la opción "Si" o "No" si se tiene conocimiento de la respuesta, de lo contrario se marca la opción "NA". Si la respuesta es "Si", en la casilla de abajo responder a ¿cuál? proyecto está asociada la obra, si la respuesta fue "No" o "NA", se deja este campo en blanco.

- **¿Cuenta con permisos?:**

Este campo se llena respondiendo a la pregunta. Marque con X la opción "Si" o "No" si se tiene conocimiento de la respuesta, de lo contrario se marca la opción "NA". Si la respuesta es "Si", en la casilla de abajo responder con ¿cuáles? permisos cuenta la obra, si la respuesta fue "No" o "NA", se deja este campo en blanco.

- **¿La obra ha tenido reparaciones?:**

Este campo se llena respondiendo a esta pregunta, si se tiene conocimiento se marca con X el cuadro “Sí” o “No”, en caso de que no se tenga conocimiento de que la obra haya tenido reparaciones, se marca “NA”. En caso de que la respuesta a la pregunta anterior haya sido “Sí”, este campo se debe llenar con el número de reparaciones que haya tenido la obra. Si la respuesta fue “No” o “NA”, se deja este campo en blanco.

- **Fecha de la última reparación:**

Si la obra ha tenido reparaciones y si se tiene conocimiento de la fecha de la última reparación se llena este campo con el formato DD/MM/AAAA, si la obra no ha tenido reparaciones se deja este campo en blanco.

- **Otro:**

En esta casilla se escribe algún dato adicional concerniente a las generalidades de la obra.

- **Observaciones:**

En este campo, se agregan las observaciones que se tengan asociadas a las generalidades del monitoreo y de la obra, o para información o descripción adicional que sea importante agregar cuando se ha seleccionado la opción “Otro”.

5.3.2.2 Características de la obra

En este campo se especifican el tipo de obra, el tipo de material y la forma del material para describir las características de la obra monitoreada.

5.3.2.2.1 Tipo de obra

Aquí se debe marcar sólo un campo de acuerdo con el tipo de obra monitoreada. Marque X en el campo que cumpla todas las características que se detallan a continuación.

- **Espolón:**

Estructura dispuesta de forma perpendicular a la línea de costa que se puede construir con rocas o estructuras fabricadas de concreto y acero.

- **Revestimiento:**

Estructura protectora dispuesta de forma paralela y sobre la línea de costa o taludes inclinados. Puede ser construido con rocas o con estructuras fabricadas de concreto y acero.

- **Rompeola:**

Estructura dispuesta de forma paralela a cierta distancia de la línea de costa. El rompeola puede construirse con rocas o con estructuras fabricadas de concreto y acero.

- **Muro de contención:**

Estructura dispuesta sobre taludes frente al mar que absorben la energía del oleaje, se construyen comúnmente para proteger vías y/o viviendas, pueden fabricarse con concreto reforzado (Posada & Henao, 2008).

- **Geoestructura:**

Estructura compuesta por una cobertura protectora (tela o malla sintética) que sirve para encapsular el suelo y sustituir la roca como material tradicional. Es construida con geotextiles y llenada con arena (geocontenedores) o concreto (bolsacretos). Cabe resaltar que estas estructuras se pueden usar como espolones, rompeolas, etc., pero si en el monitoreo se halla

alguna estructura construida con geotextiles, se incluirá dentro de esta clasificación para analizar los cambios de dicha estructura (PIVALTEC, n.d).

- **Otro:**

Esta opción es marcada cuando la obra monitoreada no presenta las características de los tipos de obra anteriormente descritos.

5.3.2.2.2 Tipo de material

Aquí se deben marcar todas las casillas que acierten con el tipo de material de la obra monitoreada. Marque X en el campo que cumpla la descripción que se detalla a continuación.

- **Roca:**

Material natural que se extrae de canteras.

- **Acero:**

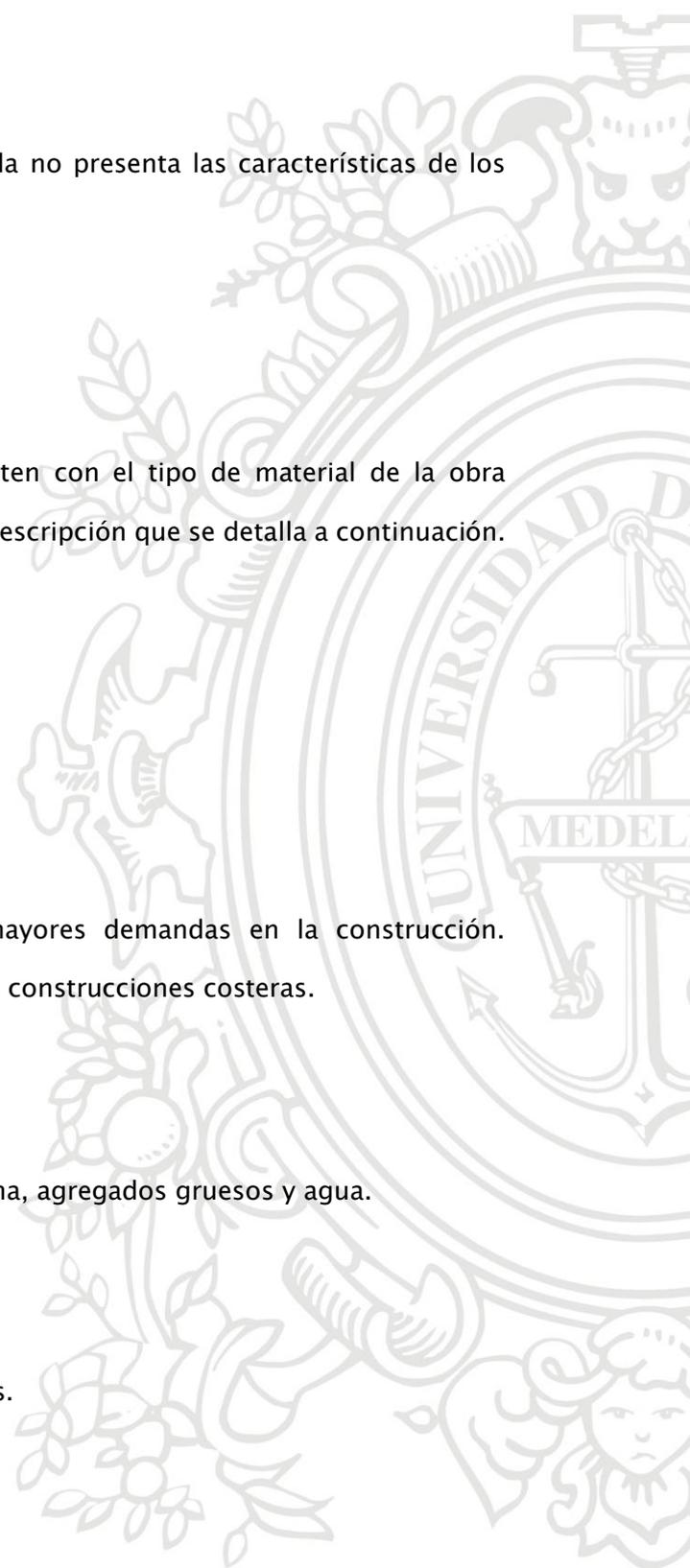
Aleación de hierro que constituye una de las mayores demandas en la construcción. Comúnmente se perciben en forma de varillas en las construcciones costeras.

- **Concreto:**

Material constituido de una mezcla de cemento, arena, agregados gruesos y agua.

- **Arena:**

Fragmentos sueltos de roca con pequeños diámetros.



- **Geotextil:**

Textil sintético formado en su mayoría de veces por cintas de polipropileno que pueden contener sedimentos mientras el agua fluye a través de ella (Geosintéticos Pavco Wavin, n.d.; MIRATECH, 2003).

- **Otro:**

Esta opción es marcada cuando la obra monitoreada no presenta en su material de construcción ninguna de las descripciones anteriormente descritas, o cuando contiene otro material que no se encuentra en las opciones de este campo.

5.3.2.2.3 Forma del material

Aquí se deben marcar todas las casillas que concuerden con la forma del material de la obra monitoreada. Marque X en el campo que cumpla la descripción que se detalla a continuación.

- **Tetrápodos:** Estructura de concreto reforzado con cuatro pies troncónicos (Zavala, 2019).
- **Pentápodos:** Estructura de concreto reforzado con cinco pies troncónicos.
- **Rectangular:** Pieza con forma semejante a un rectángulo.
- **Tubo:** Pieza con forma tubular.
- **Sacos:** Pieza que tiene forma de costal.
- **Irregular:** Pieza sin forma predeterminada.
- **Otro:** Otra forma de material que no se encuentre en las opciones anteriores.

5.3.2.2.4 Observaciones

En esta casilla se escriben datos relevantes durante el monitoreo de las características de la obra, como por ejemplo si hay alguna anomalía en el tipo o forma de material. También

aquí se describen los casos excepcionales cuando en los campos anteriores se selecciona la opción "Otro".

5.3.2.3 Dimensiones

En estas celdas se ingresan datos en términos de coordenada y distancia. En general para las obras de protección estudiadas. Las siguientes descripciones hacen referencia a las representaciones gráficas de cada una de las obras de protección incluidas en el formato de monitoreo, las cuales son mostradas más adelante en el apartado donde se describe la forma de medir las dimensiones para cada obra (Figura 16, 18, 20, 22, 24).

- Los puntos *Pc1*, *Pc2*, *Pc3*, *Pc4*, *Pc5*, *Pc6*, *Pc7* y *Pc8* (puntos negros) son puntos de control que son marcados sobre la obra en el primer monitoreo para llevar registro de las medidas. En estas casillas se ingresan las coordenadas de cada punto, cuyos datos se pueden hallar mediante el uso de una estación total o un DGPS.
- *A1*, *A2* y *A3* (líneas azules) son anchos de la obra. Estas distancias se hallan calculando el espacio entre dos puntos de control que se describen mas adelante.
- *l1*, *l2* y *l3* (líneas rojas) son longitudes de la obra. Se hallan calculando el espacio entre dos puntos de control que se describen mas adelante.
- *h1*, *h2*, *h3*, *h4*, *h5* y *h6* (letras verdes) son alturas respecto a la altura de referencia o a un punto de referencia. Se hallan con las coordenadas de algunos puntos de control, los cuales son escogidos a criterio del responsable del monitoreo dependiendo de su objetivo, aunque se recomienda escoger los puntos extremos de la obra o los que están más expuestos al oleaje o cambios de altura.
- **Asentamiento (*A_s*):** El asentamiento de una estructura se define como los movimientos o desplazamientos relativos de sus alturas causada principalmente por el desequilibrio o desestabilización del suelo donde se encuentra construida. Se pueden clasificar en asentamientos globales que representa un asentamiento vertical uniforme del estrato o la masa del suelo, por lo que no tiene consecuencias en la estructura construida sobre él, pero si son excesivos los desplazamientos podría producir daños en las

construcciones vecinas. Dentro de la clasificación también se encuentra el asentamiento diferencial, el cual se conoce como la desigualdad de asentamientos entre dos puntos de la estructura, provocando grietas leves o severas en la obra hasta el punto de comprometer la integridad de esta. Además de esto, el asentamiento diferencial se puede caracterizar mediante la distorsión angular β .

- **Distorsión angular (β):** Es la pendiente de la recta que forman los dos puntos en los que se conoce su asentamiento (Estuardo, 2018).

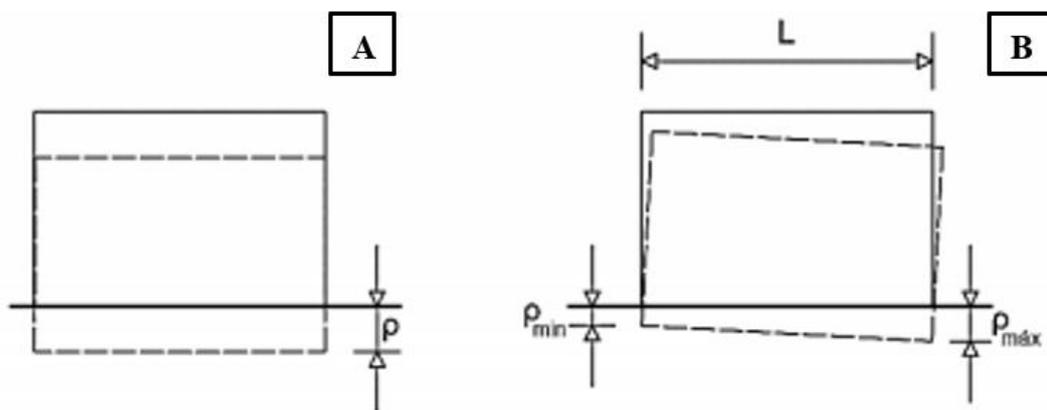


Figura 14. A) Asentamiento global. B) Asentamiento diferencial. Tomado de: Estuardo, 2018

β = Distorsión angular.

ρ = Asentamiento total en cualquier punto. Es la diferencia de altura de un mismo punto.

L = Distancia entre dos puntos donde se conozca su asentamiento.

$\Delta\rho$ = Asentamiento diferencial.

$$\beta = \frac{\Delta\rho}{L} = \frac{\rho_{m\acute{a}x} - \rho_{m\acute{i}n}}{L}$$

Cabe resaltar que, los puntos a escoger en la obra que será monitoreada para calcular el asentamiento diferencial y la distorsión angular serán a criterio de la persona quién realice el monitoreo dependiendo de su objetivo, aunque se recomienda escoger los puntos extremos de la obra o los que están más expuestos al oleaje o cambios de altura.

- Espolón

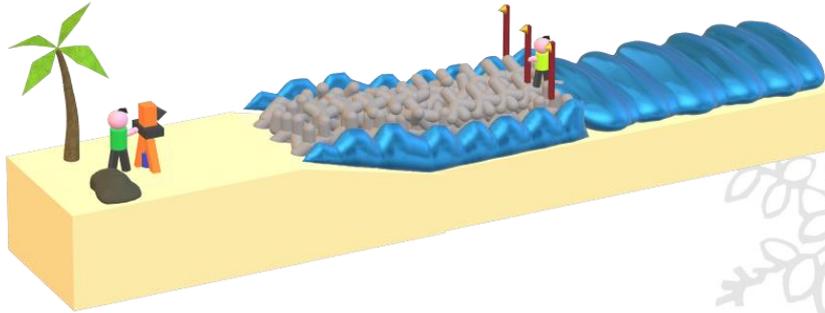


Figura 15. Representación gráfica de la toma de datos en campo en un espolón

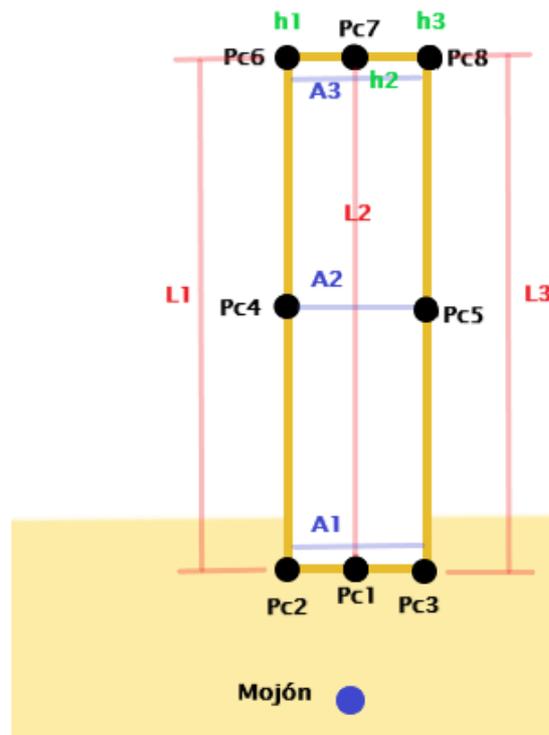


Figura 16. Ilustración de puntos de control y dimensiones tomadas en un espolón

En la siguiente tabla se describe como hallar las medidas en un espolón mostradas en la figura anterior.

Tabla 5. Descripción de toma de datos en un espolón.

Medida	Distancia entre:
A ₁	Pc2 y Pc3
A ₂	Pc4 y Pc5
A ₃	Pc6 y Pc8
l ₁	Pc2 y Pc6
l ₂	Pc1 y Pc7
l ₃	Pc3 y Pc8

- Rompeolas

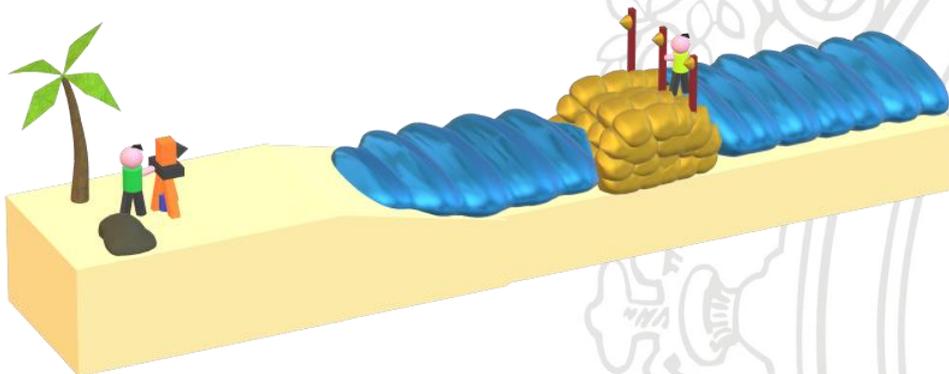


Figura 17. Representación gráfica de la toma de datos en campo en un rompeola

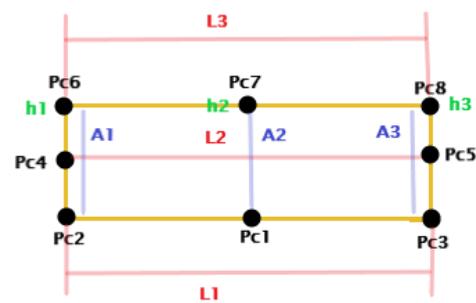


Figura 18. Ilustración de puntos de control y dimensiones tomadas en un rompeola

En la siguiente tabla se describe como hallar las medidas en un rompeola mostradas en la figura anterior.

Tabla 6. Descripción de toma de datos en un rompeola.

Medida	Distancia entre:
A ₁	Pc2 y Pc6
A ₂	Pc1 y Pc7
A ₃	Pc3 y Pc8
l ₁	Pc2 y Pc3
l ₂	Pc4 y Pc5
l ₃	Pc6 y Pc8

- Revestimiento

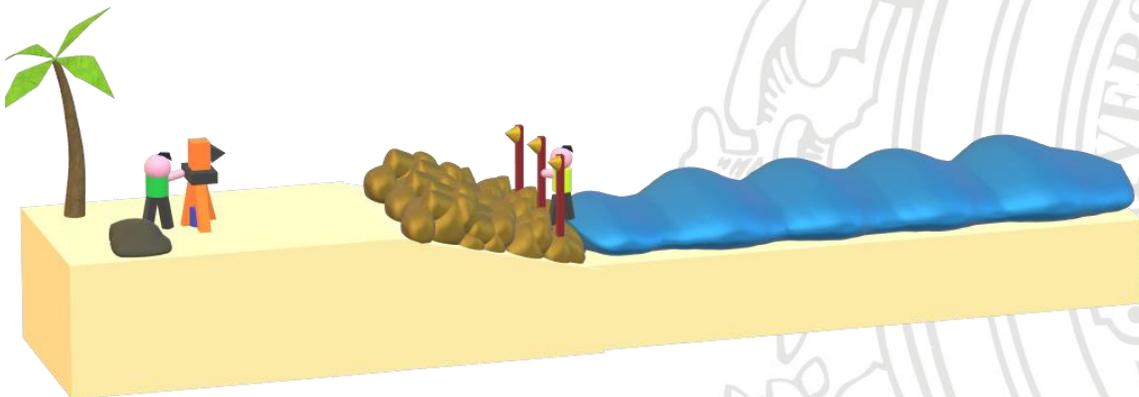


Figura 19. Representación gráfica de la toma de datos en campo en un revestimiento

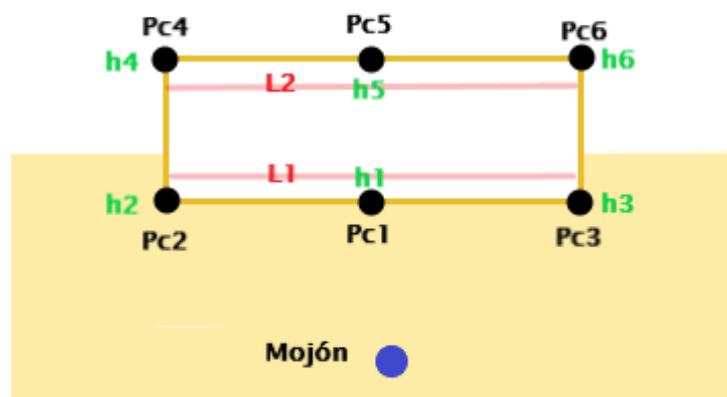


Figura 20. Ilustración de puntos de control y dimensiones tomadas en un revestimiento

En la siguiente tabla se describe como hallar las medidas en un revestimiento mostradas en la figura anterior.

Tabla 7. Descripción de toma de datos en un revestimiento.

Medida	Distancia entre:
l_1	Pc2 y Pc3
l_2	Pc4 y Pc6

Además de esto, para un revestimiento se toma medidas para el cálculo de pendiente en diferentes puntos, de los cuales su elección dependerá del responsable del monitoreo de acuerdo a la finalidad de este. Se recomienda tomar datos al menos en los extremos de la obra y en la mitad, aunque se puede calcular la pendiente en varios puntos donde se considere necesario o donde se visualice un cambio de pendiente abrupto. En este caso (Figura 20), se puede hallar tres pendientes: θ_1 (entre Pc2 y Pc4), θ_2 (entre Pc1 y Pc5) y θ_3 (entre Pc3 y Pc6).

- **Muro de contención**

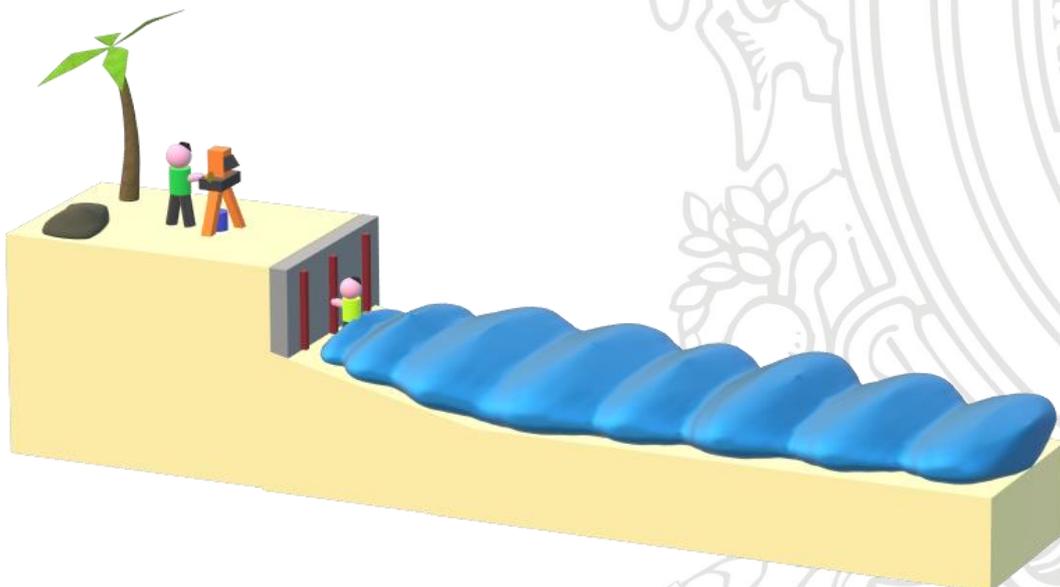


Figura 21. Representación gráfica de la toma de datos en campo en un muro de contención

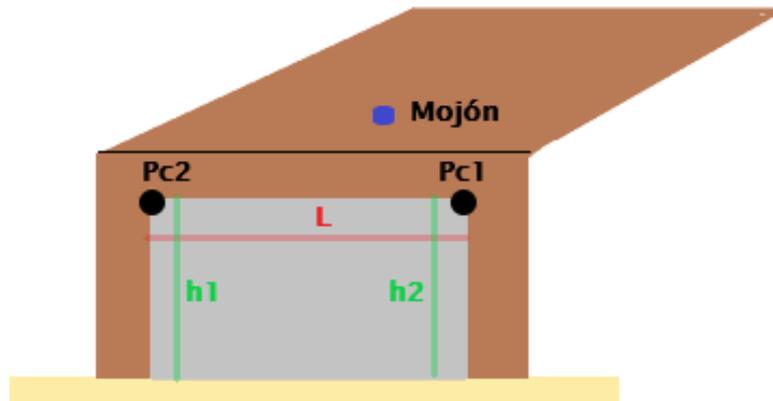


Figura 22. Ilustración de puntos de control y dimensiones tomadas en un muro de contención

Para obtener la longitud horizontal de un muro de contención, se halla la diferencia entre Pc1 y Pc2 (Figura 22) y así mismo para el cálculo del asentamiento diferencial y su distorsión angular.

- **Geoestructura**

Dentro de esta clasificación están incluidas las estructuras tubulares y bolsacretos que son las más usadas en el caribe para el control de erosión, por tanto, a continuación se describe como monitorear sus dimensiones.

✓ *Para una estructura tubular:*

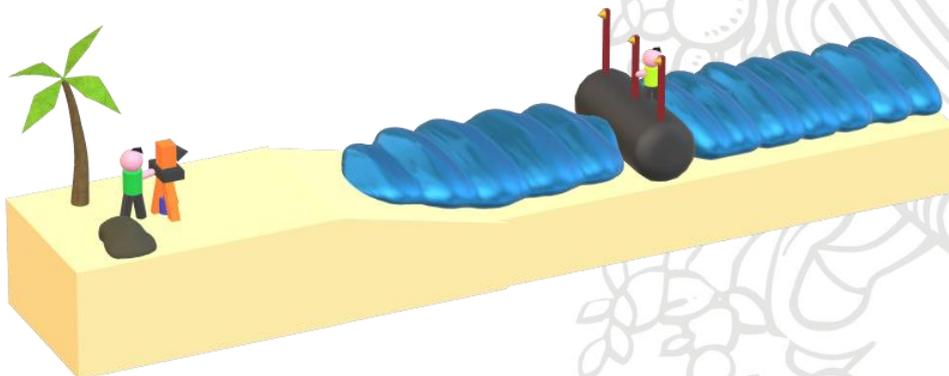


Figura 23. Representación gráfica de la toma de datos en campo en una estructura tubular

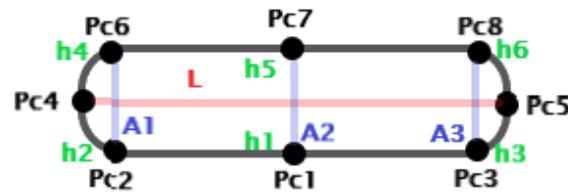


Figura 24. Ilustración de puntos de control y dimensiones tomadas en una estructura tubular

En la siguiente tabla se describe como hallar las medidas en una estructura tubular mostradas en la figura anterior.

Tabla 8. Descripción de toma de datos en una estructura tubular.

Medida	Distancia entre:
A ₁	Pc2 y Pc6
A ₂	Pc1 y Pc7
A ₃	Pc3 y Pc8
l	Pc4 y Pc5

✓ *Para un bolsacreto:*

En este caso, la técnica para medir las dimensiones en un bolsacreto es la misma que se usa para un revestimiento, como se muestra en la Figura 20 y Figura 25 y se describe en la Tabla 7.

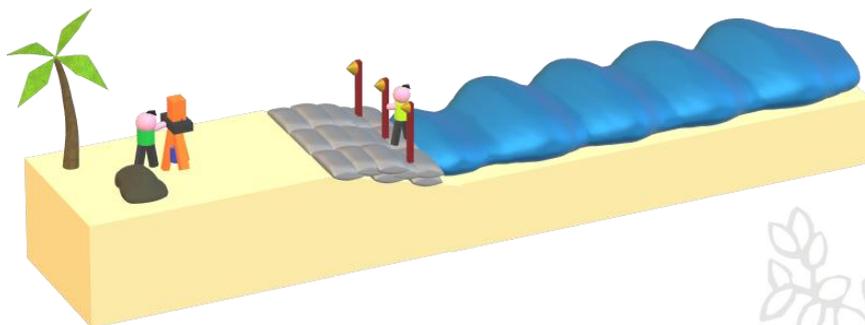


Figura 25. Representación gráfica de la toma de datos en campo en un bolsacreto

5.3.2.4 Cambios físicos de la estructura

En este campo se determinarán los cambios físicos que puede presentar la estructura durante su vida útil. A continuación, se presentan los tipos de cambios que se pueden presentar y se deben marcar con una X todas las opciones que la estructura presente. Para una geoestructura y un muro de contención se analizan estos cambios alrededor de toda la obra como tal, pero para un espolón, un rompeola y un revestimiento se examina en ciertos puntos de control, preferiblemente en aquellos donde la obra esté más expuesta a agentes que la afecten como el oleaje. De igual forma el responsable del monitoreo puede escoger los puntos de control que considere más conveniente según el objetivo del monitoreo.

- **Fisuras/grietas/fracturas:**

Son hendiduras o roturas superficiales o profundas en la masa del concreto que se desarrollan de forma lineal y se diferencian de acuerdo con el ancho de la anomalía. Estas áreas patológicas proporcionan información de la estética, durabilidad y de las características estructurales de la obra que pueden inducir a la falla de esta.

Las fisuras son estrechas y alargadas con anchos menores a 0,4 mm y se presentan de forma superficial en la estructura, son de menor gravedad y por tanto no implican problemas estructurales relevantes en la obra. Cabe resaltar que si la fisura evoluciona con el tiempo puede convertirse en una grieta o una fractura que si conllevan a daños estructurales.

Las grietas son aberturas con anchos entre 0,4 mm y 1 mm. Se caracterizan por ser bien marcadas y más profundas en comparación de las fisuras, además de comprometer un mayor espesor de la estructura lo que puede conllevar a la exposición del interior de la obra al aire y al agua y en consecuencia producir reacciones químicas en el material o corrosión de la armadura, que ponen en riesgo las características estructurales óptimas de la obra para su funcionamiento, por tanto, en presencia de esto se requiere atención inmediata para determinar las posibles causas y soluciones a implementar.

Las fracturas son más acentuadas y profundas con anchos entre 1 mm y 5 mm. Estas son detectadas a simple vista por su magnitud y son más peligrosas que las fisuras y las grietas porque en este punto ocurre la ruptura del elemento estructural lo que puede afectar la seguridad de la obra (ArchDaily Colombia, 2017; Nicolas, R., 2007).

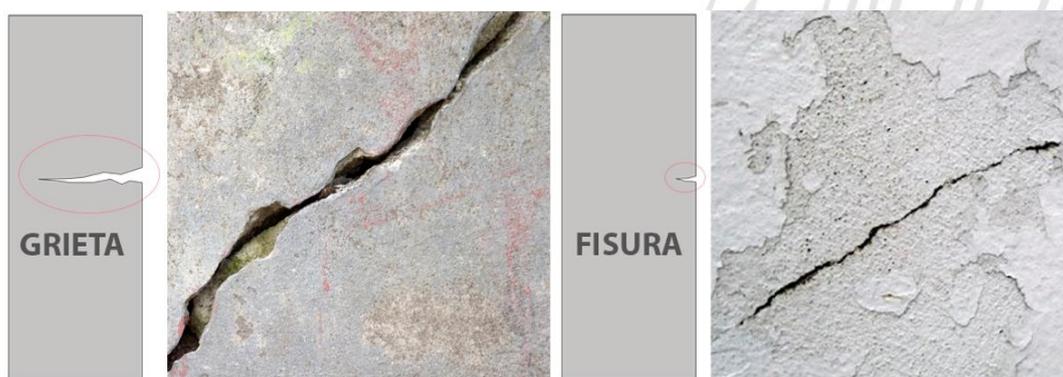


Figura 26. Diferencia entre grieta y fisura. Modificado de: (Blog Paqsa, n.d.; Grietaspared.com, 2017)

- **Escamado**

Perdida de escamas o laminillas de la porción próxima a la superficie del hormigón o mortero endurecido, se identifican usualmente en fragmentos en forma de laminilla que se desprende de la masa de concreto por expansión o arrastre por agua.

Escamado leve no expone el agregado grueso del hormigón.

Escamado medio implica pérdida de mortero superficial hasta una profundidad de 5 a 10 mm y exposición del agregado grueso.

Escamado severo implica pérdida de mortero superficial hasta una profundidad de 5 a 10 mm con alguna pérdida de partículas de agregado del área circundante hasta una profundidad de 10 a 20 mm.

Escamado muy severo implica la pérdida de partículas de agregado grueso y mortero generalmente hasta una profundidad mayor que 20 mm (Jiménez, 2016).



Figura 27. Representación del escamado. Tomado de: Jiménez, 2016

- **Erosión**

Deterioro progresivo de un sólido por la acción abrasiva de fluidos o sólidos en movimiento (Jiménez, 2016). En este caso, producido principalmente por acciones mecánicas del oleaje, este dependerá de la frecuencia y densidad del agua de mar. Se puede apreciar por desgaste no uniforme de la superficie de concreto.



Figura 28. Representación de la erosión. Tomado de: (Jiménez, 2016).

- **Exposición del acero**

Se evidencia que hay exposición cuando a través de fisuras o grietas se logra apreciar el acero o partes de la armadura.



Figura 29. Representación de la exposición del acero. Tomado de: (ARGOS 360, n.d.)

- **Corrosión**

La corrosión es consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno, en este caso, como se encuentra en un ambiente marino se ve afectado principalmente por efectos del cloruro y se manifiesta la presencia de corrosión de varias formas que pueden estar presentes simultáneamente o no: expansión del acero de refuerzo, fisuración interna del concreto, baja adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo y reducción de la sección transversal del acero de refuerzo, decreciendo su capacidad mecánica (Group Toxement, 2017).



Figura 30. Representación de la corrosión. Tomado de: (MÁS QUE INGENIERÍA, n.d.)

- **Punzamiento**

Es la perforación del geotextil que es provocado por una carga estática como la compactación del material o por objetos cortopunzantes. Esta perforación suele ser una abertura pequeña, como una punzada.

- **Desgarre**

Es la propagación de una rotura local en el geotextil, es decir, si el geotextil ya ha sufrido algún punzamiento o corte y este se haya extendido. También puede ser producido por una sobre carga o sobre tensión.

- **Pérdida de costura**

Es el desprendimiento de partes del geotextil provocado por el desgarre excesivo del mismo (Geotexan, 2014).

- **Pérdida de contenido**

Es la pérdida del material de llenado del geotextil. Se puede evidenciar por el cambio de volumen o geometría inicial de la estructura.

- **Abolladura**

Son depresiones o hundimientos sobre el geotextil, que pueden ser producidos por golpes directos a la estructura o por pérdida de material de llenado.

- **Abrasión**

Es el desgaste del geotextil producido por el rozamiento del oleaje y el viento que viene cargado de sedimentos o porque la obra ya lleva mucho tiempo de construida y está finalizando su vida útil.

- **Degradación fotoquímica**

Se puede evidenciar por el cambio de color en el geotextil y/o degradación del mismo debido a la exposición a altas temperaturas

- **Observaciones**

En esta celda se escriben los cambios o anomalías que pueda presentar la obra y que no se encuentre dentro de los ya mencionados en la ficha, o que se quiera añadir algún comentario acerca de los cambios físicos registrados.

5.3.2.5 Otros

- **¿Hay presencia de biota?**

En esta casilla se debe marcar con una X “sí” o “no” si existe presencia de organismos como moluscos, crustáceos, algas, entre otros.

- **¿Hay señales antrópicas?**

Aquí debe quedar registrado si hay presencia de señales antrópicas, en caso de que sí halla, se debe poner qué clase de señales hay (basuras, escombros, etc.), si no hay señales, se pone la palabra “no”.

- **Condiciones meteorológicas y oceanográficas:**

En la casilla de velocidad del viento y oleaje se debe describir el comportamiento de estas variables en el momento en que se esté realizando el monitoreo. Esta descripción se hará usando las palabras “leve”, “moderado” o “alto” según sea la intensidad del comportamiento de la variable, mediante observación directa. En caso de que se identifique otra variable

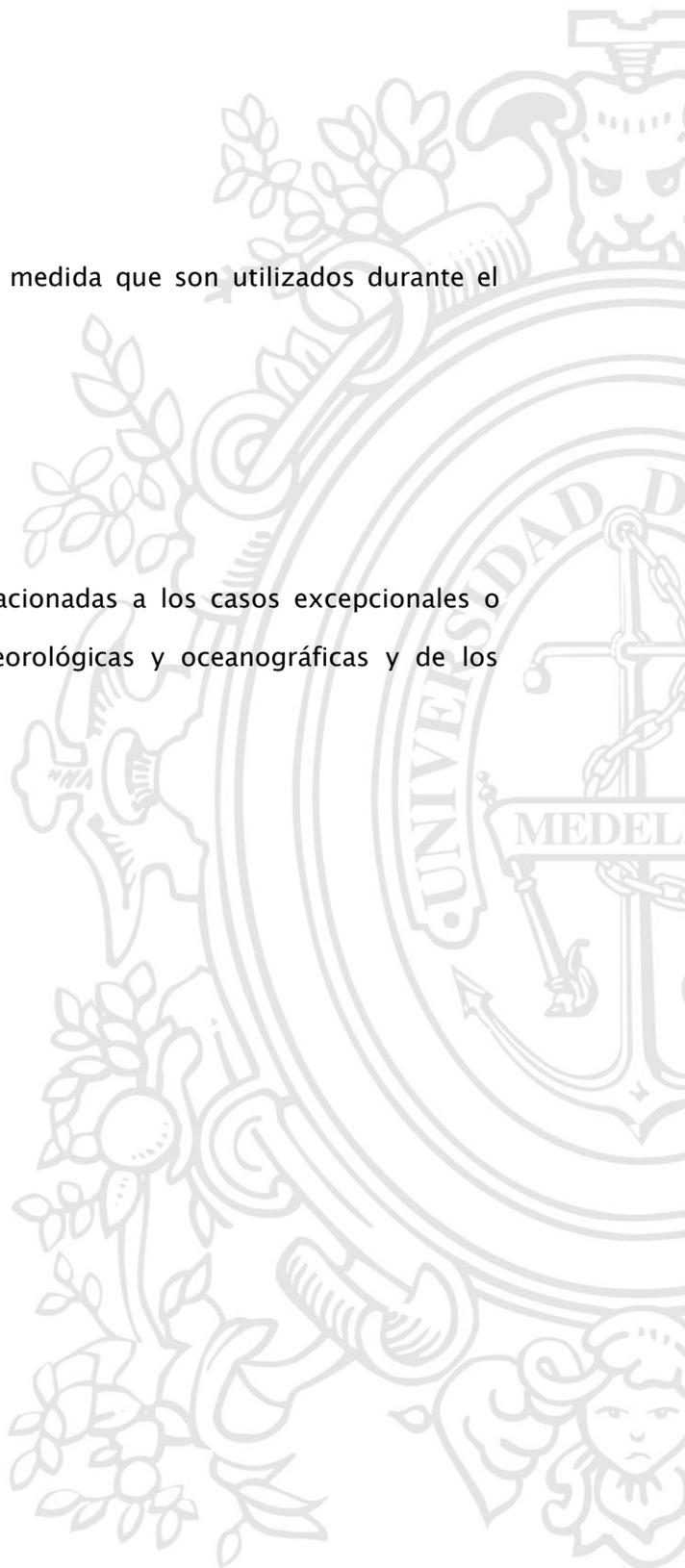
meteorológica u oceanográfica que se pueda visualizar, escribirla en la casilla “Otro” y describir sus características en la casilla de observaciones.

- **Instrumentos usados en campo:**

Aquí se debe consignar todos los instrumentos de medida que son utilizados durante el monitoreo de las obras de protección costera.

- **Observaciones:**

En este campo se escribirán las observaciones relacionadas a los casos excepcionales o descripciones adicionales de las condiciones meteorológicas y oceanográficas y de los instrumentos usados en campo.



6 CONCLUSIONES

- En los municipios de Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá y Arboletes se identificaron un total de 195 obras de protección costera estructurales, entre las cuales se encontraron rompeolas, geotubos, bolsacretos, espolones, muros de contención y enrocados, de las cuales la estructura más usada fue el espolón y la menos usada el geotubo.
- Entre los municipios donde se realizó el inventario de obras de protección costera estructurales, se evidenció que Necoclí presentó el mayor número de estructuras instaladas en la línea de costa y San Juan de Urabá el municipio con la menor cantidad registrada.
- Se registraron 5 estudios referentes a inventarios de obras de protección costera en el litoral antioqueño, de los cuales tres de ellos (Correa & Vernet, 2004; CORPOURABA, 2016 y CORPOURABA, 2018) fueron los que ofrecieron mayor información de la zona, usaron metodologías de monitoreo y análisis de datos similares, lo que permitió realizar una comparación de la evolución en la rigidización de la línea de costa relacionado a las obras de protección y de la afectación de estas en el entorno.
- Se diseñó una propuesta de formato para la recolección de datos en campo, diseñada para el monitoreo de las obras de protección costera estructurales, la cual estuvo direccionada para las obras registradas en el inventario realizado a lo largo del litoral antioqueño.
- La ficha de campo para el monitoreo de obras de protección costera se construyó con el objeto de facilitar la recolección y agrupación de datos en campo y que fuera de fácil acceso y diligenciamiento para el responsable del monitoreo.

7 RECOMENDACIONES

- Durante los monitoreos estructurales de las obras de protección costera, se recomienda hacer estudios simultáneos del desempeño de estas, de tal forma que se puedan realizar analogías entre la salud estructural de la obra, su eficiencia y los objetivos de diseño. Además, también es importante hacer seguimiento al impacto ambiental que la obra produce a lo largo de su vida útil, debido a que la construcción de estas estructuras tiene influencia en las condiciones oceanográficas con las que inicialmente se tomaron en cuenta para la construcción y que puede producir efectos secundarios en el entorno. Con esta información se crea una malla de datos base que servirá como herramienta para el análisis de los cambios de la obra y su entorno a lo largo del tiempo.
- En relación con la periodicidad de los monitoreos, serán determinados por la gravedad de los daños estructurales que la obra presente en el tiempo y la necesidad de mantenimiento. También dependerá de los eventos extremos como tormentas que afecten la integridad de la obra. Aunque, si en la etapa de diseño de la obra se solicita realizar monitoreos periódicos, se recomienda hacerlos después de las épocas de lluvia o al menos una vez por año.
- Se recomienda que todos los monitoreos a las obras de protección costera se ejecuten con la misma metodología y los mismos instrumentos de medición, para así evidenciar los cambios y anomalías y que los resultados sean confiables.
- Debido a que las dimensiones de las obras de protección costera a monitorear son relativamente pequeñas en comparación con el área de influencia, se sugiere utilizar instrumentos de medida con alta precisión, para que los datos se asemejen más a la realidad y las comparaciones entre monitoreos tengan baja margen de error.

- Se recomienda seguir trabajando en el mejoramiento de la propuesta del formato de campo para el monitoreo estructural de las obras de protección costera, retroalimentando los parámetros de seguimiento y añadiendo nueva información que sea relevante y fundamental para el monitoreo. Además, se sugiere crear una metodología para el procesamiento de los datos recolectados en campo con la ficha de monitoreo y con ello tener una herramienta útil y eficaz para la visualización de cambios y anomalías estructurales en las obras.



8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANCORIM (n.d). Soluciones alternativas para la protección de las costas. Recuperada Octubre 2, 2020. Tomado de: https://corimat.net/wp-content/uploads/2017/03/2_Outil2_56P_ES.pdf
- ANLA. (2016). Términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental –EIA en proyectos de construcción de obras marítimas duras de control y protección costera, y de regeneración de dunas y playas.
- ArchDaily Colombia. (2017). ¿Qué significan las grietas en las estructuras de hormigón? Recuperado Julio 9, 2020. Tomado de: <https://www.archdaily.co/co/880210/que-significan-las-grietas-en-las-estructuras-de-hormigon>
- ARGOS 360. (n.d.). Corrosión del acero de refuerzo. Recuperado Julio 9, 2020. Tomado de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/concreto/corrosion-del-acero-de-refuerzo>
- Bernal, G., et al. (2005). La complejidad de la dimensión física en la problemática costera del Golfo de Urabá, Colombia.
- Blog Paqsa. (n.d.). Diferencia entre grieta y fisura en muros. Recuperado Julio 9, 2020, Tomado de: <http://blog.paqsa.com.mx/diferencia-entre-grieta-y-fisura/>
- CIMAR. (n.d.). Manifestación de impacto ambiental, modalidad particular para el proyecto de obras de protección costera en Las Glorias, Sinaloa.
- CORIMAT. (n.d.). Erosión. Tomado de: <https://corimat.net/es/erosion/>
- CORPOURABA. (2016). Inventario de obras de defensa costera.
- 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.
- Correa, I, et al. (2007). Erosión litoral entre Arboletes y punta San Bernardo, costa Caribe colombiana. *Boletín de Geología*, 29(2), 115-129.
- Correa, I. & 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*, (0122-9761), 5-26.

- DIMAR. (1984). Decreto ley 2324 de 1984. Tomado de: <https://www.dimar.mil.co/node/620>
- DIMAR. (2018). Resolución 135 de 2018. Tomado de: <https://www.dimar.mil.co/node/441>.
- Estuardo, D. (2018). *Conexiones de placa de ala emperrada (BFP) en marcos de acero y su comportamiento bajo la influencia de asentamientos diferenciales*. Universidad San Carlos de Guatemala.
- Freebairn, D. M., Loch, R. J., & Silburn, D. M. (1996). Soil erosion and soil conservation for vertisols. *Developments in Soil Science*, 24(C), 303–362. Tomado de: [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(96\)80011-0](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(96)80011-0)
- Geosinteticos Pavco Wavin. (n.d.). Geotextiles Tejidos. Recuperado Julio 9, 2020, Tomado de: <https://pavcowavingeosinteticos.com/geotextiles-tejidos/>
- Geotexan (2014). Geotextiles. Recuperado de: <https://geotexan.com/propiedades-de-los-geotextiles/>
- Grietaspared.com. (2017, April 7). Diferencia entre grieta y fisura en construcción. Recuperado Julio 9, 2020, Tomado de: <https://grietaspared.com/diferencia-entre-grieta-y-fisura/>
- Group Toxement. (2017). Patología corrosión en el acero de refuerzo, (1), 5. Tomado de: http://www.toxement.com.co/media/3413/patologi-a_corrosio-n.pdf
- Jiménez, M. (2016). *Determinación y evaluación de las patologías del concreto en columnas, vigas, sobrecimiento y muros de albañilería confinada del cerco perimétrico de la institución educativa María Reina de la Paz, distrito de Pariñas, región Piura, agosto – 2016*. Universidad Católica Los Ángeles Chimbote.
- Larrea, L., et al (2019). Caracterización de la oferta y la demanda turística en el litoral Caribe de Antioquia – Colombia. *Revista de Turismo, Patrimonio y Desarrollo*.
- Martinez, J. . (1993). Geomorfología y amenazas geológicas de la línea de costa del Caribe central colombiano (sector Cartagena–Bocas de Ceniza). *INGEOMINAS*, 1–62.
- MÁS QUE INGENIERÍA. (n.d.). Corrosión del acero en el hormigón armado. Recuperado Julio 9, 2020. Tomado de: <https://masqueingenieria.com/blog/corrosion-acero-hormigon-armado/>
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2009). Resolución Numero 1667.
- MIRATECH. (2003). Estructuras marinas (p. 13).

- Nicolas, R. (2007). Patologías en estructuras de hormigón armado aplicado a Marquesina del parque saval. Universidad Austral de Chile.
- Page, W. . (1986). Seismic Geology and Seismicity of Northwestern Colombia, ISA-Integral. *Woodward & Clyde Consultants*, 156.
- Pereira, C., et al. (2019). An evaluation of human interventions in the anthropogenically disturbed Caribbean Coast of Colombia. ELSEIVER.
- PIVALTEC. (n.d). Geoestructuras. Recuperado de:
<https://www.geosinteticos.com/geoestructuras/>
- Posada, B., & Henao, W. (2008). *Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe Colombiano*. Santa Marta: INVEMAR.
- PRIF. (2017). *Guidance for coastal protection works in Pacific island countries*. Sydney.
- Proyecto de Ley No. 008-14 Senado, (2014). Recuperado de:
<http://leyes.senado.gov.co/proyectos/images/documentos/Textos%20Radicados/proyectos%20de%20ley/2014%20-%202015/PL%20008-14%20Ley%20de%20Costas.pdf>
- Rangel-Buitrago, N., et al. (2012). Obras de defensa costeras en el Caribe colombiano ¿Solución o problema? *I Congreso Iberoamericano de Gestión Integrada de Áreas Litorales - 2012*. Tomado de: <https://doi.org/10.13140/2.1.4854.0484>
- Restrepo, J. (2005). *Los sedimentos del río Magdalena: un reflejo de la crisis ambiental*. Medellín: EAFIT.
- Salles, P., & Silva, R. (2003). Infraestructura de protección costera. *Instituto de Ingeniería UNAM*, 180-190.
- Schutte, C., et al. (2017). *PLAN MAESTRO DE EROSIÓN COSTERA COLOMBIA - RESUMEN*. Tomado de: [https://www.arcadis.com/media/3/2/1/%7B3218C2E2-50C7-49CB-8A38-2FF72606CB23%7DMasterplan kusterosie Colombia_PMEC_Informe Principal_final_20171103_FINAL_ESENG - summary.pdf](https://www.arcadis.com/media/3/2/1/%7B3218C2E2-50C7-49CB-8A38-2FF72606CB23%7DMasterplan%20kusterosie%20Colombia_PMEC_Informe%20Principal_final_20171103_FINAL_ESENG-%20summary.pdf)
- Thomas, Y., et al. (2007). El paisaje en el Golfo. In *Atlas del golfo de Urabá: una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó* (pp. 77-78).
- USACE. (2002). Coastal Engineering Manual. *Coastal Engineering Manual, 1100*(August 2001), 1-62.
- Vernette, G. (1985). *La plateforme continentale Caraïbe de Colombie (du débouche du*

Magdalena au golfe de Morrosquillo. Université de Bordeaux.

Zavala, S. (2019). *Diseño de un rompeolas usando tetrapodos para la protección de Puerto*

Baquerizo Moreno (Galápagos). Universidad de Especialidades Espíritu Santo.



9 ANEXOS

Anexo A. Formato de campo. Diagnóstico de obras de protección costera

		CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL URABÁ			
		- CORPOURABA -			
Subdirección de Gestión y Administración Ambiental					
FORMATO DE CAMPO: SEGUIMIENTO A OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA					
ANTECEDENTES					
Nombre del responsable				Hora de visita:	
Fecha de construcción		¿Está asociado a algún proyecto?		SÍ	No
		¿Cuenta con permisos?		Sí	No
LOCALIZACIÓN			COORDENADAS		
Departamento			Inicio		Final
Municipio			Latitud		Latitud
Vereda			Longitud		Longitud
Corregimiento			Altura (m.s.n.m)		Altura (m.s.n.m)
CARACTERÍSTICAS CUALITATIVAS DE LA OBRA					
Clasificación de la obra		No rígida		Rígida	
Tipo de obra		Observaciones (estado):			
Tipo de material					
Forma del material					
Orientación con respecto a la línea de costa			Orientación con respecto al norte		
Grafico:					
CARACTERÍSTICAS CUANTITATIVAS DE LA OBRA					
Longitud (m)		Ancho (m)		Profundidad emergida (m)	Profundidad sumergida (m)
Volumen (m³)					
Pendiente					
CONDICIONES METEOROLÓGICAS Y OCEANOGRÁFICAS					
Oleaje			Velocidad del viento		
INSTRUMENTOS USADOS EN CAMPO					
Fecha de Visita			Responsable de visita		
Este formato de campo no es definitivo y podrá ser sujeto a modificaciones.					

Anexo B. Ficha de campo para el monitoreo estructural de obras de protección costera estructurales

FICHA DE MONITOREO DE OBRAS DE PROTECCIÓN COSTERA ESTRUCTURALES			
GENERALIDADES			
Del monitoreo			
Fecha monitoreo:		Hora de monitoreo:	
Responsable del monitoreo:			
Monitoreo N°:		Otro:	
De la obra			
Localización:		Coordenadas de ubicación:	
Departamento:		Latitud:	
Municipio:		Longitud:	
Corregimiento:		Orientación respecto al norte:	
Vereda:			
Responsable de la construcción:			
Fecha de construcción:			
¿Está asociada a algún proyecto?	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> NA
	¿Cuál?:		
¿Cuenta con permisos?	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> NA
	¿Cuáles?:		
¿La obra ha tenido reparaciones?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> NA		¿cuántas?:
Fecha de la última reparación:		Otro:	
Observaciones			
CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA			
Tipo de obra:	<input type="checkbox"/> Espolón	<input type="checkbox"/> Rompeola	<input type="checkbox"/> Geoestructura
	<input type="checkbox"/> Revestimiento	<input type="checkbox"/> Muro de contención	<input type="checkbox"/> Otro
Tipo de material:	<input type="checkbox"/> Roca	<input type="checkbox"/> Concreto	<input type="checkbox"/> Geotextil
	<input type="checkbox"/> Acero	<input type="checkbox"/> Arena	<input type="checkbox"/> Otro
Forma del material:	<input type="checkbox"/> Tetrápodos	<input type="checkbox"/> Pentápodos	<input type="checkbox"/> Rectangular
	<input type="checkbox"/> Tubo	<input type="checkbox"/> Sacos	<input type="checkbox"/> Otro
Observaciones			

DIMENSIONES (m)			
Espolón/rompeola:			
Pc1:		Pc5:	
Pc2:		Pc6:	
Pc3:		Pc7:	
Pc4:		Pc8:	
Longitud (l):	l_1 :	l_2 :	l_3 :
Ancho (A):	A_1 :	A_2 :	A_3 :
Altura respecto al punto de referencia	h_1 :	h_2 :	h_3 :
Asentamiento (As):	As_1 :	As_2 :	As_3 :
Distorsión angular (β):	β_1 :	β_2 :	
Observaciones			
Revestimiento:			
Pc1:		Pc4:	
Pc2:		Pc5:	
Pc3:		Pc6:	
Longitud (l):		l_1 :	
		l_2 :	
Altura (h):		h_1 :	h_2 :
		h_3 :	h_4 :
		h_5 :	h_6 :
Pendiente (θ):		θ_1 :	
		θ_2 :	
		θ_3 :	
Asentamiento (As):			
As_1 :	As_2 :	As_3 :	As_4 :
Distorsión angular (β):			
β_1 :	β_2 :	β_3 :	β_4 :
Observaciones			
Muro de contención:			
Pc1:		Pc2:	
Longitud (l):		l_1 :	
Altura (h):		h_1 :	
		h_2 :	
Asentamiento (As):		As_1 :	As_2 :
Distorsión angular (β):		β :	
Observaciones			

Geoestructura:			
Pc1:		Pc5:	
Pc2:		Pc6:	
Pc3:		Pc7:	
Pc4:		Pc8:	
Longitud (l):		l_1 :	
Ancho (A):		A_1 :	
		A_2 :	
		A_3 :	
Altura (h):		h_1 :	h_4 :
		h_2 :	h_5 :
		h_3 :	h_6 :
Asentamiento (As):			
As_1 :	As_2 :	As_3 :	As_4 :
Distorsión angular (β):			
β_1 :	β_2 :	β_3 :	β_4 :
Observaciones			
CAMBIOS FISICOS DE LA ESTRUCTURA			
Espolón/Rompeola			
Punto de control 2	Punto de control 3	Punto de control 6	Punto de control 8
<input type="checkbox"/> Fisura	<input type="checkbox"/> Fisura	<input type="checkbox"/> Fisura	<input type="checkbox"/> Fisura
<input type="checkbox"/> Grieta	<input type="checkbox"/> Grieta	<input type="checkbox"/> Grieta	<input type="checkbox"/> Grieta
<input type="checkbox"/> Fractura	<input type="checkbox"/> Fractura	<input type="checkbox"/> Fractura	<input type="checkbox"/> Fractura
<input type="checkbox"/> Erosión	<input type="checkbox"/> Erosión	<input type="checkbox"/> Erosión	<input type="checkbox"/> Erosión
<input type="checkbox"/> Exposición del acero	<input type="checkbox"/> Exposición del acero	<input type="checkbox"/> Exposición del acero	<input type="checkbox"/> Exposición del acero
<input type="checkbox"/> Corrosión	<input type="checkbox"/> Corrosión	<input type="checkbox"/> Corrosión	<input type="checkbox"/> Corrosión
<input type="checkbox"/> Otro	<input type="checkbox"/> Otro	<input type="checkbox"/> Otro	<input type="checkbox"/> Otro
Revestimiento			
Punto de control 2	Punto de control 3	Punto de control 4	Punto de control 6
<input type="checkbox"/> Fisura	<input type="checkbox"/> Fisura	<input type="checkbox"/> Fisura	<input type="checkbox"/> Fisura
<input type="checkbox"/> Grieta	<input type="checkbox"/> Grieta	<input type="checkbox"/> Grieta	<input type="checkbox"/> Grieta
<input type="checkbox"/> Fractura	<input type="checkbox"/> Fractura	<input type="checkbox"/> Fractura	<input type="checkbox"/> Fractura
<input type="checkbox"/> Erosión	<input type="checkbox"/> Erosión	<input type="checkbox"/> Erosión	<input type="checkbox"/> Erosión
<input type="checkbox"/> Exposición del acero	<input type="checkbox"/> Exposición del acero	<input type="checkbox"/> Exposición del acero	<input type="checkbox"/> Exposición del acero
<input type="checkbox"/> Corrosión	<input type="checkbox"/> Corrosión	<input type="checkbox"/> Corrosión	<input type="checkbox"/> Corrosión
<input type="checkbox"/> Otro	<input type="checkbox"/> Otro	<input type="checkbox"/> Otro	<input type="checkbox"/> Otro
Geoestructura			
<input type="checkbox"/> Punzamiento	<input type="checkbox"/> Desgarre	<input type="checkbox"/> Pérdida de costura	<input type="checkbox"/> Pérdida de contenido
<input type="checkbox"/> Abolladura	<input type="checkbox"/> Abrasión	<input type="checkbox"/> Degradación fotoquímica	<input type="checkbox"/> Otro

Muro de contención			
<input type="checkbox"/> Corrosión	<input type="checkbox"/> Fisura	<input type="checkbox"/> Grieta	<input type="checkbox"/> Fractura
<input type="checkbox"/> Exposición del acerc	<input type="checkbox"/> Erosión	<input type="checkbox"/> Escamado	<input type="checkbox"/> Otro
Observaciones			
¿Hay presencia biótica?		<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No
¿Hay señales antrópicas?		<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No
Observaciones			
OTROS			
Condiciones meteorológicas y oceanográficas			
Velocidad del viento:		Oleaje:	
Otro:			
Instrumentos usados en campo			
Observaciones			