



VARIACIÓN DE LOS PERFILES DE PLAYA, BAJO LA ACCIÓN DEL OLEAJE EN EL SECTOR DE LA GUAJIRA, EN LAS PLAYAS DE RIOHACHA Y EL PAJARO.

**ALVARO HERNAN POLO GARCIA
ESTUDIANTE**

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
SANTA MARTA D.T.C.H
2018

VARIACIÓN DE LOS PERFILES DE PLAYA, BAJO LA ACCIÓN DEL OLEAJE EN EL SECTOR DE LA GUAJIRA, EN LAS PLAYAS DE RIOHACHA Y EL PAJARO.

**ALVARO HERNAN POLO GARCIA
ESTUDIANTE**

INFORME FINAL DE PASANTIA EN INVESTIGACION COMO OPCION DE GRADO
PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

BIOLOGO. ISAAC ROMERO BORJA
TUTOR

M.Sc RAMÓN ESTEBAN GRANADOS PEÑA
DIRECTOR

GRUPO DE INVESTIGACION BIODIVERSIDAD Y CONSERVACION DE ECOSISTEMAS

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
SANTA MARTA D.T.C.H
2018

Nota de aceptación:

Aprobado por el Consejo de Programa en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad del Magdalena para optar al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario.

Jurado

Jurado

Santa Marta, ____ de ____ del ____

*A la memoria de mi abuela Manuela Montero,
por su insaciable amor y consejos
a la hora de tomar mis decisiones. Dedico*

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia a Dios por las bendiciones que me ha dado en el camino que he recorrido hasta ahora, y por colocar personas terrenales que me apoyan siempre.

A mis padres Álvaro Polo e Irina Rosa Garcia, por la oportunidad de brindarme una buena educación y formación, por su insaciable esfuerzo de llevar presente los valores y consejos aprendidos desde casa, de igual manera a mi hermana Noemi Sofia Polo Garcia por su compañía en cada proceso que hago de mi vida.

Al doctor Jean Rogelio Linero que siempre me ha apoyado en mi proceso formativo no solo como un profesor sino también como un amigo, un consejero y un apoyo constante, gracias por abrirme las puertas a adquirir un nuevo conocimiento que llena de experiencias mi vida profesional y laboral.

Al profesor Isaac Romero por siempre estar cuando toco su puerta, por la paciencia y la entrega con que me ayudo en todo mi proceso académico.

A la Universidad del Magdalena, y el programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria el cual siempre me brindaron un apoyo, una solución a mis necesidades, un acompañamiento en todo mi proceso académico, al ingeniero Lino Torregrosa, Alexis Mercado y la directora Eliana Vergara, a todos los profesores por transmitir los conocimientos y generar una base que aplicare en cada etapa laboral que me desempeñe.

A una persona especial, Thalía Murillo, que me ha acompañado agarrado de la mano en este proceso, y a todos aquellos compañeros y amigos que siempre me impulsaron a seguir adelante que compartieron conmigo horas de estudios, procesos académicos y luchas constantes y un sinnúmero de personas que por espacio no logro mencionar muchas gracias.

RESUMEN

La costa Caribe Colombiana cuenta con una línea de costa de aproximadamente 900 km donde estos sufren hoy en día procesos de erosión costera a causa de diferentes aspectos dentro de los cuales se destaca el impacto de la fuerza de las olas en intervenir la morfología de las playas. Estos impactos erosivos que sufren varios departamentos de la región caribe dentro de los que se destacan: Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar y Córdoba se han sentido por el cambio que ha tenido el perfil de la playa con la pérdida de cientos de kilómetros de arenas que en algunos casos son utilizados para turismo, agricultura.

En el desarrollo de esta investigación se estudió como varia el perfil de la playa bajo la acción del oleaje formando erosión costera en dos sectores de estudio, Riohacha y El Pájaro en el departamento de la Guajira, a partir de dicha investigación se analizó si la estructura sumergible denominada rompeolas es viable para la solución a corto, mediano y largo plazo a esta necesidad.

Como conclusión al interpretar y analizar los resultados de la investigación el cual se utiliza un programa informático llamado Sbeach que proporciona información de esa variabilidad de la playa al implementar o no la estructura rompeolas, y se observó que si funciona, a cierta distancia especifica de la playa a mar adentro se observa que la estructura evita la socavación de fondo y por ende la erosión costera en el sector, manteniendo en cero o número muy bajo el transporte de sedimentos y el cambio de volumen. A partir de esta investigación se deja una base importante para futuros estudios que sigan fortaleciendo estas soluciones que generan altos niveles de confiabilidad.

Palabras claves: erosión costera, perfil de playa, rompeolas, variabilidad

ABSTRACT

The Colombian Caribbean coast has a coastline of approximately 900 km where these suffer nowadays coastal erosion processes because of different aspects within which highlights the impact of the force of the waves to intervene the morphology of the play As. These erosive impacts suffered by several departments of the Caribbean region within which they stand out: Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar and Córdoba Have felt by the change that has had the profile of the beach with the loss of hundreds of miles of sand that in some cases are used for tourism, agricultura.

In the development of this research was studied as a variety of the profile of the beach under the action of waves forming coastal erosion in two sectors of study, Riohacha and the bird in the department of La Guajira, from this investigation was analyzed if the structure Submersible called breakwater is viable for short, medium and long term solution to this need.

In conclusion when interpreting and analyzing the results of the research which uses a computer program called Sbeach that provides information of this variability of the beach to implement or not the breakwater structure, and it was observed that if it works, Some specific distance from the beach to the sea inside it is observed that the structure avoids the undermining of the bottom and therefore the coastal erosion in the sector, maintaining at zero or very low number the transport of sediments and the volume change. This research leaves an important basis for future studies that continue to strengthen these solutions that generate high levels of reliability.

Keywords: Coastal erosion, beach profile, breakwater, variability

CONTENIDO

1. Introduccion	12
2. Objetivos	13
2.1 Objetivo general:.....	13
2.1.2 Objetivos especificos:	13
3. Generalidades de la empresa:	13
3.1 Proyecto a participar	14
4. Situación problema	15
5. Antecedentes	17
6. Marco teórico.	21
6.1 Erosión	21
6.2 Erosión costera.....	23
6.3 Estructuras hidraulicas costeras	25
7. Area de estudio:.....	27
7.1 Ubicación y geografía	27
7.2 Datos básicos.....	28
7.3 Informacion de la climatología:	28
7.3.1 Clima guajira:	28
7.3.2 Clima puerto bolivar:	29
8. Metodología.....	30
8.1 Programa informatico:.....	32
8.2 Dirección de oleaje	34
9. Resultados y analisis	34
10. Conclusion	59
11. Bibliografia.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de Soluciones Duras	26
Figura 2: ubicación del área de estudio	27
Figura 3: ubicación de los perfiles	31
Figura 4 Rosa de oleaje	34
Figura 5 Cambios en perfil batimétrico (19) sin instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°	35
Figura 6 Cambios en perfil batimétrico (19) con instalación de rompeolas en 180 y 200m, luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°	36
Figura 7 Cambios transporte de sedimentos (m ³ /m) en perfil batimétrico (19) para los casos de instalación o no de rompeolas, luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°	37
Figura 8 Cambios en perfil batimétrico (19) sin instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°	38
Figura 9 Cambios en perfil batimétrico (19) con instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°	39
Figura 10 Cambios transporte de sedimentos (m ³ /m) en perfil batimétrico (19) para los casos de instalación o no de rompeolas, luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°	40
Figura 11 Cambios en perfil batimétrico (20) sin instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°	41
Figura 12 Cambios en perfil batimétrico (20) con instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°	42
Figura 13 Cambios transporte de sedimentos (m ³ /m) en perfil batimétrico (20) para los casos de instalación o no de rompeolas, luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°	43

Figura 14 Cambios en perfil batimétrico (20) sin instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°	44
Figura 15 Cambios en perfil batimétrico (20) con instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°	45
Figura 16 Cambios transporte de sedimentos (m^3/m) en perfil batimétrico (20) para los casos de instalación o no de rompeolas, luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°	46
Figura 17 Cambios en perfil batimétrico (21) sin instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°	47
Figura 18 Cambios en perfil batimétrico (21) con instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°	48
Figura 19 Cambios transporte de sedimentos (m^3/m) en perfil batimétrico (21) para los casos de instalación o no de rompeolas, luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°	49
Figura 20 Cambios en perfil batimétrico (21) sin instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°	50
Figura 21 Cambios en perfil batimétrico (21) con instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°	51
Figura 22 Cambios transporte de sedimentos (m^3/m) en perfil batimétrico (21) para los casos de instalación o no de rompeolas, luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°	52
Figura 23 Cambios en perfil batimétrico (22) sin instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°	53
Figura 24 Cambios en perfil batimétrico (22) con instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°	54
Figura 25 Cambios transporte de sedimentos (m^3/m) en perfil batimétrico (22) para los casos de instalación o no de rompeolas, luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°	55
Figura 26 Cambios en perfil batimétrico (22) sin instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°	56

Figuran 27 Cambios en perfil batimétrico (22) con instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°	57
Figura 28 Cambios transporte de sedimentos (m^3/m) en perfil batimétrico (22) para los casos de instalación o no de rompeolas, luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°	58

TABLAS

Tabla 1: Extensión de la erosión costera por tipos de costas, longitud total de línea de costa (en Km	19
Tabla 2: parámetros de descripción de condiciones iniciales.	33

1.INTRODUCCION

La costa del caribe colombiano cuenta con aproximadamente 900 Km lineales de playas, la mayoría constituida por sedimentos de origen terrígeno, traídos por las corrientes fluviales o como resultados de la erosión de los acantilados. El 28% de ellas sufre actualmente procesos de erosión con consecuencias no deseables sobre los centros poblados y la actividad económica. (Posada B, Henao W, 2008).

Estos impactos erosivos que sufren varios departamentos de la región caribe dentro de los que se destacan: Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar y Córdoba se han sentido por el cambio que ha tenido el perfil de la playa con la pérdida de cientos de kilómetros de arenas que en algunos casos son utilizados para turismo, agricultura.

La línea de costa está en eterno movimiento, variando de forma y posición a cada momento, en función de los agentes externos que intervienen sobre ella. Esto es debido a que una playa responde fácilmente por la acción de la dinámica de oleaje. Estas variaciones pueden ser estudiadas para distintas escalas de tiempo, desde los escasos segundos de periodo que tiene una ola, hasta la escala de tiempo geológico.

Para el caso de la costa caribe colombiana, aunque aún no se ha sistematizado la escala de trabajo representativa de estos procesos se han adelantado ejercicios de monitoreo a las costas en escala de tiempo trimensual, y multianual desde el año 2000. Y a partir de fotografías aéreas varios investigadores hacen el ejercicio de georeferenciar y comprar las líneas de costa de varios sectores del caribe en tiempos prolongados. (Posada B, Henao W, 2008)

Estos procesos erosivos generan una variación en los perfiles de la playa trayendo con ello problemas de tipo económico, ambiental y social. Este es el aspecto más importante a desarrollar en esta investigación, ya que se busca que mediante la implementación de una estructura sumergida denominada rompeolas los perfiles se mantengan en equilibrio, determinando la distancia óptima de la línea de costa a mar adentro para la ubicación de la estructura.

En este proyecto el objetivo es analizar esa variación del perfil de playa y determinar si al aplicar la estructura el resultado es óptimo para que sea una solución viable para esa necesidad que se da en ese sector del litoral caribe Colombiano.

En la metodología aplicada en el desarrollo de esta propuesta, los datos de la investigación son desarrollados a partir de un proyecto que más adelante mencionaremos, se divide en 4 perfiles en los dos sectores de estudio, los datos obtenidos se trabajan en el programa informático denominado SBEACH que modela de manera bidimensional estos datos, el cual nos dará los resultados que al graficarlos nos arrojará que distancia es la óptima para la ubicación de la estructura, logrando como objetivo principal que se dé el perfil de equilibrio en la playa.

Esta aplicación del programa se hizo bajo un escenario de tormenta, lo que proporciona que cuando estén en otras condiciones de clima y estaciones también funcione de la manera que se requiere. Este trabajo queda como base para futuras investigaciones que quieran reforzar esta área y pueda contribuir a la solución de este tipo de problemática.

2. OBJETIVOS

Las pasantías de investigación buscan contribuir con el desarrollo de las capacidades del estudiante de Ingeniería Ambiental y Sanitaria en la adquisición de experiencia y conocimientos en función de los objetos de estudio, proporcionando nuevos saberes y permitiendo generar bases para el mundo laboral.

2.1 OBJETIVO GENERAL:

Desarrollar el estudio de la variación de los perfiles de playa, bajo la acción del oleaje en el sector de Riohacha y el Pájaro.

2.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Determinar la variación espacial y temporal de los perfiles de playa bajo la acción del oleaje en el sector de la Guajira, en las playas de El Pájaro y Riohacha.
- Determinar a qué distancia es eficaz colocar la estructura rompeolas para generar un perfil de equilibrio en la playa.
- Contribuir con la capacidad investigativa, científica y profesional del estudiante de grado de Ingeniería Ambiental y Sanitaria a través del apoyo en la ejecución de proyecto de investigación y productos de generación de nuevo conocimiento.
- Ayudar al estudiante en cuanto al aporte de conocimientos y experiencias de la solución de problemas de investigación de zonas costeras.

3. GENERALIDADES DE LA EMPRESA:

El Grupo de Investigación Biodiversidad y Conservación de Ecosistemas fue creado en el mes de junio de 2014 por iniciativa de los Biólogos Gustavo Adolfo Manjarrez Pinzón y

Ramón Esteban Granados Peña, como parte del proyecto “Investigación para la Caracterización, Zonificación, Ordenamiento, Restauración y Manejo de los Humedales del Departamento del Magdalena” que se desarrolla por la Fundación para la Participación, Capacitación y la Investigación Social –FUPARCIS – donde tiene su sede, con el objetivo de visualizar los resultados que generen de la investigación.

Las líneas de investigación son:

- Conectividad y Ecología de paisajes
- Ecología y conservación de Ecosistemas terrestres y acuáticos.
- Gestión estratégica de ecosistemas.
- Manejo de áreas protegidas.
- Modelación ambiental.
- Sistemas de información geográfica.

3.1 Proyecto a participar

El estudiante pasante ALVARO HERNAN POLO GARCIA participó en el proyecto denominado “Desarrollo e innovación para protección de zona costera en los departamentos del Magdalena y la Guajira”. Dentro del componente: caracterización de las condiciones marino-costeras en los departamentos de la Guajira y el Magdalena, desarrollo el estudio de la variación de los perfiles de playa bajo la acción del oleaje.

Debido al desconocimiento en el departamento del Magdalena y la Guajira sobre manejo de las playas, su caracterización y sus zonas de influencia, se hace necesario realizar estudios que ayuden a comprender el comportamiento del oleaje y cómo influye este en los perfiles de playa, para clasificar los usos y distintas características de estas.

4.SITUACIÓN PROBLEMA

Los agentes hidrodinámicos involucrados en los procesos de erosión costeras son vientos, tormentas, olas, mareas, corrientes litorales y el aumento del nivel del mar. Los vientos, además de generar el oleaje superficial, transportan cientos de toneladas de material no cohesivo a lo largo de la zona costera pero también tierra adentro para formar dunas o depósitos eólicos menores, o hacia el mar, en donde se acumula y forma los fondos arenosos de la plataforma. Los oleajes altos producidos por tormentas o fuertes vientos erosionan las playas dejando como evidencia escarpes de erosión entre 10 y 50 cm en promedio, en muchas ocasiones las playas logran recuperarse y volver a su morfología. (Posada B. Henao W. 2008)

Uno de los principales factores que genera la erosión costera en las playas es la acción de las olas, generando una variación en el perfil de la playa con complejidad en su recuperación al ecosistema natural, El sector de estudio comprendido entre el pájaro (Manaure) y Riohacha es una costa abierta afecta por procesos de erosión alta desde punta Chuchupa hasta el área urbana de Riohacha. Es Particularmente sensible la zona de pájaro, donde sus habitantes reportan peligros de sus viviendas y estructuras urbanas. Afecta una playa muy larga que incluso se prolonga como una espiga al noreste de la ciénaga de Buenavista y cada año pierde decenas de metros durante la temporada de vientos y mares de leva, sin que allá suficiente material para su recuperación, Punta la vela y auyama (laguna el buey), son también sitios de erosión intensas. En el casco urbano de Riohacha se ha notado de nuevo

En los últimos años, una tendencia a la erosión que la administración departamental aspira a detener mediante un relleno de playas respaldado con espolones, la tendencia histórica indica que es una playa en equilibrio o incluso con acrecimiento moderado a bajo. (Posada B. Henao W. 2008)

Un periódico local de la región CONTEXTO GUAJIIRA en una de sus páginas expuso la problemática que se vive en El Pájaro (24 de noviembre 2017), donde la población está preocupada y angustiada Cada vez que llega la temporada de huracanes y el

recrudescimiento de las lluvias, por lo que causa una fuerte erosión costera que amenaza con derribar viviendas, kioscos y hasta el cementerio central de este centro poblado ubicado a 35 kilómetros de la cabecera municipal. A raíz de esta problemática las autoridades regionales y nacionales han querido tomar control pero sin ninguna aplicación hasta ahora, en una de las entrevista un poblador de la zona comento: la fuerte erosión obligó a construir un dique de manera artesanal.

A continuación unas fotografías que muestra la problemática:



Región de “El Pájaro”, cortesía periódico contexto guajira 2017.

Estos procesos de erosión en estos sitios de estudio generan un desequilibrio en los perfiles de playa, donde la acción del oleaje será el principal factor que produce esta problemática, interviniendo también los vientos (dirección, velocidad), es aquí donde nacen los interrogantes problemas:

- ¿Cómo varia el perfil de la playa bajo la acción del oleaje?
- ¿Qué herramienta estructural y tecnológica utilizar que nos proporcione resultados a la problemática y brindar una solución práctica?
- ¿Cómo implementar acciones para la recuperación de la morfología y perfil de playa y mantenerla a medida que pase el tiempo y sea afectada, no halla desequilibrios de su perfil recuperado?

5. ANTECEDENTES

Las playas son ambientes extremadamente dinámicos y frágiles, donde arena, agua y aire están siempre en movimiento; las arenas viajan por cientos a miles de kilómetros y por largos periodos de tiempo para conformar playas, cuya posición y morfología cambian en respuesta al movimiento de las olas, las corrientes, al nivel del mar y por supuesto al viento. La intervención humana sobre ellas, con la construcción de vías y otras obras de infraestructura urbana y de servicios, transforma este sistema e introduce un alto nivel de desequilibrio ambiental cuya respuesta es por lo general la erosión.

La erosión costera en Europa la definen como la invasión de tierra por el mar, después de promediar un periodo suficientemente largo para eliminar los impactos del clima, la tormenta y la dinámica local de sedimentos, una escala representativa que utilizan los países europeos para determinar la erosión costera en un sector es considerar un kilómetro de longitud de línea de costa y un espacio de tiempo de 10 años, aunque realmente este no este probado. (Posada, Henao, 2008)

En México: Las playas pueden ser erosionadas ya sea por la acción del oleaje, las corrientes, los vientos y las mareas, procesos por los cuales se pierde material pudiendo ser removido hacia otras partes de las franjas litorales. Dependiendo de la magnitud de estos procesos la velocidad de erosión de una playa puede variar considerablemente con el tiempo (Carranza-Edwards, 2002).

La interacción de factores ambientales en el ámbito costero determina en él una gran variedad de procesos. La consecuencia de este hecho se traduce en que la franja litoral sea hoy considerada como una de las zonas naturales más frágiles y vulnerables del planeta (Hernández Calvento, 2002). Por lo tanto es muy común que las playas presenten una gran variabilidad a lo largo del tiempo, debido a que en ellas actúan una gran cantidad de fuerzas. Para determinar las magnitudes de estas fuerzas se utilizan, entre otros, los perfiles de playa, los cuales presentan morfologías variadas a lo largo de la costa aunque

la mayoría mantienen una tendencia general similar, con una mayor pendiente en la zona cercana a la línea de costa y una disminución progresiva de dicha pendiente hacia mar adentro (Bernabéu et al, 2001).

Uno de los principales problemas que se tiene en la República Mexicana es que a pesar de que gran parte de su territorio corresponde a zonas litorales, no se cuenta con suficiente información acerca del estado sedimentario de sus playas. Por lo tanto el estudio se basa en determinar la variación del volumen de sedimentos en la Playa de Cocos, Colima. (García-Zuber, y Álvarez, 2014)

Así como pasa en México de igual manera pasa en nuestra región caribe Colombiana, a pesar de tener información acerca de las playas, su variación y dinámica, muy poco se lleva a la práctica acciones que contribuyan a soluciones totales y de largo plazo.

En Argentina, La erosión en la costa se manifiesta por causas naturales cuando el mar gana terreno debido a la acción del viento, oleaje y corrientes en un contexto de déficit sedimentario. Puede decirse que en un ambiente costero se producen procesos de transporte, remoción y sedimentación. La costa al sur de Punta Mogotes entre los Barrios La Serena y Los Acantilados de la ciudad de Mar del Plata, sufre procesos erosivos que producen la pérdida de superficie de playa y el retroceso de los acantilados poniendo en riesgo en algunos sectores a la traza de la Ruta Provincial N° 11.

El oleaje debido a una acción continua va socavando el pie y por efecto de rotura de suelo se produce la caída de la parte superior del acantilado. Mediante la materialización de los rompeolas se disminuye la acción del oleaje sobre la costa, al complementarse estos con un relleno artificial de arena permitirá evitar simultáneamente sustraer este material del transporte litoral de sedimentos y bajo acción de eventos de tormentas actuará produciendo un reacomodamiento y un efecto buffer contra la erosión de la playa tratando de evitar que su alcance afecte al pie del acantilado. Este tipo de estructura de protección que se emplea

desde hace mucho tiempo en otros países tiene carácter novedoso en la costa de la Provincia de Buenos Aires. ¹

El proceso erosivo en la costa caribe colombiana ha tenido un aceleramiento a partir de los años 80, a partir del crecimiento acelerado de las ciudades costeras, donde se manifiestan cambios en el río Magdalena en su caudal y descarga de sedimentos. Causando esto una variación en las corrientes marinas. A continuación en una tabla representativa se mostrara los km de costa en los diferentes departamentos del Caribe colombiano especificando en cada uno la erosión y cuantos e ellos tienen obras de protección. (Tabla 1).

Tabla 1: Extensión de la erosión costera por tipos de costas, longitud total de línea de costa (en Km) (Posada, Henao, 2008)

Tipos de Costas	LA GUAJIRA	MAGDALENA	ATLÁNTICO	BOLÍVAR	SUCRE	CÓRDOBA	ANTIOQUIA	CHOCÓ
Costa con rocas cohesivas	122	119	7	59		1		62
En Erosión	46	12				1		4
Con obras protección	1	1		1				*
Costa con rocas no cohesivas	12		5	88		59	68	
En Erosión	4			2		53	9	
Con obras protección				2		5	2	*
Playas y depósitos arenosos	289	163	42	59	40	32	91	23
En Erosión	76	58	8	2	17	9	17	
Con obras protección	3	3	1	5	11	1	1	*
Costa lodosa o lagunar	260	3		65	44	6	81	10
En Erosión	50			4	22	7	10	6
Con obras protección				5	3	1		
Sistemas deltaicos	3		8	40	22	122	231	
En Erosión	1					15	41	
Con obras protección	1		6			2		
Costa Urbanizada o artificial	11	17	9	56	6	8	18	2
En Erosión	6	9	1	14	2	4	4	1
Con obras protección	6	3	2	15	2	1	3	
Total en erosión	183	79	9	22	41	89	81	11
Total protegida	10	7	9	27	16	10	7	*

¹ Recuperado de www.aadip.org.ar/pdf/papers/seccion1/Sciarrone-Loschacoff.pdf

La tabla deja una cifra preocupante en las obras de protección que se ha hecho para la erosión mostrando un déficit en este proceso y una cantidad alta en la variación de los perfiles de las playas bajo la acción de este fenómeno.

Una investigación realizada en la isla de tierrabomba en Cartagena Bolívar, donde clasificaron las zonas en perfiles y demostró que El proceso erosivo severo, que se ha venido presentando en la zona de estudio durante los últimos años, se vio

Mitigado debido a la implementación del plan de emergencia por parte del Distrito de Cartagena de Indias, donde se construyó un espolón en L de 192 m y se instalaron 60 m de geotubo. Además, que se ejecutó un rompeolas de 100 m y un espolón de 100 m contemplados en el Macroproyecto de Tierrabomba, los cuales contribuyeron a la protección de mayor área en la zona de estudio. Este proceso de recuperación se ve evidenciado por la variación positiva del D50.

Esta información da a mostrar que la implementación de rompeolas como estructura y proceso de mitigación para la erosión costera y recuperación de perfil de playa es totalmente viable y eficaz, calculando la distancia necesaria para la ubicación de esta estructura evidenciando gastos innecesarios en planes futuros.

La Guajira en la mayoría de sus sectores de costas tiende a una erosión alta desde el cabo de la vela pasando por Manaure-el pájaro, llegando a Riohacha, Palomino y Dibulla donde se presenta moderadamente. Aunque se tienen datos y resultados obtenidos de esta información son pocos los trabajos o acciones que se han hecho para evitar el proceso de erosión que actúa en el cambio de perfil de la playa en varios de los sectores de la línea de costa de la Guajira, pero se han implementado herramientas bajo fotografías georreferenciales para llevar un control y una comparación en el tiempo a la morfología de la playa bajo la acción del oleaje, el viento, los huracanes entre otros. (Posada, Henao, 2008)

6.MARCO TEÓRICO.

A continuación se establecerá el marco de referencia conceptual para facilitar el entendimiento de la temática tratada en este documento y posterior análisis:

6.1 EROSIÓN

La erosión es el efecto de desgaste generado en una superficie por el accionar constante de uno o varios forzantes. Entre los más comunes encontramos a los vientos, lluvias, oleaje entre otros. Estos factores actúan en movimientos friccionantes con la superficie estática o estable, generando un desgaste de esta última.

Por otra parte, Pérez & Merino (2009) hacen énfasis en que la erosión hace parte de un ciclo geográfico, debido a los cambios que sufre el relieve por la acción de diferentes agentes, presentándose un proceso de desgaste de la roca madre por procesos geológicos exógenos. Dichos procesos pueden ser el viento, las corrientes de agua, el cambio de temperatura e inclusive los seres vivos, al momento de producir deforestación, eliminación de la capa vegetal, exploración de suelos, eliminación de barreras naturales de protección como sistemas geológicos rocosos, etc.

Otro factor que incide en la erosión de suelo es su pendiente, su morfología, ya que entre más elevada sea esta, el riesgo de erosión es alto y a la vez se puede producir una erosión más rápida.

Existen, dos tipos de erosión teniendo en cuenta sus efectos:

- **Erosión progresiva** o también llamada erosión geológica la cual se produce de manera natural con el paso del tiempo por acciones como el viento, lluvia, nieve, calor, etc.
- **Erosión acelerada** la cual se produce a mayor velocidad por el accionar humano, denominada también erosión antrópica.

También se habla de diferentes tipos de erosión teniendo en cuenta el agente que las causa, tales como:

- **Erosión hídrica**, la cual es producida por el desplazamiento de agua, dentro de estas se encuentran la erosión marina la cual es producida por el efecto de las olas y la erosión fluvial generada por las aguas continentales.
- **Erosión glaciaria**, la cual se produce generalmente en las montañas por el movimiento de hielos.
- **Erosión eólica**, la cual es producida por el efecto de los vientos, los cuales friccionan la superficie generando el transporte de partículas.
- **Erosión kárstica**, la cual es producida por la filtración de aguas superficiales en el suelo.
- **Erosión biótica** que son procesos químicos que sufren las rocas debido a factores como el agua y cambio de temperaturas.
- **Erosión volcánica**, la cual se produce al momento de la erupción de un volcán.
- **Erosión gravitacional** producida por el mismo efecto de gravedad.
- **Erosión por cambios de fase**, generada por el congelamiento de agua en la roca, produciéndose grietas por el cambio de volumen.

6.2 EROSIÓN COSTERA

La erosión costera es entendida como la geomorfología o cambio que sufren las playas desde su línea de costa hacia tierra adentro, generando un desgaste o remoción en estas mediante movimientos de los sedimentos que la conforman a causa de los efectos marinos provocados por diferentes causas naturales. Dichos sedimentos son retirados de algunos sectores y depositados en otros por las mismas corrientes marinas.

Según Aldana et al. (2009) la erosión costera es un fenómeno natural que se origina por la interacción de los procesos climáticos, meteorológicos, hidrodinámicos y sedimentarios con la morfología costera y la batimetría del fondo de la zona cercana a la costa, lo que ocasiona un retroceso de la línea de costa. Por tanto, solamente se afirma que existe erosión costera cuando el sistema litoral ha perdido sedimento (De la Peña & Sánchez, 2008)

Por otro lado, la erosión costera también es definida como la pérdida de terreno debido a la invasión del mar, medida en un periodo de tiempo suficiente que permita descartar efectos temporales o cíclicos debidos al clima (Ashbourn, 2011; Jolliffe, 1982; Posada, Blanca, & Henao, 2008; Stephenson, 2013).

La erosión costera es una de las principales problemáticas que se manifiestan en las zonas costeras o ecosistemas litorales a nivel mundial. A lo largo de la historia, la zona costera ha sido un centro importante de desarrollo de la sociedad humana. La utilización del mar para el transporte y el comercio y la obtención de alimento abundante en aguas costeras muy productivas, son factores determinantes para el asentamiento de poblaciones en las zonas costeras. Estas a su vez adolecen de problemas socio-económicos y culturales, como el debilitamiento del tejido social, la marginalización, el desempleo y la destrucción de los terrenos por la erosión (Sommer, 2008). La erosión costera es un sistema natural dinámico que ha producido que cerca del 30 por ciento de las zonas costeras hayan sido alterados o destruidos, según análisis realizados por el Instituto Mundial de Recursos (WRI).

Además, se menciona que la actividad antrópica genera procesos erosivos y dependiendo de la dinámica ecosistémica, las costas pueden presentar efectos de degradación. En ese sentido, los factores naturales pueden incrementar la acción erosiva dado que dificulta la circulación de sedimentos, recuperación natural de las playas, y provocando el retroceso de la línea costera. (Montero & Pérez, 2014).

En general el proceso erosivo es causado principalmente por el oleaje incluso en playas dominadas por la marea, ya que existe un gradiente transversal a la costa de la magnitud de las corrientes por marea (Kench *et al.*, 2006; Adriani & Walsh 2007; Llanes *et al.*, 2009).

La erosión costera es frecuente en deltas de ríos o costas con sedimento blando y en numerosas playas que pueden ser fácilmente afectadas por el movimiento de las olas y las mareas. Aunque la lluvia y el mar son quienes más erosionan la costa, los efectos por lo general sólo pueden ocurrir si la tierra se ha debilitado de alguna manera (Lacoma, 2017). Señala que la erosión costera es la desintegración gradual y eliminación de las playas, incluyendo sus hábitats de arena, tierra y naturales. Generalmente no afecta los sistemas geológicos rocosos, más bien las zonas blandas.

Dentro de las principales causas que afectan la erosión costera tenemos:

- **Tormentas**, las cuales son la combinación de lluvias, vientos y fuerte oleaje, las cuales desgastan las playas más vulnerables, retirando el material blando de estas, pero a su vez la transporta a otros sitios, especialmente y en mayor escala si están acompañados de huracanes.
- **La contaminación y extracción de arenas.** Esta primera genera cambios ambientales, lo que produce la degradación de la naturaleza, principal soporte para la estabilización de suelos.

- **Los cambios físicos**, los cuales son más permanentes, como lo es el caso de la elevación del nivel del mar, las acumulaciones de sedimentos en un área específica, especialmente sistemas rocosos.

6.3 ESTRUCTURAS HIDRAULICAS COSTERAS

Son medidas antrópicas que determinan el balance sedimentario de una costa. Al abordar un problema se debe establecer un diseño dentro de cada concepto de acción (Soluciones duras, no convencionales y mixtas), para tener un enfoque primario integral de la situación y poder concebir las soluciones con mayor conciencia (Torres-Hugues & Córdova-López, 2010).

También se menciona que dependiendo de las características de la región se debe analizar las alternativas y especificarlas como soluciones duras, no convencionales y mixtas (Córdova-López & Torres-Hugues, 2016).

1. Soluciones Duras:

A. Espolones: conocido también como Groins, jetty o rompeolas perpendiculares a la costa. Son estructuras hidráulicas perpendiculares a la costa que modifican el transporte de sedimentos longitudinal. Es común la construcción de este tipo de estructuras en serie a lo largo de la costa (Ostrowski et al, 2012; THESEUS, 2013).

B. Muelles: Son estructuras que consisten en un número de pilotes conectados unos a otros mediante un entablado en la parte superior, que puede ser usado para propósitos recreacionales. Un muelle normalmente se orienta perpendicular a la costa, como un jetty. Los pilotes están separados entre sí, provocando una disminución en el transporte de sedimentos longitudinal sin bloquearlo totalmente (Ortega & Floriano, 2009).

C. Rompeolas en aguas profundas: Son estructuras alargadas sumergidas que se encuentran paralelas a una distancia de la costa, frecuentemente construidas con piedras. Pueden ser emergidos o sumergidos, donde la cresta puede estar por abajo o por encima del nivel estático del mar. Afecta tanto al transporte longitudinal como al transversal. (Burcharth et al, 2007; Ranasinghe et al, 2010).

D. Umbrales: Un umbral es similar a un rompeolas sumergido y paralelo a la costa, pero tiene la función de retener un nivel mínimo de sedimento establecido en la orilla (Bouma et al, 2014). Adicionalmente, se emplean en la creación de playas colgadas con una pendiente decrecida del nivel del lecho, se puede establecer que decrece el impacto de la ola que arriba. Afecta especialmente al transporte de sedimentos transversal.

2. Soluciones no convencionales: son aquellas estructuras que no presentan una base sólida de su aplicación y se han originado como solución local a un problema determinado. En los casos más frecuentes, se encuentran las biotecnologías, geotextiles, vallas de tamices, demolición, reubicación de estructuras, entre otras.

3. Soluciones mixtas: Se comprende usualmente como una combinación entre soluciones duras y no convencionales. La combinación de éstas también puede ser una disyuntiva a valorar.

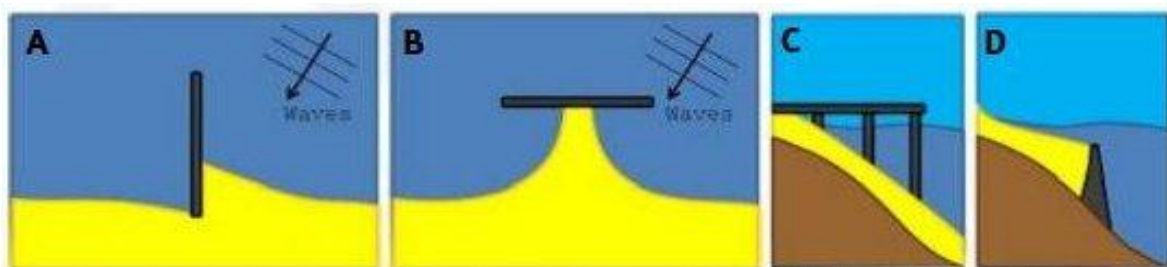


Figura 1: Esquema de Soluciones Duras. A) Groin o Espolón, B) rompeola, C) Muelle, D) Umbral. Tomado de Córdova-López & Torres-Hugues(2016).

7. AREA DE ESTUDIO.

7.1 UBICACIÓN Y GEOGRAFIA.

Los sitios que se están estudiando son playas que están ubicadas en jurisdicción de la ciudad de Riohacha localizada en Latitud: 11°32.6664' N Longitud: 72°54.4332' O (**Latitud: 11.533, Longitud: -72.9 11° 31' 59" Norte, 72° 54' 0" Oeste**) y el pueblo del Pájaro en el municipio de Manaure, localizado en latitud 11.70.92, longitud -72.6633



Figura 2: ubicación del área de estudio. Fuente: Google Earth.

RIOHACHA: se encuentra ubicado en la parte central izquierda del Departamento de La Guajira, esta área limita al norte con el Mar Caribe, al oriente con el Río Ranchería, Manaure y Maicao, por el sur con los municipios de Hatonuevo, Barrancas, Distracción, San Juan del Cesar y por el occidente con el municipio de Dibulla y el mar Caribe. El municipio es el segundo de La Guajira en extensión.

EL PAJARO: se encuentra en la parte izquierda del municipio de Manaure, es un corregimiento costero de este, está cerca a las salinas de Manaure siendo estas las más importantes del país, Limita por el norte con el mar Caribe, por el noroccidente con el municipio de Uribía; por el sur con el municipio de Maicao y por el occidente con el municipio de Riohacha.

7.2 DATOS BASICOS.

RIOHACHA:

Riohacha es una ciudad del norte de Colombia, donde el río Ranchería se une al mar Caribe. Es conocido por su pueblo nativo Wayuu y por las aves colorida del Santuario de Flamencos al suroeste de la ciudad. En la Plaza Central Padilla, se encuentra la Catedral de Nuestra Señora de los Remedios, del siglo XIX. La playa sombreada por las palmeras tiene un muelle largo. Al noreste están las playas ventosas de Mayapo y las salinas de Manaure, de color blanco brillante. (Extraído de Goggle maps).

EL PAJARO:

Es un corregimiento del municipio de Manaure, es distinguido por sus exuberantes playas, conocido por sus playas vírgenes y el acercamiento a la población wayuu asentada en la guajira, goza de tener cercanía a las plantas productoras de gas y las salinas de Manaure.

7.3 INFORMACION DE LA CLIMATOLOGIA.

7.3.1 CLIMA GUAJIRA:

La Guajira es la zona más seca de Colombia, su clima es cálido, seco e inhóspito. Las lluvias son escasas y mal distribuidas, con una precipitación anual que oscila entre 354 y 1170mm (IDEAM, 2005), las insolaciones fuertes, con temperatura media anual de 28.2°C (IDEAM, 2005), constantes vientos, alta evaporación y estaciones bastante marcadas. Este sistema, se manifiesta por una estación lluviosa de cuatro meses, septiembre a diciembre. Posteriormente, desde diciembre o enero hasta abril, soplan los vientos alisios con fuerte intensidad predominando del noreste, lo cual corresponde a una estación de sequía y frío nocturno. Esta estación termina por lo general en abril o mayo a causa de un debilitamiento del viento y por la caída de algunas lluvias y corresponde a la segunda estación húmeda, las cuales estimulan un nuevo crecimiento de vegetación. Seguido a este periodo, continúa un largo período seco, de mayo a septiembre, caracterizado por un continuo viento que viene del nordeste cada vez con más fuerza y muy caliente; éste lleva las nubes y las lluvias lejos del territorio guajiro. Por esta razón, lo más Común es que llueva muy poco o casi nada en abril o mayo; esta segunda estación seca se prolonga sin transición a la primera².

7.3.2 CLIMA PUERTO BOLIVAR:

Se toma esta información de puerto bolívar por ser una estación ubicada en la parte alta de la guajira que también ofrece información importante sobre el clima. Además por su cercanía al municipio de Manaure donde está ubicado el corregimiento del pájaro nos brinda información que es importante para el desarrollo del proyecto.

Esta región del país se caracteriza por presentar un clima cálido semiárido, por presentar temperaturas medias mayores a 24°C y precipitaciones anuales inferiores a la evaporación; asimismo, ostenta un total de precipitación anual de 354mm; teniendo valores máximos de precipitación por encima de los 100 mm, durante los meses de agosto a noviembre (época húmeda). De igual manera, las temperaturas son unas de las más extremas del todo el territorio colombiano, presentando valores de temperatura máxima que puede superar en algunas ocasiones los 35.0°C, principalmente durante los meses de junio a agosto; asimismo, durante los meses de diciembre a marzo las temperaturas descienden significativamente, generando valores de temperaturas medias mínimas de 23.0°C. La

² <https://www.cioh.org.co/meteorologia/Climatologia/ResumenRiohacha2.php>

temperatura media anual para este lugar es de 29.1°C. Por su ubicación geográfica Puerto Bolívar, es una de las áreas en Colombia que se encuentra expuesta de manera directa de la influencia de los vientos alisios, debido a que no presenta geoformas que interrumpan o debiliten su paso, antes de adentrarse en su costa; por lo cual durante la época seca (Diciembre-Marzo) los vientos en la zona durante las horas de la tarde alcanzan velocidades de 30 nudos.³

8. METODOLOGIA

Para el análisis de los resultados, se han tratado los datos existentes iniciales y se ha utilizado un software específico. Dicho programa informático extraerá de los datos existentes por el perfilador una serie de parámetros para los distintos perfiles de playa. Posteriormente, se convertirán a escala del prototipo los resultados de cada uno de los experimentos, para poder compararlos directamente entre sí. Así, el programa permite también comparar gráficamente la evolución del perfil de playa en diferente instante de tiempo y aplicaciones con estructuras o no. Por un lado, se estudiará la evolución de las distintas partes del perfil aplicándole la estructura denominada rompeolas, y verificar y comparar los valores gráficos entre el perfil con y sin rompeolas y determinar las discusiones y conclusiones a partir de los resultados para determinar la acción a tomar con el fin de prevenir que se produzca una erosión alta en la zona Y el perfil de la playa se mantenga en equilibrio.

Los datos a utilizar para la realización de la investigación se obtuvieron del proyecto “desarrollo de programa de investigación, desarrollo e innovación para protección de zonas costeras en los departamentos de la guajira y magdalena”. Desarrollado por las instituciones: Fundación Universidad del Norte, Universidad del Magdalena, Universidad de la Guajira, instituto de investigaciones marinas y costeras: José Benito Vives de Andreis (INVEMAR), oceanus search and recovery del sureste s.a (oceanus international).

³ <https://www.cioh.org.co/meteorologia/ResumenPertoBolivar.php>

Los datos tomados del proyecto anterior serán utilizados en el programa informático llamado SBEACH “Simulating Storm Induced BEACH CHange” ó “Pronosticador de los cambios de perfil de playa” (SBEACH model, Report 3-May 1993 – Coastal Engineering Research Program), el cual proporcionara los datos de cambios en el perfil batimétrico debido a la acción de oleaje presente en la zona y los perfiles finales cuando se introducen rompeolas a diferentes distancias de la costa, con el objeto de encontrar el perfil de equilibrio.

Los perfiles que se analizaran para generar el estudio son los siguientes:

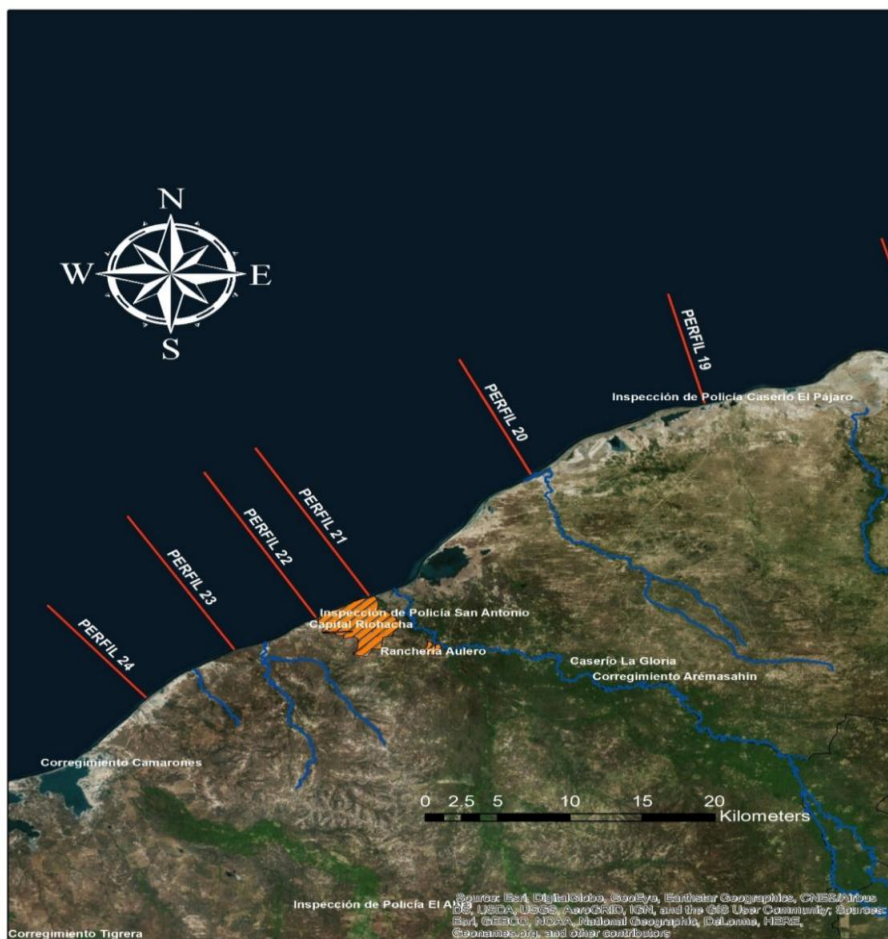


Figura 3: ubicación de los perfiles

- El perfil 19 corresponde al corregimiento del pájaro en el municipio de Manaure, La Guajira.
- El perfil 20 corresponde a un punto entre los dos sitios de estudios y en la desembocadura del rio arroyo Macuirre. sector playa de Mayapo
- Perfil 21 y perfil 22 corresponde a las playas de Riohacha, La Guajira.

8.1 PROGRAMA INFORMATICO:

CONCEPTO DE SBEACH.

SBEACH, “Simulating Storm Induced BEAch CHange” ó “Pronosticador de los cambios de perfil de playa” (SBEACH model, Report 3-May 1993 – Coastal Engineering Research Program) fue creado por el Cuerpo de 14 Ingenieros del Ejército de Estados Unidos y Laboratorio de Costas e Hidráulica (CHL). Es un modelo unidimensional que tiene sus fundamentos geomorfológicos apoyados en el análisis de cambios de perfil de playa producto de la acción del oleaje y las variaciones del nivel del mar, incluyendo la formación y el movimiento de las principales características morfológicas, tales como barras litorales, valles y bermas. Este modelo permite simular la evolución de las principales características del perfil del fondo, pero solamente estima la transformación de la altura de las olas en aguas transitorias y someras.

CARACTERISTICAS Y FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA SBEACH.

El SBEACH considera solamente el cambio en el perfil de playa producido por el transporte perpendicular a la costa. Además se asume que el rompiente de olas es la causa principal de los cambios en el perfil de playa y por lo tanto la mayor parte del transporte de sedimento perpendicular a la costa tiene lugar en la zona de “surf”.

Las capacidades principales son:

- Simular la evolución de un perfil con pendiente arbitraria sujeta a cambios de nivel del mar y de los parámetros de ola incidente,
- Calcular la configuración de equilibrio del perfil, siempre y cuando todos los parámetros del modelo y los valores introducidos se mantengan constantes.
- Simular la formación y migración de las barras y las bermas.
- Reproducir los cambios en la playa tanto por erosión como por acreción.

El modelo responde a un gran número de aplicaciones en el ambiente costero y además ha sido empleado para predecir rellenos de playa bajo condiciones de tormenta severa. Vale la pena mencionar que se requiere un buen ajuste de los parámetros de calibración del modelo conforme a las condiciones del perfil analizado. (Rosati et al, 1993).

El modelo consta de tres módulos de cómputo que son ejecutados consecutivamente para cada paso temporal en la simulación. Los módulos calculan la distribución de la altura de ola, la tasa de transporte neto de sedimento perpendicular a la costa y el cambio en el perfil de playa, respectivamente. La distribución de la altura de ola se utiliza para calcular la tasa de transporte de la cual se obtiene el cambio en el perfil. Con la nueva configuración bidimensional de playa se repiten los pasos hasta completar la simulación. El procedimiento es llevado a cabo en todos los pasos temporales mediante un esquema de diferencias finitas atrasado en el tiempo.

En el programa se trabajara con un tipo de ola monocromática, una altura y periodo de ola constante con valores de 1,5 metros y 7 segundos respectivamente, un Viento constante de 6 metros/segundos provenientes del noreste (45°)

Tabla 2: parámetros de descripción de condiciones iniciales.

Lugar	Dirección Ola	Dir Viento	Intens. Viento	Rompeolas
Riohacha	30	45°	constante 6m/s	Sin, 180, 200, 220, 250 m
	60	45°	constante 6m/s	
Pájaro	30	45°	constante 6m/s	Sin, 180, 200 m
	60	45°	constante 6m/s	

8.3 DIRECCIÓN DE OLAJE

Las direcciones de ola que se trabajaron en el programa fueron las predominantes que arrojó el programa por el cual se obtuvo la dirección de oleaje presente en el área de estudio, como se representa en la siguiente figura.

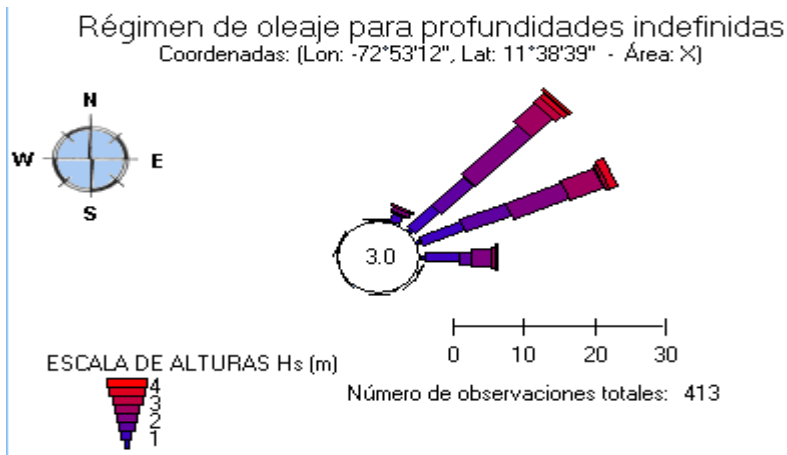


Figura 4 Rosa de oleaje (realizada por OLAS de DIMAR).

9. RESULTADOS Y ANALISIS

A continuación se muestran gráficamente las variaciones de los perfiles en el área de estudio, comparando los casos sin rompeolas (SR), y con rompeolas (CR) a diferentes distancias de la costa, y analizar mediante el cambio de volumen, el transporte de sedimentos que se da a partir de la implementación de la estructura:

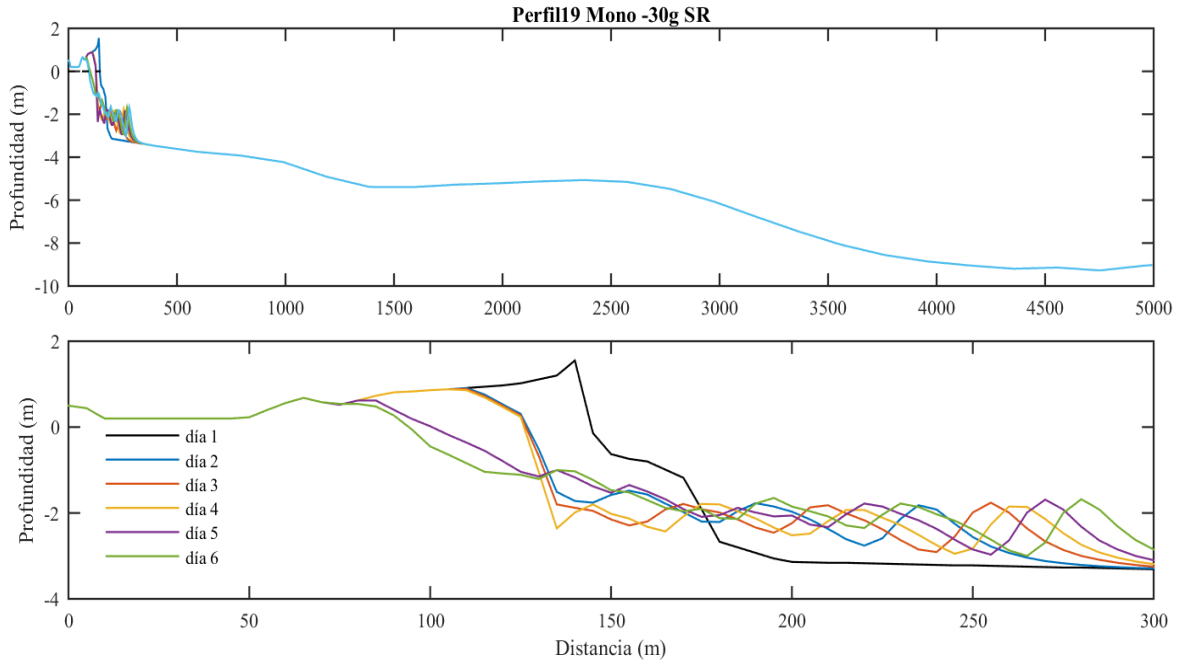


Figura 5 Cambios en perfil batimétrico (19) sin instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°.

En la parte superior de la figura 6 vemos el comportamiento del perfil 19, hasta los 5000m mar adentro. Se observa que los mayores cambios se encuentran en distancias menores a 400m.

Al realizar un acercamiento, hacemos la gráfica hasta los 300m (abajo). La escala de colores nos muestra la evolución temporal (días) de la variación del perfil bajo la acción del oleaje de tormenta. En los primeros tres días se observa la mayor variación, en donde el perfil cambia cercano a los 40m de retroceso y con el mayor transporte de volumen de arena. Luego de ello, el retroceso llega hasta los ~60m (costa adentro). La arena transportada da origen a la formación de barras que luego servirán de contención natural e iniciar el rompimiento de olas, de diferentes periodos, antes de llegar a la playa.

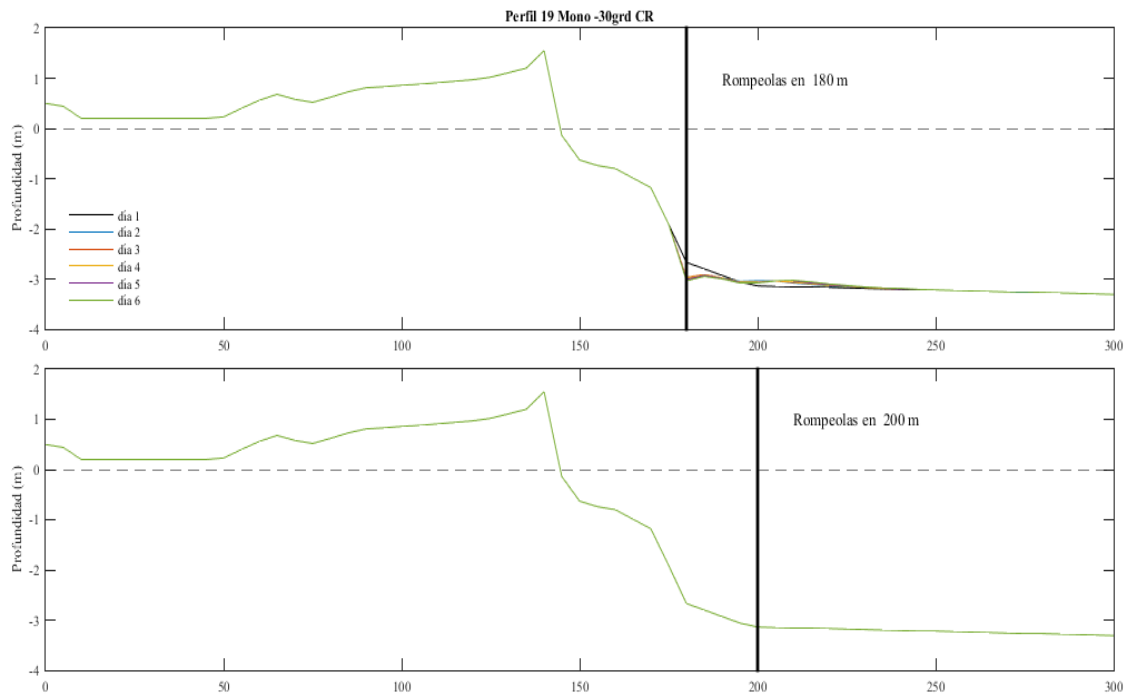


Figura 6 Cambios en perfil batimétrico (19) con instalación de rompeolas en 180 y 200m, luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°

La figura 6 nos muestra el comportamiento del perfil 19 bajo la acción del oleaje de tormenta teniendo en cuenta la presencia de rompeolas en las distancias expresadas en cada gráfica.

En este caso, al ubicar la estructura en la distancia de 180m, se alcanza el perfil de equilibrio en todos los días de acción del oleaje. Sin embargo, dicha estructura se ve afectada por la socavación de fondo, evidente a ambos lados de la estructura. Se necesitarían obras complementarias para garantizar la estabilidad de la misma, lo que generaría mayores costos de construcción.

Al colocar el rompeolas en 200m evitamos la socavación de fondo. Es de anotar, que siempre esta socavación existirá, con este tipo de escenarios lo que pretendemos evidenciar es cuál será la mejor distancia de ubicación para no entrar en costos excesivos y evitables.

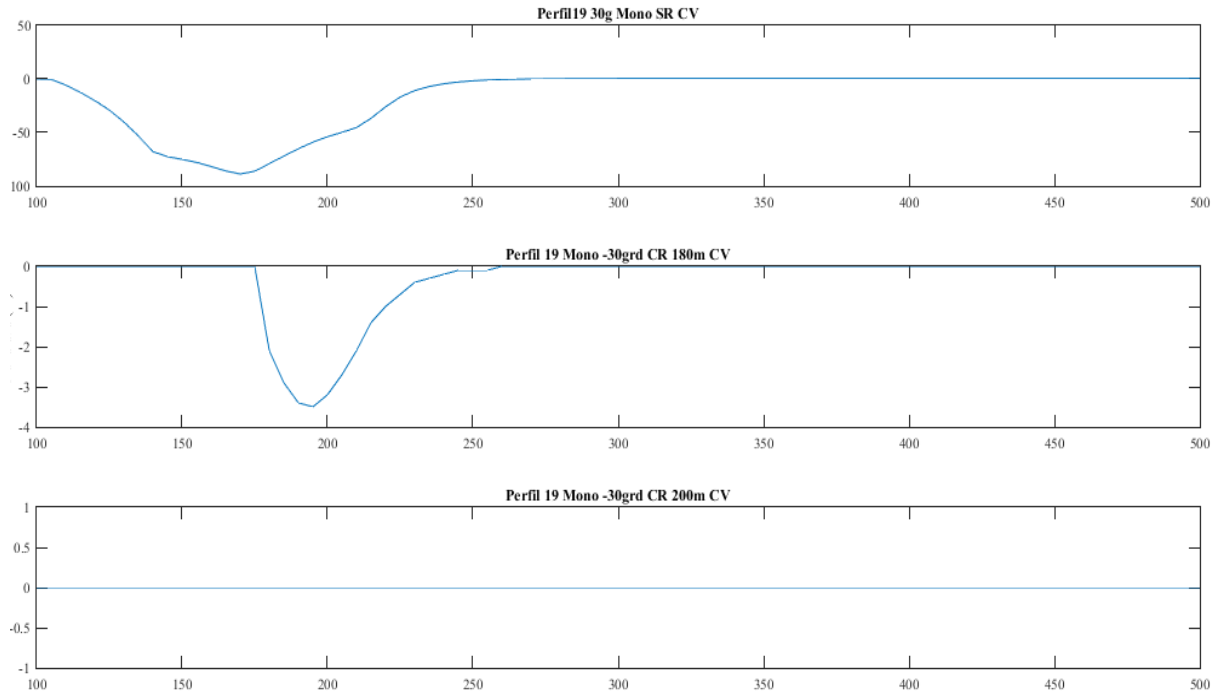


Figura 7 Cambios transporte de sedimentos (m^3/m) en perfil batimétrico (19) para los casos de instalación o no de rompeolas, luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°

El mayor cambio de volumen se da entre los 120 y 230m siendo el mayor en 170m ($95m^3/m$), al ubicar el rompeolas en las distancias de 180m se observa un traslado de la socavación de fondo después de la estructura, pero en la distancia de 200m evidenciamos un perfil de equilibrio total en la playa, es decir, no hay el transporte o cambio de volumen es cercano a cero.

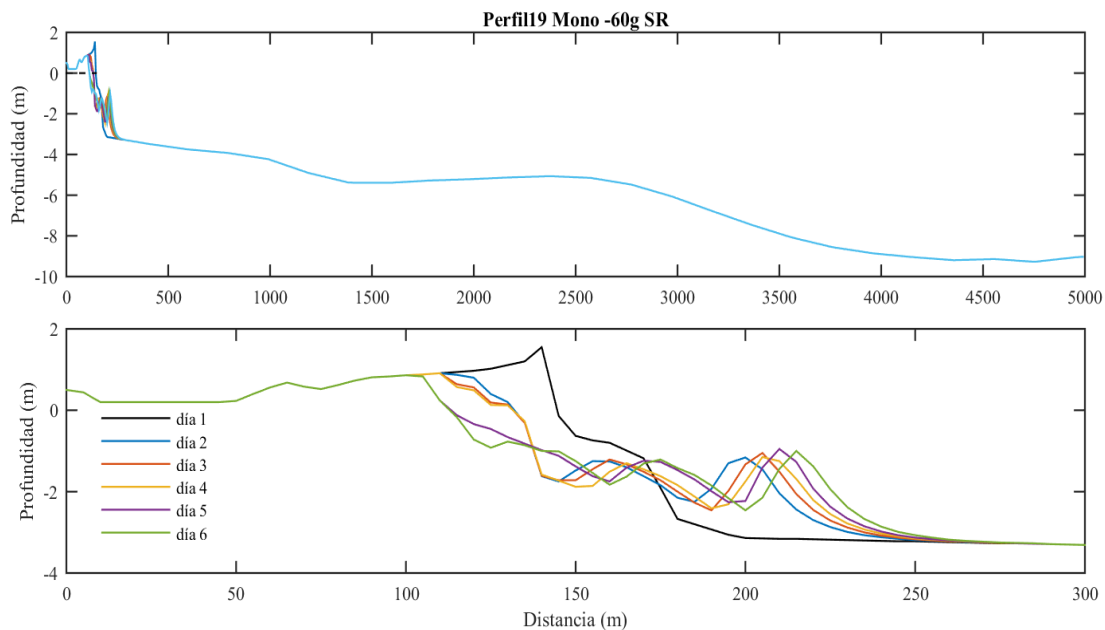


Figura 8 Cambios en perfil batimétrico (19) sin instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°

En la parte superior de la figura 8 vemos el comportamiento del perfil 19, hasta los 5000m mar adentro. Se observa que los mayores cambios se encuentran en distancias menores a 400m.

Al realizar un acercamiento, hacemos la gráfica hasta los 300m (abajo). La escala de colores nos muestra la evolución temporal (días) de la variación del perfil bajo la acción del oleaje de tormenta. Se observa que se da la misma variación que en el perfil 19 a 30° con la diferencia que la arena transportada forma las barras metros antes que la otra gráfica, que de igual sirve como contención natural e iniciar el rompimiento de ola antes de llegar a la playa

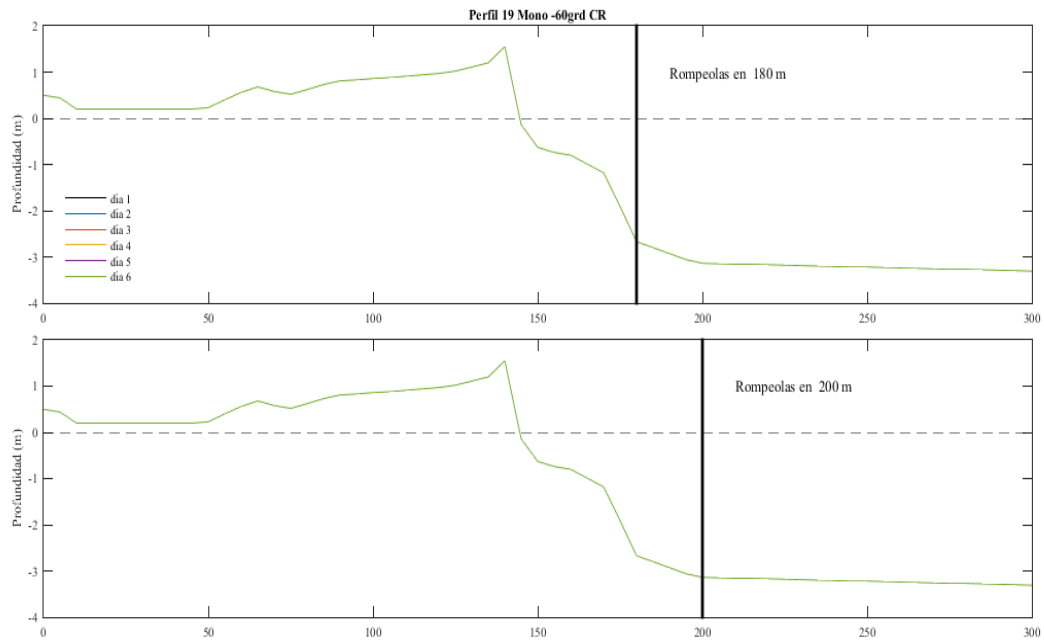


Figura 9 Cambios en perfil batimétrico (19) con instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°

La figura 9 nos muestra el comportamiento del perfil 19 a 60°, bajo la acción del oleaje de tormenta teniendo en cuenta la presencia de rompeolas en las distancias expresadas en cada gráfica.

En este caso, se nota el mismo resultado que el perfil 19 a 30° al ubicar la estructura en la distancia de 180m, se alcanza el perfil de equilibrio en todos los días de acción del oleaje, en este caso observamos que en 180m se alcanza un perfil de equilibrio sin socavación de fondo, al igual que en 200m. De igual manera es de anotar, que siempre esta socavación existirá, con este tipo de escenarios lo que pretendemos evidenciar es cuál será la mejor distancia de ubicación para no entrar en costos excesivos y evitables.

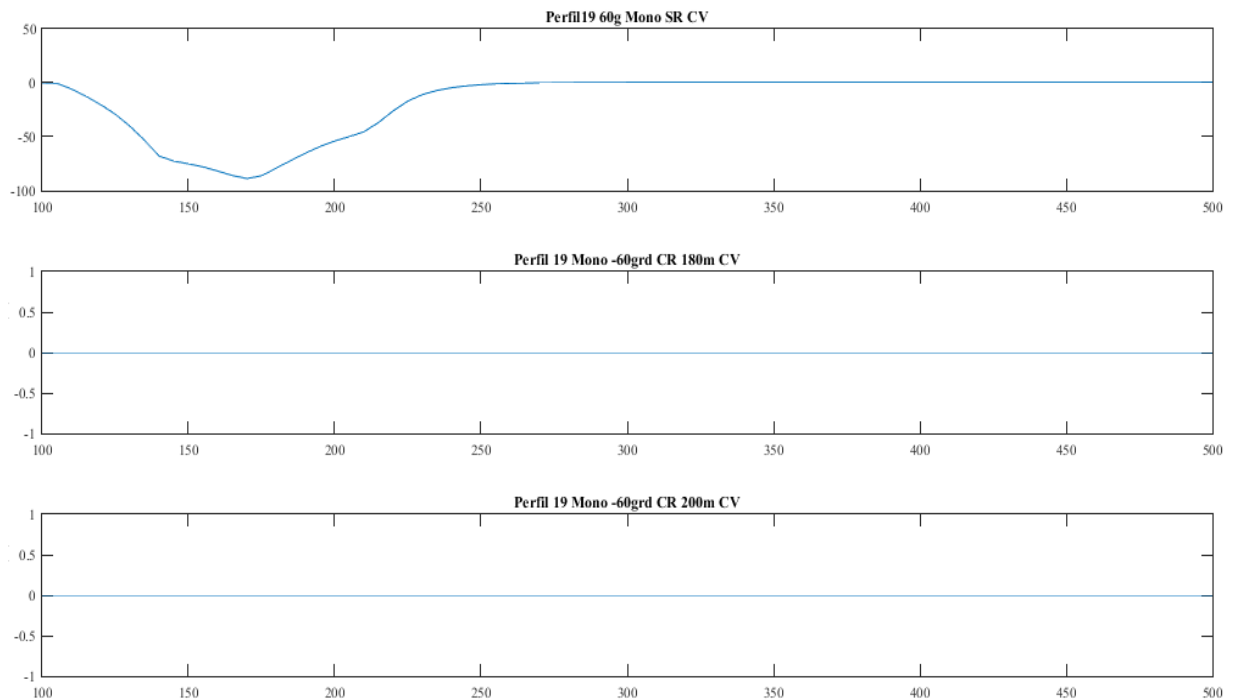


Figura 10 Cambios transporte de sedimentos (m^3/m) en perfil batimétrico (19) para los casos de instalación o no de rompeolas, luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°

El mayor cambio de volumen se da entre los 100 y 230m siendo el mayor en 160m ($95m^3/m$), al ubicar el rompeolas en las distancias de 180 y 200m evidenciamos un perfil de equilibrio total en la playa, es decir, no hay el transporte o cambio de volumen es cercano a cero.

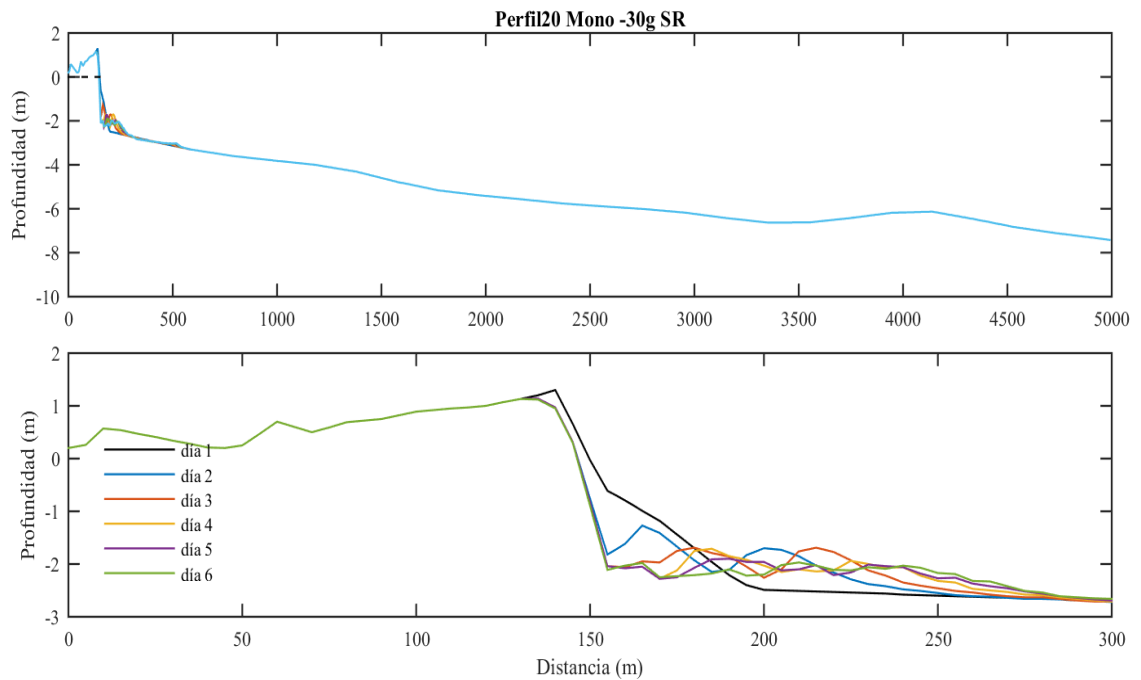


Figura 11 Cambios en perfil batimétrico (20) sin instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°

En la parte superior de la figura 11 vemos el comportamiento del perfil 20, hasta los 5000m mar adentro. Se observa que los mayores cambios se encuentran en distancias menores a 400m.

Al realizar un acercamiento, hacemos la gráfica hasta los 300m (abajo). La escala de colores nos muestra la evolución temporal (días) de la variación del perfil bajo la acción del oleaje de tormenta. En este perfil observamos que la variación empieza metros más alejado que el perfil 19 generando el punto más alto en los 130 a 160m, se observa la arena transportada formando barras de contención natural que sirven como rompimiento de olas.

Este cambio en comparación al perfil anterior puede deberse a que en ese punto hay la desembocadura de un arroyo, esta es una de las principales causas por el cual sea diferente al perfil 19, por el aporte de sedimentos del arroyo.

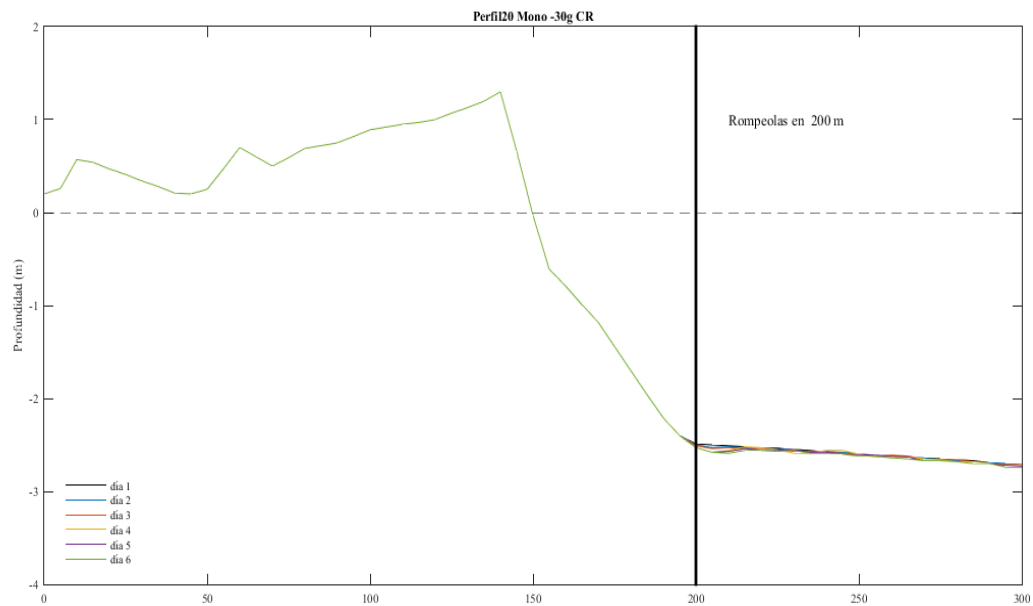


Figura 12 Cambios en perfil batimétrico (20) con instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°

La figura 12 nos muestra el comportamiento del perfil 20 bajo la acción del oleaje de tormenta teniendo en cuenta la presencia de rompeolas en las distancias expresadas en cada gráfica.

En este caso, al ubicar la estructura en la distancia de 200m, se alcanza el perfil de equilibrio en todos los días de acción del oleaje, evitando la socavación de fondo. Es de anotar, que siempre esta socavación existirá, con este tipo de escenarios lo que pretendemos evidenciar es cuál será la mejor distancia de ubicación para no entrar en costos excesivos y evitables. De igual manera se puede observar que la socavación se presenta después de la estructura.

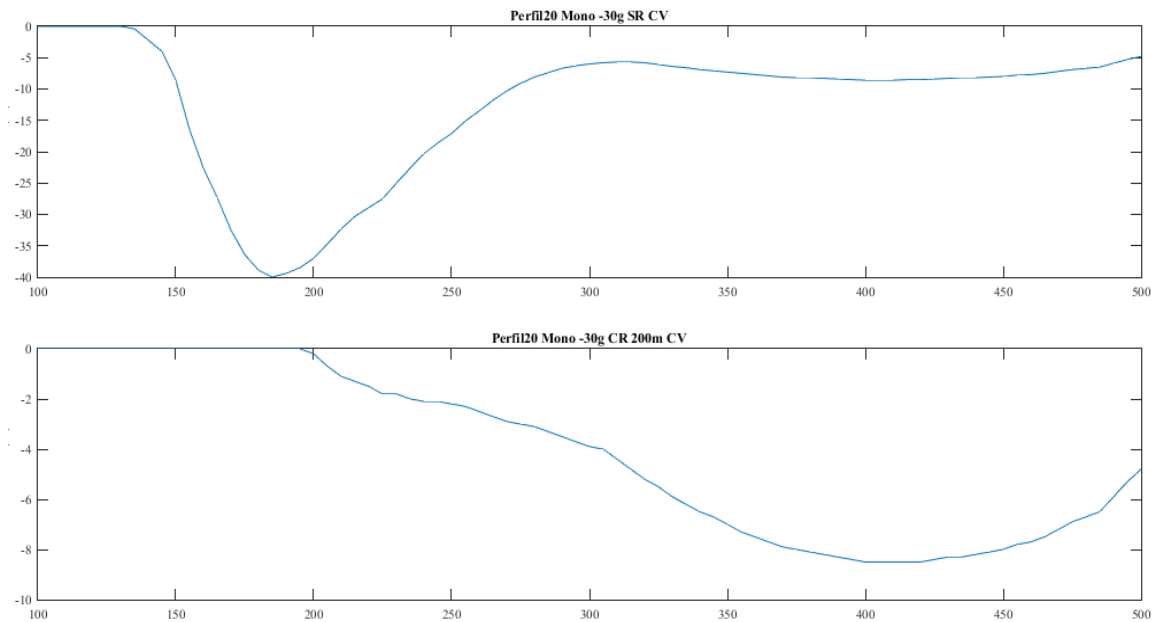


Figura 13 Cambios transporte de sedimentos (m^3/m) en perfil batimétrico (20) para los casos de instalación o no de rompeolas, luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30° .

El mayor cambio de volumen se da entre los 150 y 250m siendo el mayor en 180m ($40m^3/m$), al ubicar el rompeolas en la distancia de 200m evidenciamos un transporte de la socavación de fondo después de la estructura, generando un perfil de equilibrio total en la playa, es decir, no hay el transporte o cambio de volumen es cercano a cero.

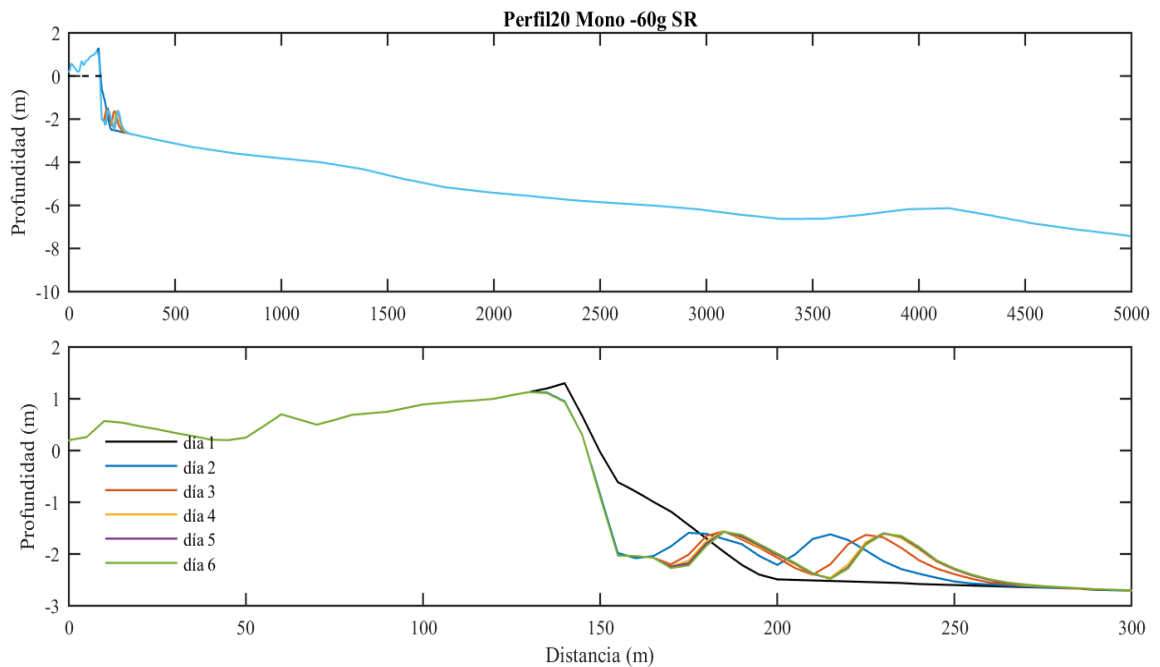


Figura 14 Cambios en perfil batimétrico (20) sin instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°

En la parte superior de la figura 14 vemos el comportamiento del perfil 20, hasta los 5000m mar adentro. Se observa que los mayores cambios se encuentran en distancias menores a 400m.

Al realizar un acercamiento, hacemos la gráfica hasta los 300m (abajo). La escala de colores nos muestra la evolución temporal (días) de la variación del perfil bajo la acción del oleaje de tormenta. al ver la gráfica observamos que se da la misma variación que en el perfil 20 a 30° con la diferencia que la arena transportada forma las barras metros antes que la otra gráfica y con puntos un poco más elevados, igualmente sirve como contención natural e iniciar el rompimiento de ola antes de llegar a la playa

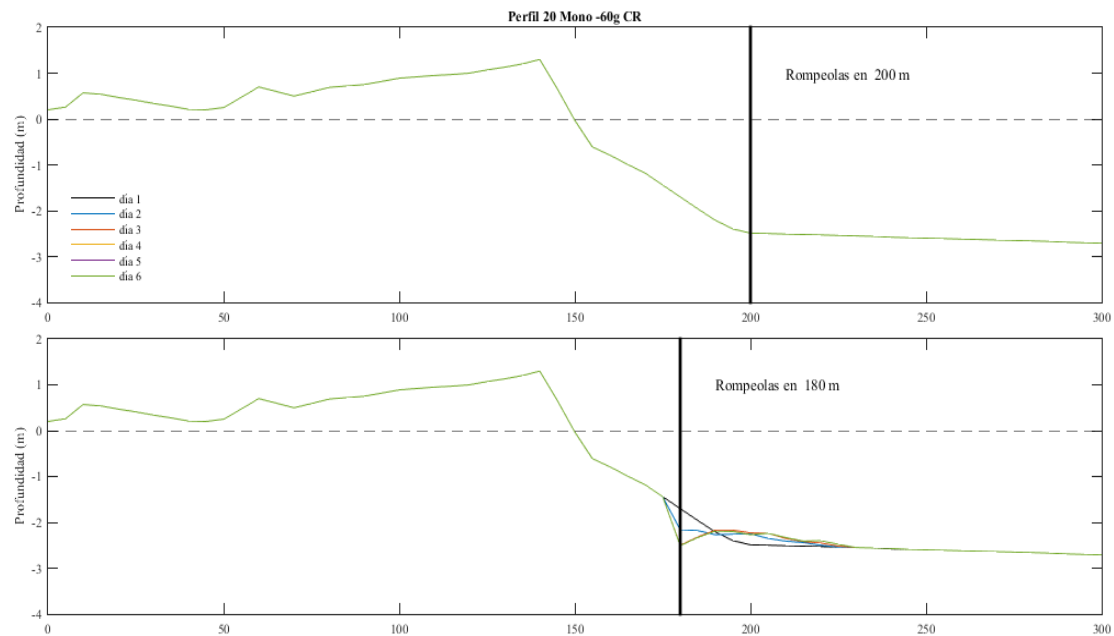


Figura 15 Cambios en perfil batimétrico (20) con instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°

En este caso, al ubicar la estructura en la distancia de 180m, se alcanza el perfil de equilibrio en todos los días de acción del oleaje. Sin embargo, dicha estructura se ve afectada por la socavación de fondo, evidente a ambos lados de la estructura.

Al instalar el rompeolas en 200m impedimos la socavación de fondo. Es de anotar, que siempre esta socavación existirá, pero se evidencia que la mejor distancia de instalación para mantener el perfil de equilibrio es 200m.

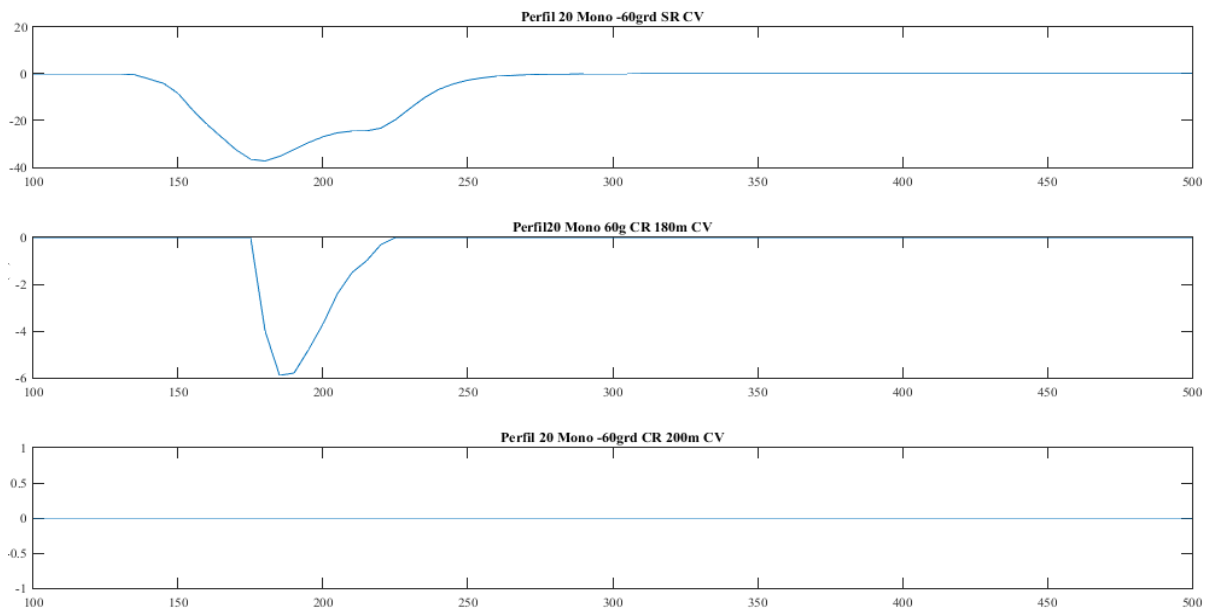


Figura 16 Cambios transporte de sedimentos (m^3/m) en perfil batimétrico (20) para los casos de instalación o no de rompeolas, luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°

El mayor cambio de volumen se da entre los 140 y 250m siendo el mayor en 180m ($38m^3/m$), al ubicar el rompeolas en la distancia de 180m se observa una reducción en la socavación de fondo y se traslada unos metros muy cerca después de la estructura. Al implementar la estructura a la distancia de 200m se evidencia un perfil de equilibrio total en la playa, es decir, no hay el transporte o cambio de volumen es cercano a cero.

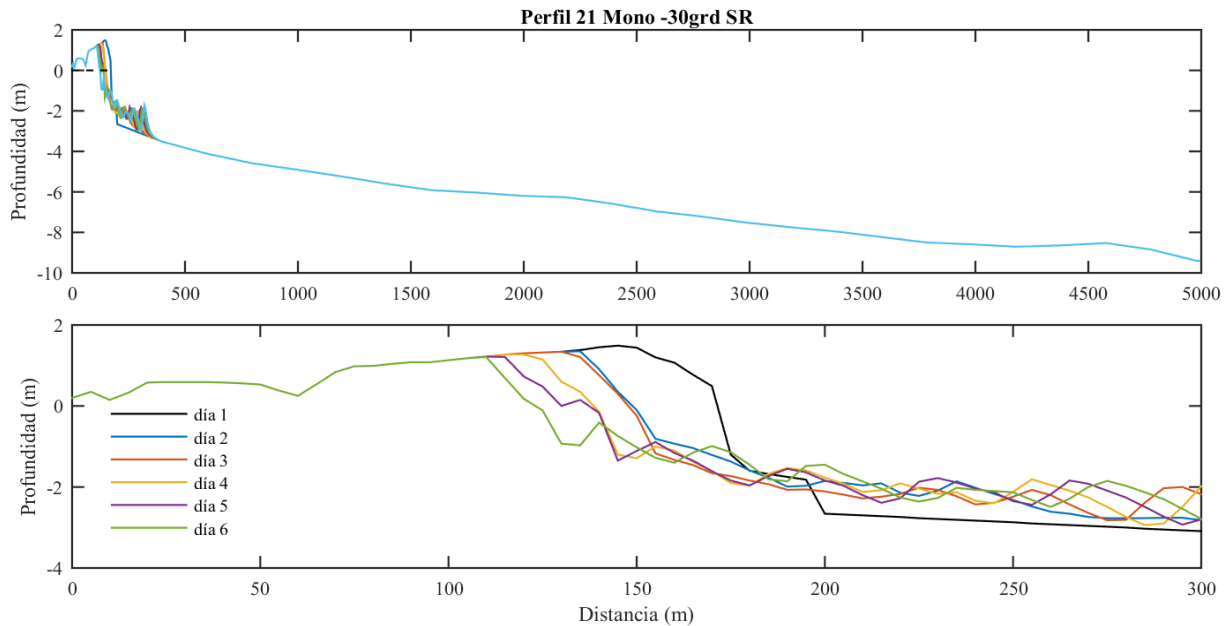


Figura 17 Cambios en perfil batimétrico (21) sin instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°

En la parte superior de la figura 17 vemos el comportamiento del perfil 21, hasta los 5000m mar adentro. Se observa que los mayores cambios se encuentran en distancias menores a 400m.

Al realizar un acercamiento, hacemos la gráfica hasta los 300m (abajo). La escala de colores nos muestra la evolución temporal (días) de la variación del perfil bajo la acción del oleaje de tormenta. En los primeros tres días se observa la mayor variación, en donde el perfil cambia cercano a los 110 m de retroceso y con el mayor transporte de volumen de arena. La arena transportada da origen a la formación de barras que luego servirán de contención natural e iniciar el rompimiento de olas, de diferentes periodos, antes de llegar a la playa.

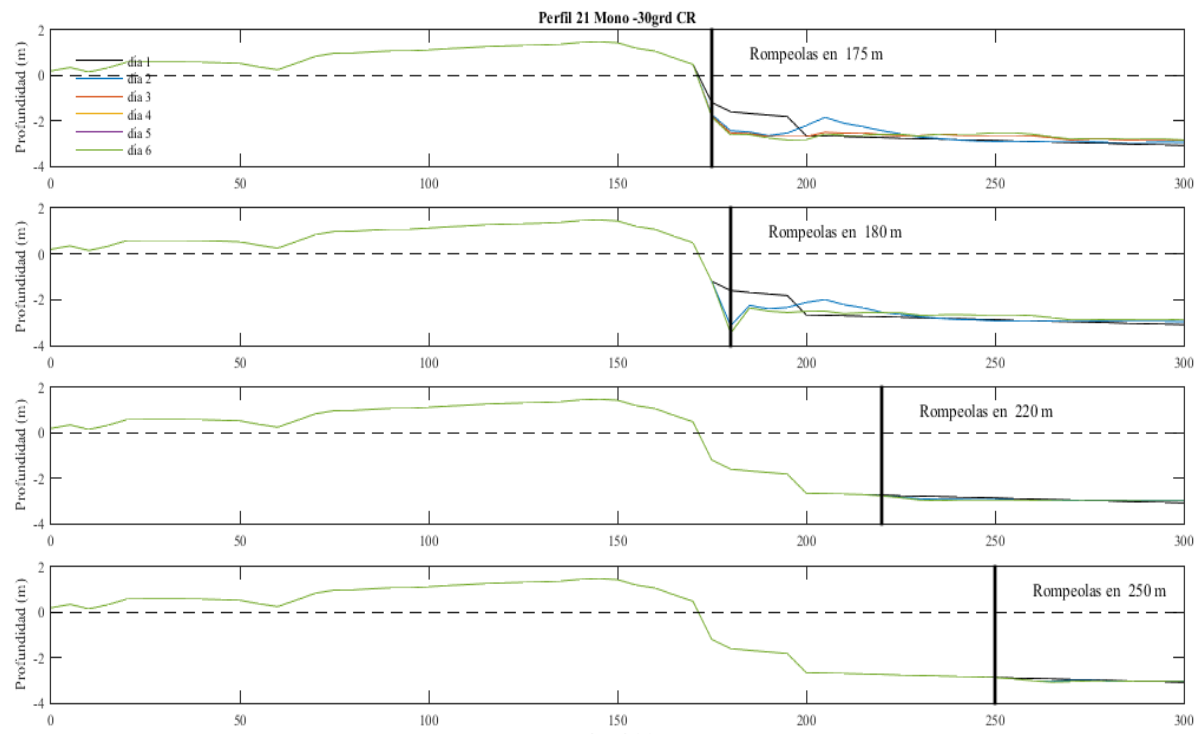


Figura 18 Cambios en perfil batimétrico (21) con instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°

La figura 18 nos muestra el comportamiento del perfil 21 bajo la acción del oleaje de tormenta teniendo en cuenta la presencia de rompeolas en las distancias expresadas en cada gráfica.

En este caso, al ubicar la estructura en la distancia de 175m, se consigue un arrastre de la socavación pero aún se nota que se antes y después de estructura, lo mismo ocurre con la distancia de 180m, en la distancia de 220m se evidencia un transporte mayor de la socavación pero aún se encuentre muy cerca de la estructura, al instalar el rompeolas en la distancia de 250m evitamos la socavación y se evidencia el perfil de equilibrio en todos los días de acción del oleaje, con este tipo de escenarios lo que pretendemos evidenciar es cuál será la mejor distancia de ubicación para no entrar en costos excesivos y evitables en la estructura.

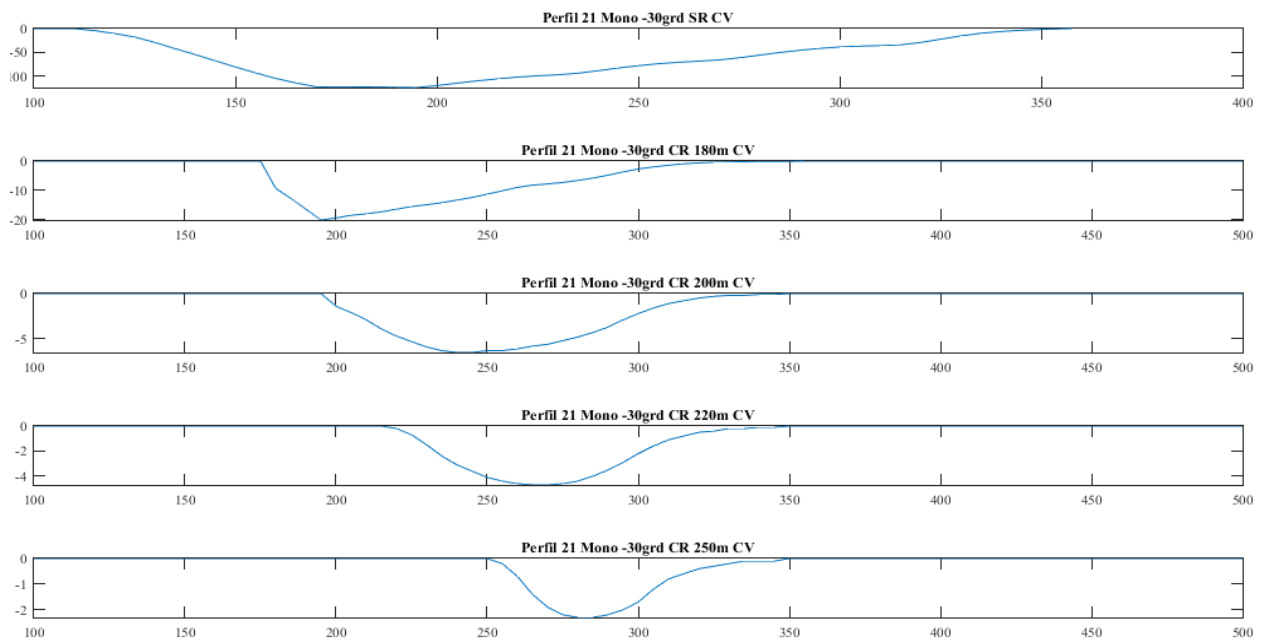


Figura 19 Cambios transporte de sedimentos (m^3/m) en perfil batimétrico (21) para los casos de instalación o no de rompeolas, luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°

El mayor cambio de volumen se da entre los 140 y 310m siendo el mayor entre 170m a 200m ($100\text{m}^3/\text{m}$), al ubicar el rompeolas en la distancia de 175m se observa una reducción en la socavación de fondo y se traslada unos metros muy cerca después de la estructura, lo mismo ocurre con las distancias de 180m y 220m. Pero al implementar la estructura a la distancia de 250m se evidencia un perfil de equilibrio total en la playa, y la socavación se traslada metros después de la estructura, pero es esta distancia la que además permite una reducción mayor de la socavación dejando esta como la mejor opción en establecer el rompeolas.

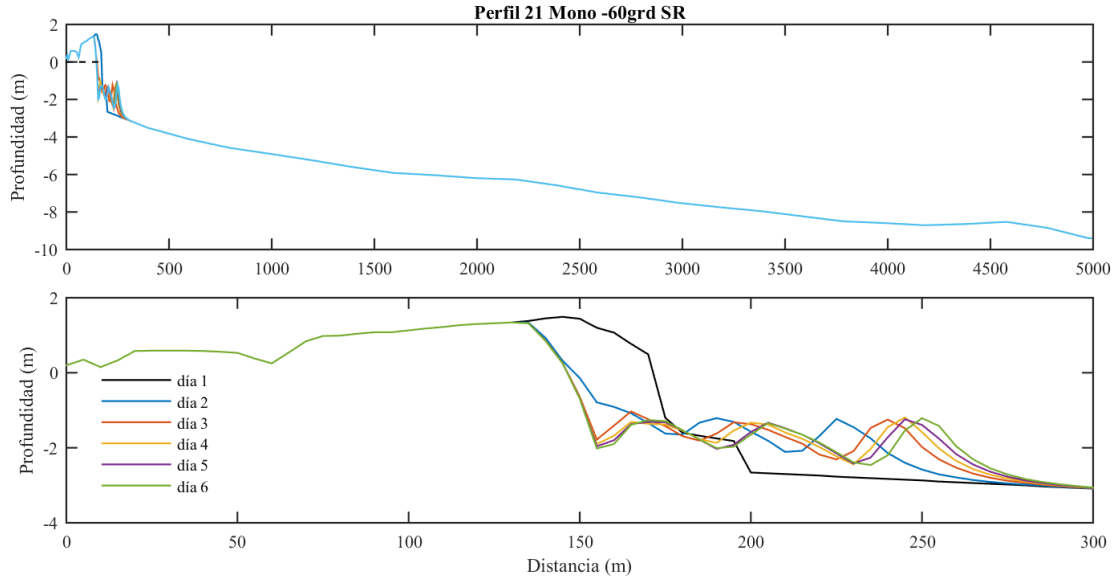


Figura 20 Cambios en perfil batimétrico (21) sin instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°

En la parte superior de la figura 20 vemos el comportamiento del perfil 21, hasta los 5000m mar adentro. Se observa que los mayores cambios se encuentran en distancias menores a 400m.

Al realizar un acercamiento, hacemos la gráfica hasta los 300m (abajo). La escala de colores nos muestra la evolución temporal (días) de la variación del perfil bajo la acción del oleaje de tormenta. En los primeros tres días se observa la mayor variación, siendo el primer día el mayor, en donde el perfil cambia cercano a los 110m de retroceso y con el mayor transporte de volumen de arena. La arena transportada da origen a la formación de barras que luego servirán de contención natural e iniciar el rompimiento de olas, de diferentes periodos, antes de llegar a la playa.

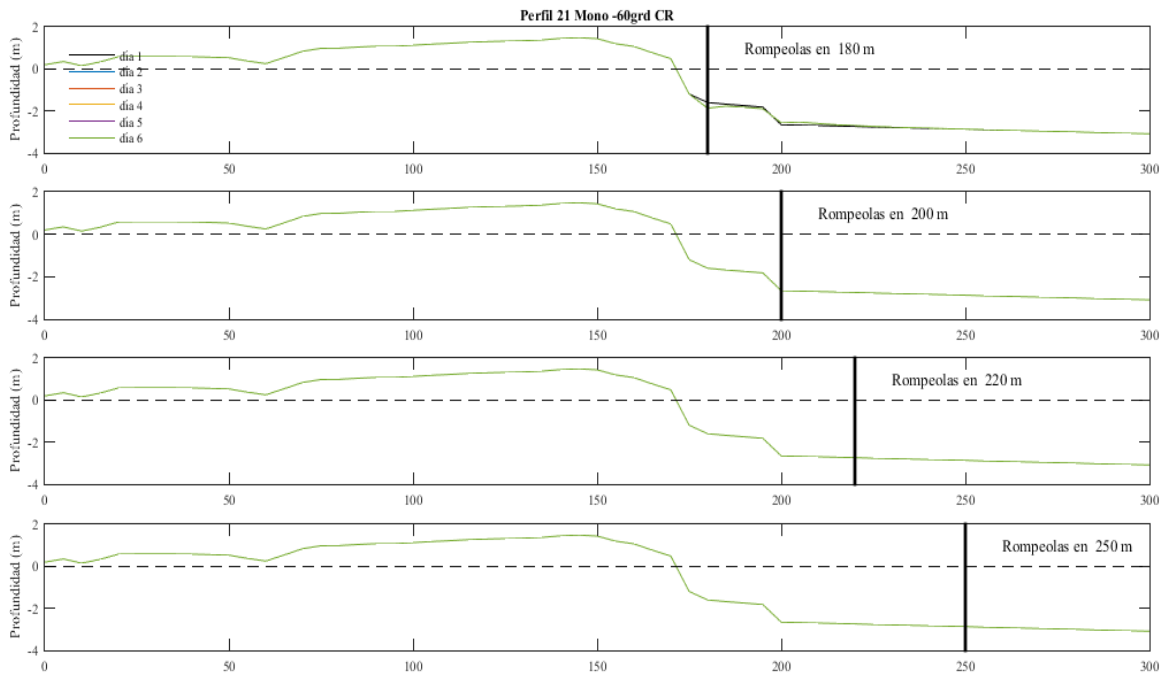


Figura 21 Cambios en perfil batimétrico (21) con instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°

La figura 21 nos muestra el comportamiento del perfil 21 bajo la acción del oleaje de tormenta teniendo en cuenta la presencia de rompeolas en las distancias expresadas en cada gráfica.

En este caso observamos que las distancias en que se coloca la estructura, todas brindan un traslado de la socavación de la playa, en la distancia 180m es la que se denota un socavación en ese punto y después de la estructura, pero las demás muestran un perfil de equilibrio.

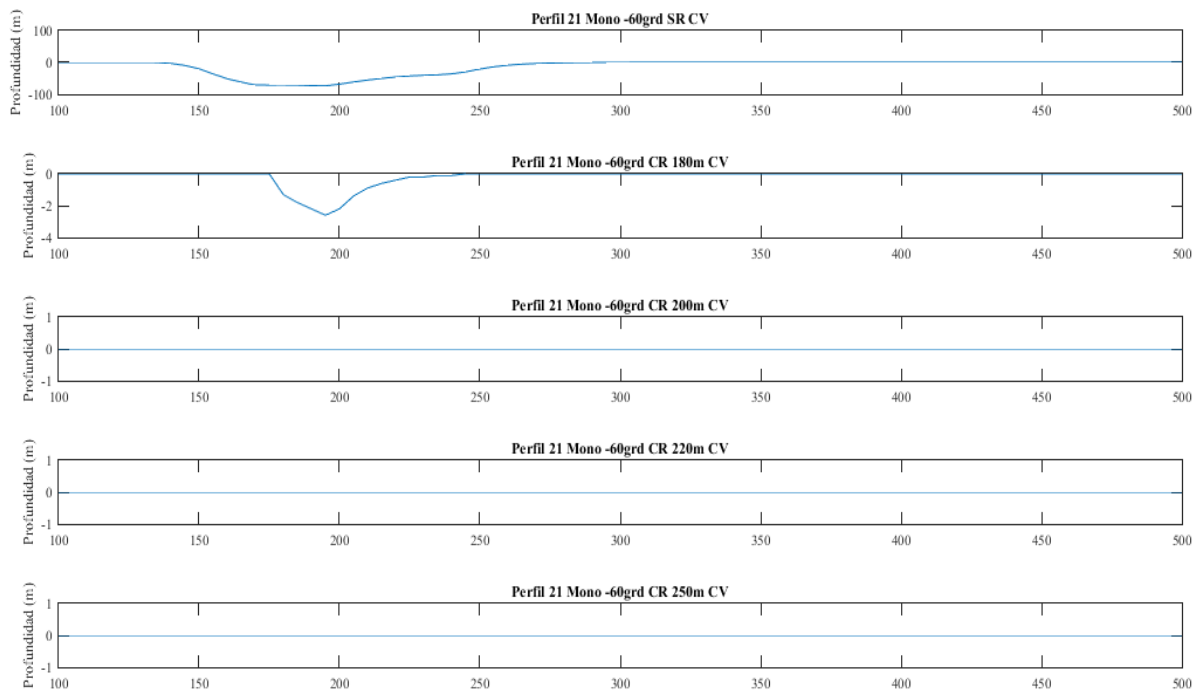


Figura 22 Cambios transporte de sedimentos (m^3/m) en perfil batimétrico (21) para los casos de instalación o no de rompeolas, luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°

El mayor cambio de volumen se da entre los 140 y 290m siendo el mayor entre 170m a 200m ($90\text{m}^3/\text{m}$), al ubicar el rompeolas en la distancia de 180m se observa una reducción en la socavación de fondo y se traslada unos metros muy cerca después de la estructura, pero al aplicar las distancias 200m, 220m y 250m observamos que se da un perfil de equilibrio de playa, es decir, no hay el transporte o cambio de volumen es cercano a cero.

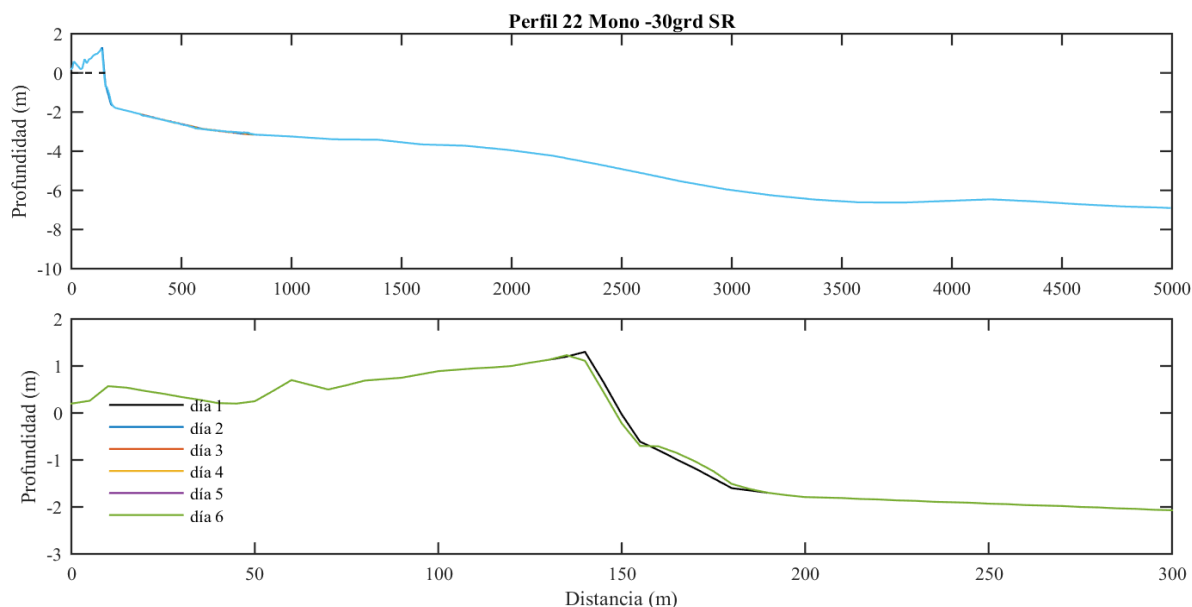


Figura 23 Cambios en perfil batimétrico (22) sin instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°

En la parte superior de la figura 23 vemos el comportamiento del perfil 22, hasta los 5000m mar adentro. Se observa que los mayores cambios se encuentran en distancias menores a 400m.

En este perfil se observa que la socavación de fondo se forma en el primer día, es el predominante, mostrando que no se forma barras de arenas que sirvan como soporte a la fuerza del oleaje, aun así se debe de implementar la estructura para evitar variaciones futuras en cambios estacionales o diferentes influencia de tormentas u otros fenómenos naturales y antropogenicas.

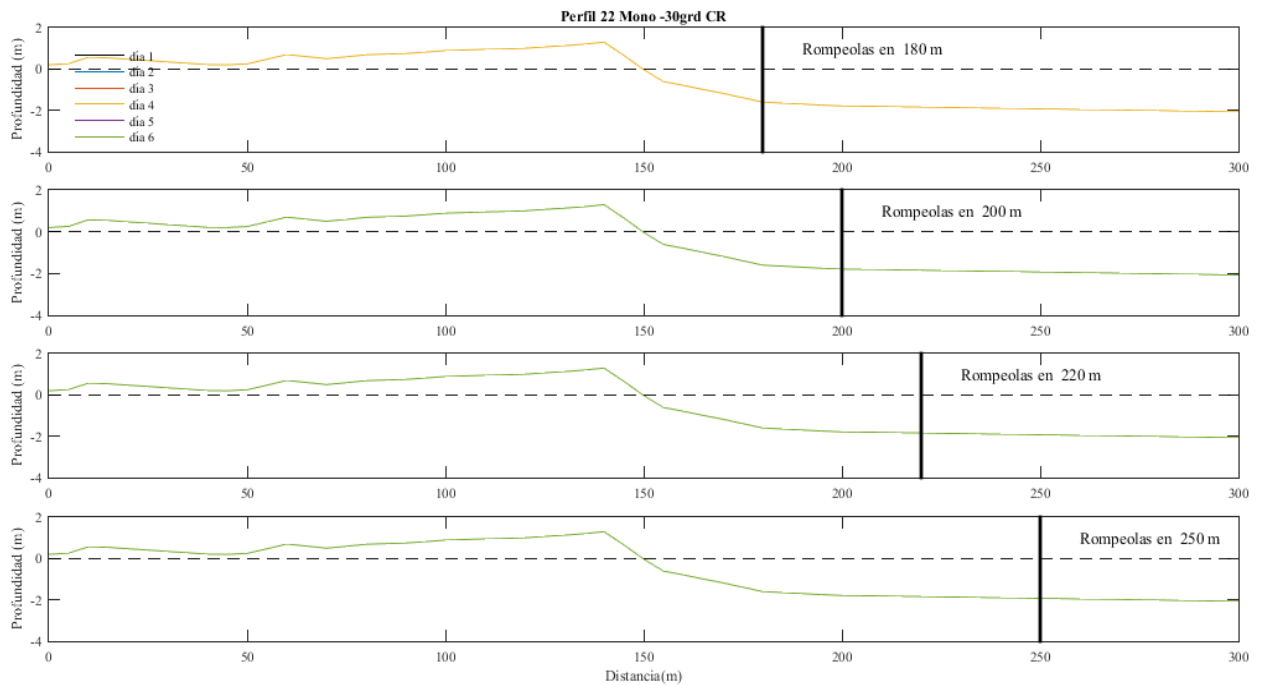


Figura 24 Cambios en perfil batimétrico (22) con instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°

Al implementar la estructura del rompeolas a la distancia de 180m se evidencia un traslado total de la socavación en el perfil, observando que tiende a ser cero, en las demás distancias tales como 200, 220 y 250m, se notara el mismo resultado ya que la variación del perfil por la socavación fue mínima en este perfil dejando como resultado óptimo la distancia a partir de los 180m.

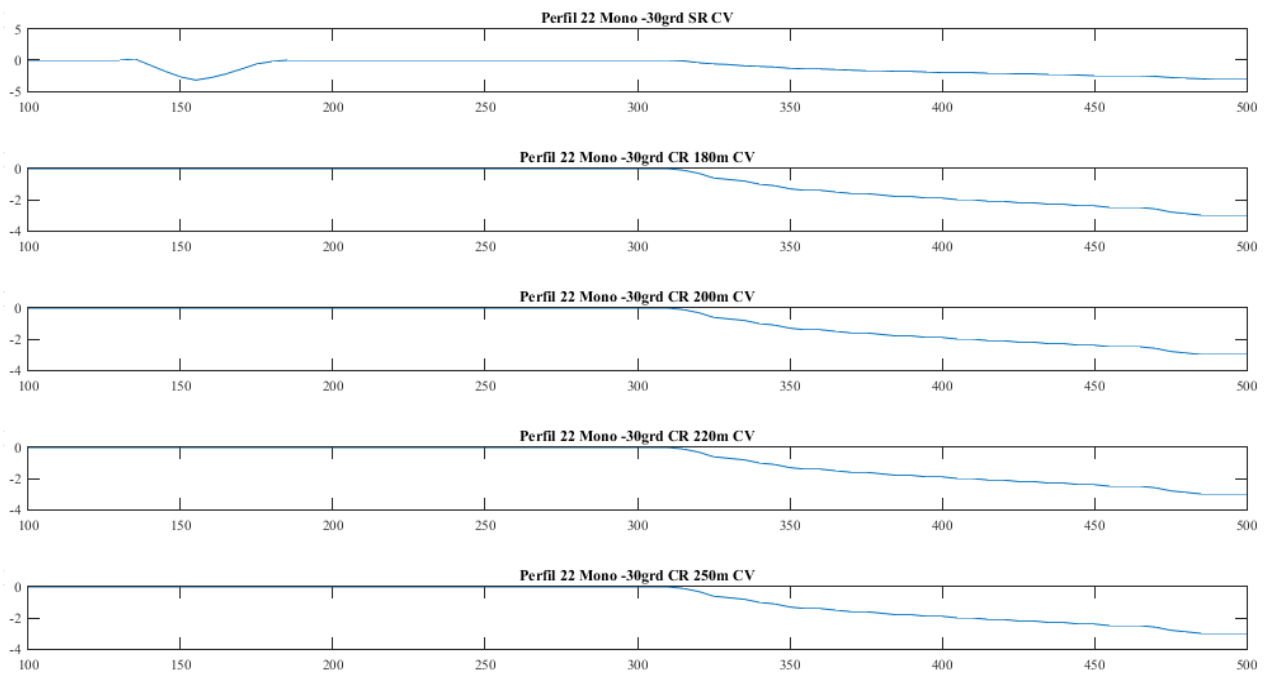


Figura 25 Cambios transporte de sedimentos (m^3/m) en perfil batimétrico (22) para los casos de instalación o no de rompeolas, luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 30°

El mayor cambio de volumen se da entre los 130 y 280m siendo el mayor en 160m ($4m^3/m$), al ubicar el rompeolas en las distancias de 180 metros se observa un traslado notable de la socavación de fondo muchos metros después de la ubicación de la estructura, lo mismo ocurre en las distancias de 200, 220 y 250 metros, el traslados se hace metros después, deja como conclusión que la distancia a 180 metros será la viable en este perfil ya que al colocarla a mayor distancia generaría más gastos excesivos, y en la distancia dicha anteriormente nos arroja un perfil de equilibrio total en la playa.

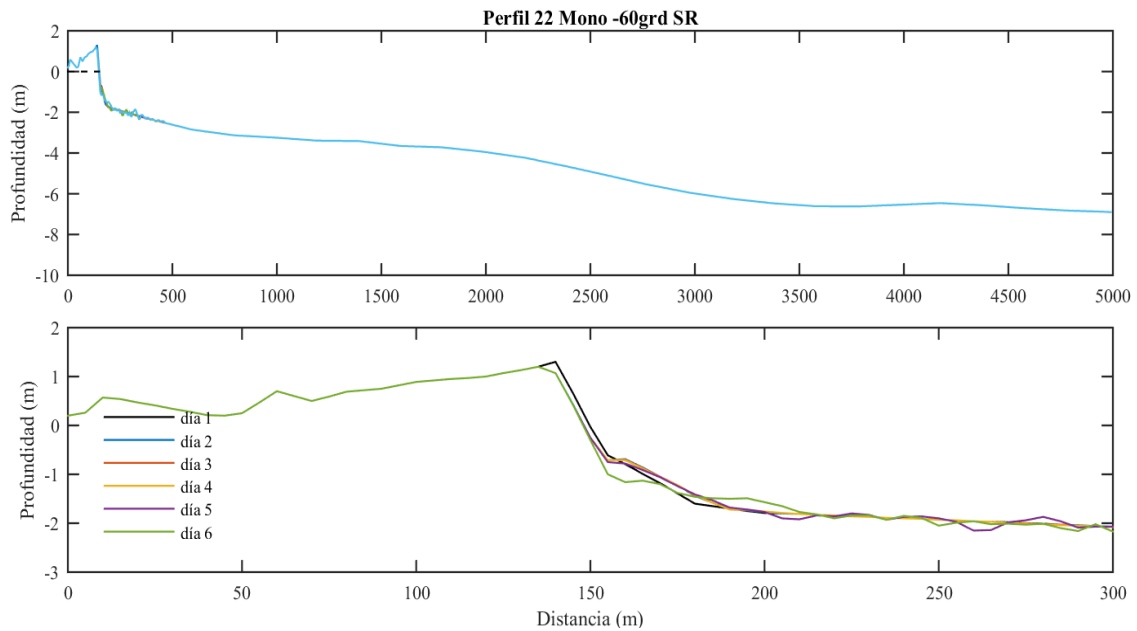


Figura 26 Cambios en perfil batimétrico (22) sin instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°

En la parte superior de la figura 26 vemos el comportamiento del perfil 22, hasta los 5000m mar adentro. Se observa que los mayores cambios se encuentran en distancias menores a 400m.

En este perfil se observó que predomina con mayor variación el primer día, luego los demás tienden a variar el perfil, pero a diferencias con los demás este no forma grandes barras de arenas que sirvan como soporte a la fuerza del oleaje, se observa que a partir de los 120m se empieza a dar la variación.

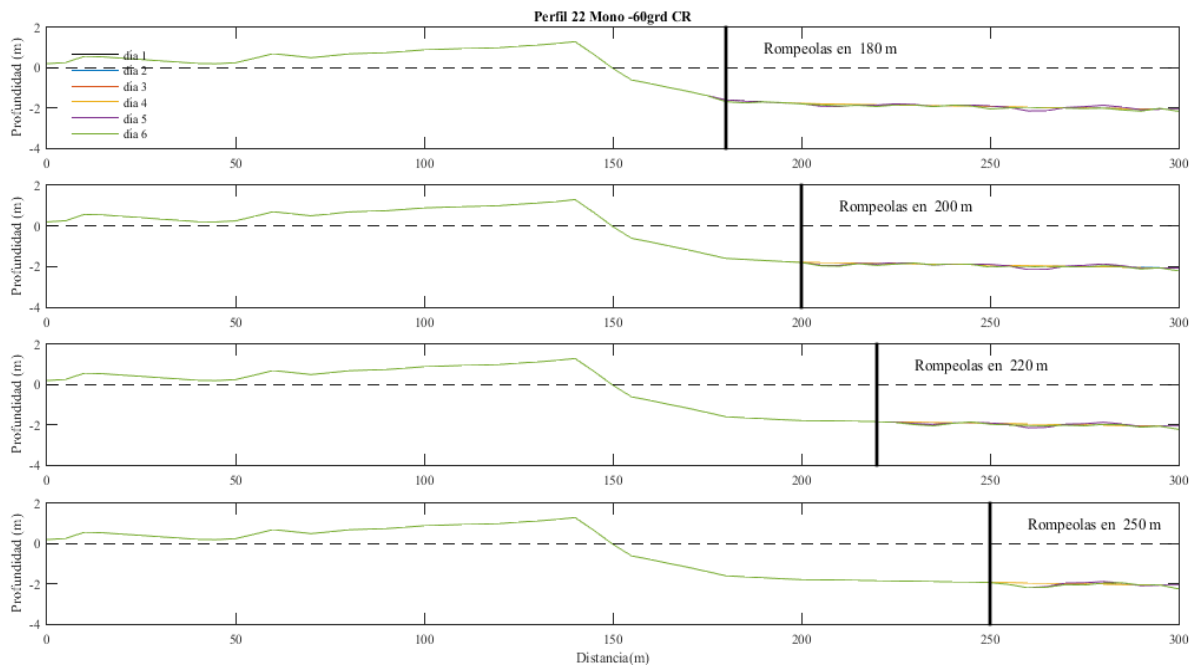


Figura 27 Cambios en perfil batimétrico (22) con instalación de rompeolas luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°

La figura 27 nos muestra el comportamiento del perfil 22 bajo la acción del oleaje de tormenta teniendo en cuenta la presencia de rompeolas en las distancias expresadas en cada gráfica.

En este perfil, al situar la estructura en la distancia de 180m, se alcanza el perfil de equilibrio en todos los días de acción del oleaje. Dicha estructura se ve afectada por la socavación de fondo, evidente después de la estructura, pero muy cerca. Se necesitarían obras complementarias para garantizar la estabilidad de la misma, lo que generaría mayores costos de construcción.

Al colocar rompeolas en distancias de 200, 220 y 250m se nota claramente el traslado de la socavación después de la estructura, lo que genera que el perfil empiece su recuperación y se mantenga en el perfil de equilibrio esperado.

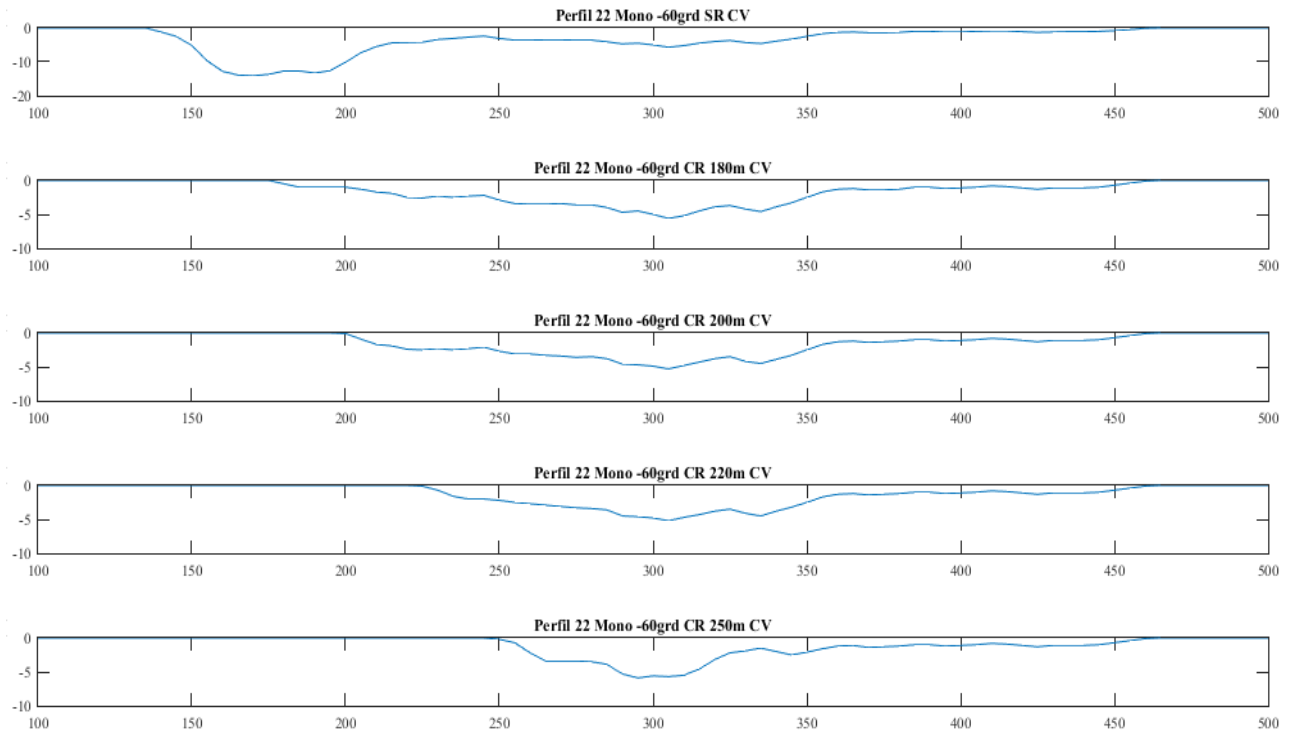


Figura 28 Cambios transporte de sedimentos (m^3/m) en perfil batimétrico (22) para los casos de instalación o no de rompeolas, luego de 6 días de acción de ola regular proveniente de 60°

El mayor cambio de volumen se da entre los 140 y 230m siendo el mayor en 170m ($15\text{m}^3/\text{m}$), al ubicar el rompeolas en las distancias de 180, 200, 220 y 250m se observa un traslado de la socavación de fondo después de la estructura, evidenciamos un perfil de equilibrio total en la playa antes de la estructura, es decir, no hay el transporte o cambio de volumen es cercano a cero. Cabe resaltar que la socavación de fondo empieza a generarse en bajas cantidades metros después de la ubicación de la estructura.

10. CONCLUSION

Los procesos erosivos en el área de estudio que provocan una variación en el perfil de la playa son severos, esto un proceso natural que se da en las distintas estaciones climáticas pero que por medio de acción antropogenicas evidencio un crecimiento considerable, el análisis de la investigación evidencio una mitigación a esta problemática mediante la implementación de una estructura sumergida llamada rompeolas, que permitió la combinación de modelos que ha derivado en una metodología útil para el estudio y la solución a la estabilidad de perfiles playeros.

Cada perfil mostro resultados diferentes, el perfil 19 mostro una socavación alta del fondo de la playa, el perfil 20 un menor y el perfil 22 una con valores mínimos en comparación con los demás, pero en todos los perfiles al implementar la estructura de rompeolas se observa que genera un perfil de equilibrio total de la playa donde el transporte de sedimentos tiende a cero, en algunos perfiles la distancia para situar la estructura son distintas pero en todos mostro que es útil y eficaz para que el perfil que varía mediante la erosión formada por la fuerza de acción del oleaje se mantenga en equilibrio, esta investigación se generó en condiciones de tormenta para cuando se presente condiciones diferentes este pueda responder de la misma manera.

Los resultados arrojados por esta investigación son de mucha importancia para el impulso de nuevas investigaciones en el tema. Este queda como base para el seguimiento del desarrollo de los perfiles y de la línea de costa en las playas del departamento de la Guajira, debido a los efectos de la erosión costera y en la variabilidad en los perfiles playeros es necesario buscar estructuras de protección costera como la ejecutada en esta investigación, y así se pueda implementar en otros sectores con el mismo objetivo.

11. BIBLIOGRAFIA

Cabrera-Ramírez, M. and A. Carranza-Edwards, 2002. The beach environment in Mexico as a potential source of placer minerals. *Marine Georesources and Geotechnology*, 20:187-198.

Bernabeu, A.M., Medina, R., Vidal, C. y Muñoz-Pérez, J.J. (2001): Estudio morfológico del perfil de playa: modelo de perfil de equilibrio en dos tramos. *Rev. Soc. Geol. de España*, 14 (3-4): 227-236.

García-Zuber, Alain y Álvarez, María del Carmen, VARIACIÓN EN LOS PERFILES DE PLAYA DE COCOS, COLIMA, 9 (2).

Posada, B. y Henao, W. 2008. Diagnóstico de la erosión de la zona costera del Caribe Colombiano, INVEMAR. Serie publicaciones especiales No 13, Santa Marta, 200 páginas.

Mosquera Yeison, Campo Guillermo, Barrera Darwin, análisis del comportamiento de los perfiles de playa por efectos de estructuras costeras construidas para mitigar el problema de erosión. Caso de estudio: zona nororiental de la isla de tierrabomba en el distrito de Cartagena.2015, 123 páginas.

Córdova-López, Luis, & Torres-Hugues, Ronnie. (2016). Medidas de rehabilitación para el sector Oasis en playa Varadero. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 37(1), 95-106.

Pérez Porto J. & Merino M. (2009). Definición de erosión. Extraído de www.definicion.de/erosion/.

De la Peña, J., & Sánchez, F. (2008). ¿QUÉ ES EROSIÓN COSTERA? *Cimbra*, 380.

Sciarrone R. Meléndez R. y Loschacoff S. Rompeolas aislados como estructuras de proteccion costera, recuperacion de playas, 16 páginas.

Ashbourn, J. (2011). Coastal Erosion. In *Geological Landscapes of Britain* (pp. 205– 217). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8861-1_16.

Kench, P., R. Brander, K. Parnell & R. McLean. 2006. Wave energy gradients across a Maldivian atoll: Implications for island geomorphology. *Geomorphology*, 81: 1-17.

Ostrowski, R., Pruszek, Z., Schoenhöfer, J., Szmytkiewicz, M., & Szmytkiewicz, P. (2012). Influence of damaged groins on nourished seashore. In *Proceedings of 33rd international conference on coastal engineering* (2012).

Ortega, L. M., & Floriano, M. A. (2009). Condamine floating dock, Monaco. *Encyclopedia of structural health monitoring*. Wiley Online Library.

Burchard, H., Hawkins, S., Zantigh, B., & Lamberti, A. (2007). *Environmental design guidelines for low crested coastal structures*. The Netherlands: Elsevier (400 pp.).

