



X Congreso Nacional de AIDIS

Estrategias Integradas para un Ambiente Sostenible

28 y 29 de agosto 2019

Cámara Mercantil de productos del país



APLICACIÓN DE GEOTUBOS EN ESTABILIZACIÓN DE DUNAS COSTERAS

Federico Steffenino.
Intendencia Departamental de Maldonado-Uruguay.
Asesor técnico en temas de ingeniería hidráulica y medio ambiente.
Tema:6
Política:



Acuña de Figueroa esquina Enrique Burnett-Maldonado-CP 20000-Uruguay-Tel.: +598422 52183 - fsteffenino@maldonado.gub.uy

RESUMEN

Este documento reporta la experiencia de instalación de geotubos en las playas del departamento de Maldonado-Uruguay con el objetivo de mitigar los efectos erosivos de las forzantes ambientales sobre el cordón dunar y/o infraestructuras críticas situadas en las zonas de máxima crecida del mar.

En particular se analizarán como casos de estudios los trabajos realizados en el arco de playa conocido como "Playa Mansa" con tres puntos intervenidos denominados para este trabajo como Tramo "parada 1 a parada 3", Tramo "parada 12", Tramo "parada 17".

Costas, Dunas, Erosión, Estabilización, Geotubos.

INTRODUCCION

Este trabajo refiere a la restauración ambiental de tramos de playa comprendiendo la utilización de geotubos como núcleos dunares en tres tramos de playa. Estas soluciones fueron diseñadas considerando la problemática particular de cada tramo intervenido, las variables físicas medioambientales que intervienen en los procesos erosivos o de transporte de sedimentos como ser: perfil de playa, nivel de marea, oleaje (altura, periodo y dirección). También fueron considerados aspectos estéticos, de armonía paisajística y uso de las playas.

El tramo "parada 1 a 3" tiene una extensión de 380 metros lineales, se encuentra situado en el extremo sur de la bahía de Maldonado, es un tramo de playa altamente urbanizado y constituye uno de los paseos tradicionales de la oferta turística de Punta del Este. Sobre elevado al cordón dunar consolidado existe una pasarela de madera peatonal apoyada sobre pilotes que es utilizada durante todo el año tanto por residentes como por turistas.

Ante eventos de tormentas severas se registra una erosión del cordón dunar y se desestabilizaba la pasarela la cual debía ser clausurada al uso público por el riesgo de colapso.



X Congreso Nacional de AIDIS

Estrategias Integradas para un Ambiente Sostenible

28 y 29 de agosto 2019

Cámara Mercantil de productos del país



Ilustración 1 Tramo parada 1 a 3, vista de pasarela peatonal

Tramo “parada 12” situado en la misma bahía de Maldonado, el arco de playa intervenido cuenta con una longitud de 200 metros lineales, se trata de un tramo donde había una fuerte presión de infraestructuras de servicios públicos como ser un parque de diversiones para niños, un estacionamiento con acceso para personas con discapacidad y un edificio que alberga la escuela de alta gastronomía “Pedro Figari” dependiente de UTU-CETP.



Ilustración 2 Tramo parada 12

Como consecuencia de acción de las forzantes ambientales sobre este tramo se registraban importantes daños en las infraestructuras antes mencionadas y una afectación del uso recreativo de la playa por presencia de escombros.

El último tramo de este estudio denominado “parada 17” se sitúa en la misma bahía que los anteriores, posee una orientación NO-SE, y tiene la particularidad de que en el mismo se encuentra una fortificación colonial declarada Monumento Histórico Nacional denominada Batería de Jesús. En este tramo el cordón dunar que le ofrecía protección a la fortificación ha sufrido un fuerte retroceso en los últimos 30 años dejándolo expuesto la acción de las variables físicas ambientales. Este es el único tramo donde la intervención realizada es de carácter temporal, prevista su remoción una vez que la comisión de patrimonio determine que acciones definitivas tomar con respecto a la preservación del MHN.



X Congreso Nacional de AIDIS

Estrategias Integradas para un Ambiente Sostenible

28 y 29 de agosto 2019

Cámara Mercantil de productos del país



Ilustración 3 Tramo parada 17

ANTECEDENTES

Ante los efectos adversos que generan las tormentas en la costa (Erosión, Inundaciones, etc) las cuales pueden aumentar su severidad y frecuencia como consecuencia del cambio climático sumado al aumento progresivo del nivel medio del mar que este genera, surge la necesidad de desarrollar nuevos métodos de protección costera. Es a partir de esta concepción que las soluciones blandas se comienzan a jugar un rol cada vez mayor. Surge así el concepto de contenedores de arena confeccionados a base de geotextiles , los cuales fueron utilizados por primera vez en el año 1950 en los Países Bajos (Pluimplot) (Heerten, 1984; Koerner, 2000). Entre las aplicaciones más frecuentes están los espigones, diques exentos u arrecifes, refuerzos dunares y nucleos dunares (José Aldiber Ovalle,2012). En la siguiente ilustración se ejemplifican las aplicaciones antes descritas (Lawson 2006).

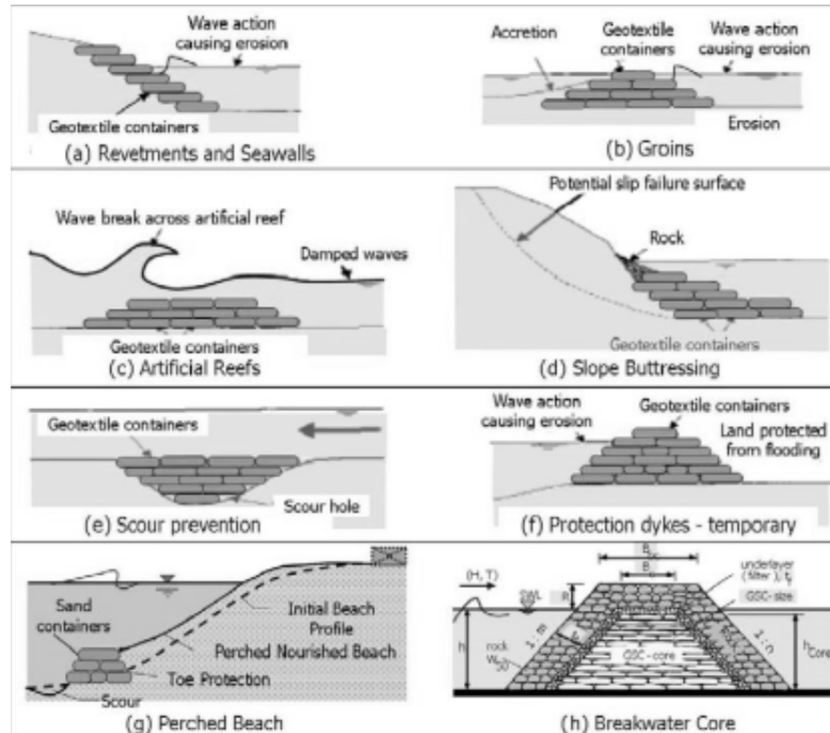


Ilustración 4 Ejemplificación de distintas aplicaciones de geotubos en defensa costera

La mayoría de las aplicaciones de geotubos en ingeniería de costas pertenecen al tipo de reforzamiento dunar o núcleo dunar, donde el principio básico es interponer una barrera física al agua protegiendo de esta forma la duna que está al trasdós del geotubo.

De esta forma se busca minimizar el transporte de arena desde el cordón dunar hacia la playa sumergida y por sobre todo proteger la vegetación que se encuentra sobre la duna y que es de gran utilidad para el control de la erosión eólica hacia el continente.

METODOLOGIA

El primer paso para diseñar e implementar la solución fue definir la situación base o de partida, describiendo el comportamiento de esos tramos de costa en el corto y mediano plazo, interpretando como interactúan las variables físicas que intervienen en forma determinante.

Los estudios previos de la costa establecían que el arco de playa de la Bahía de Maldonado está en una situación de equilibrio casi estático, con una alta presión urbanística y de infraestructura de servicios públicos y turísticos. Las variables físicas medioambientales consideradas fueron: Relevamiento planialtimétrico

En sitio se procedió a realizar un relevamiento plan altimétrico mediante la utilización de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) del perfil de playa desde la línea de ribera hasta el coronamiento de las dunas. Los datos mas relevantes fueron cota de terreno natural en la zona de instalación del geotubo, pendiente promedio de la playa y distancia del geotubo a la línea de ribera.



Tabla 1 Resultados de relevamiento topográfico en tramos de playa.

Tramo	Cota terreno (Cero Wharton)	Distancia a línea de ribera (mts)	Pendiente (%)
Parada 1 a 3	3.24	40	6.85
Parada 12	3.31	45.4	7.3
Parada 17	2.24	23.36	12.7

Clima medio de vientos

El análisis de los datos registrados en la estación meteorológica Punta del Este, localizada a menos de 2 km del sitio de estudio, permite concluir que los vientos más intensos en velocidad son del cuadrante Sur-Sur Oeste, los vientos de este sector pueden alcanzar los 100 km/h con un período de retorno asociado de 10 años (IMFIA 2002).

Se resalta que los vientos de este sector inciden directamente sobre el tramo de costa intervenido.

Clima medio de olas

En general en la costa de Río de la Plata en Maldonado coexisten dos tipos de oleaje; el oleaje producido por acción del viento sobre la superficie del agua, denominado oleaje de viento o "Sea" y el oleaje de mar de fondo o "Swell" que se genera en aguas profundas y se propaga hacia la costa y va perdiendo energía a medida que ingresa al estuario, por la poca profundidad del agua (Texeira et al. 2008). Estos autores calcularon el clima de olas, utilizando información registrada y propagada hacia la costa de Maldonado mediante modelación numérica, junto con el cálculo de oleaje a partir de los datos de viento, se obtuvo el clima de olas en siete puntos o boyas virtuales a lo largo de toda la costa del departamento de Maldonado, estando una de estas boyas virtuales (Piedras del Chileno) situada en el arco de playa en el que se realizó la intervención. Para estas boyas se calculó la altura de ola significativa H_s o $H_{1/3}$ se obtiene al calcular la media de alturas de ola del tercio de olas más altas dentro del grupo de olas considerado.

En esta zona el oleaje tipo "Sea" u oleaje de viento es el que genera las olas de mayor altura. Si bien según las modelaciones la altura de ola significativa se mueve en un rango que va desde los 0.4 m a los 4.8 m para el diseño se consideró una altura de ola significativa que se encuentra en el rango de los 2.0 m a 2, 4 m con una frecuencia de ocurrencia de 8%.

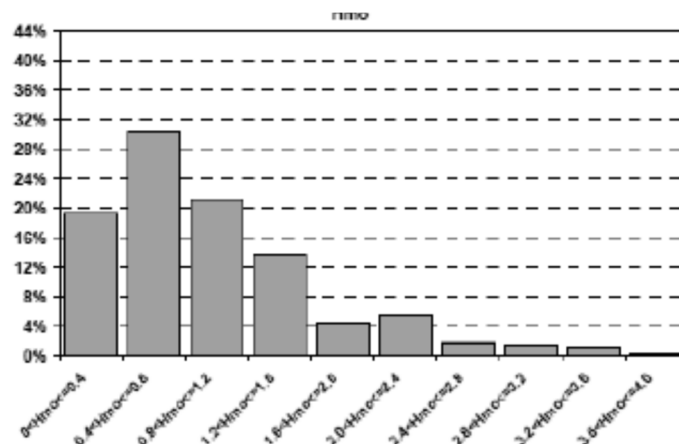


Ilustración 5 Distribución por altura de ola boyas virtual Piedra del Chileno (Texeira et al-2008)



Niveles de marea

Este dato fue decisivo a la hora de definir la cota de fundación de los geotubos y se procedió de la siguiente manera. En primera instancia se obtuvieron los datos de marea registrados en la estación hidrométrica del puerto de Punta del Este perteneciente a la Dirección Nacional de Aguas (D.I.N.A.G.U.A) durante la ocurrencia de las tormentas severas que ocasionaron los daños en 2016. Estos datos de Marea son el resultado de la combinación de la marea astronómica y la marea meteorológica registrada durante la ocurrencia del evento. Posteriormente se compararon las lecturas obtenidas durante esos eventos con el análisis de máximos realizado por Teixeira et al. (2008), de esta manera se pudo determinar que la cota de marea alcanzada en los temporales de 2016 tiene un período de retorno de 10 años. Estos niveles de marea son por otra parte un dato de partida para estimar el Nivel Total de Agua o TWL (Total Water Level) alcanzado durante la ocurrencia de tormentas severas.

El TWL se define como la combinación del nivel de marea astronómica, nivel de marea meteorológica, run up y set up del oleaje (Ruggiero et al 2001) y es por consiguiente la altura máxima a la que el agua alcanza en una playa determinada.

En las hipótesis de diseño se consideró que la estructura de defensa estaría sometida a intensas condiciones de oleaje, marea y de exposición al sol, por lo que se seleccionó un tipo de geotubo (material y confección) que cumpliera con los mayores estándares disponibles en mercado en cuanto a sus propiedades Mecánicas, Hidráulicas y Físicas, dado que materiales de menor calidad o confección serían susceptibles de falla.

Para eso se seleccionó un tipo de geotubo confeccionado con el geosintético GT1000 MB y costuras de alta resistencia.

Como una primera aproximación a la geometría y dimensiones de los geotubos a instalar se utilizaron las fórmulas desarrolladas por Schercks Reis et al 2008 a partir de los resultados de estudios realizados en el centro de investigación de costa de Alemania, si bien estas ecuaciones utilizan parámetros empíricos constituyen una base sólida para un prediseño.

Por otro lado, un aspecto a tener en cuenta es la recomendación del fabricante de que el ratio entre ancho y altura debe ser mayor o igual a dos.

Un tercer elemento que se tuvo en cuenta en la determinación de las dimensiones geométricas de los geotubos fue la armonía paisajística de los mismos con el entorno, una prerrogativa en el diseño era no generar estructuras que afectaran la percepción de la playa por los usuarios.

Los niveles de fundación de los geotubos se determinaron en función de los niveles de marea para Tr de 5 a 10 años en los tramos Parada 1 a 3 y Parada 12, el tramo Parada 17 por presentar una estructura declarada MHN se utilizó como cota de fundación la existente en el suelo natural para no afectar al MHN con excavaciones.

En cuanto a las dimensiones geométricas de cada geotubo estos tienen una longitud de 20 metros y un perímetro que oscila entre los 5 y 12 metros, dependiendo del tramo considerado.

Tabla 2 Geometría de geotubos

Tramo	Cota de fundación (Cero Wharton)	Largo (m)	Ancho(m)	Altura(m)	Tr (años)
Parada 1 a 3	2.3	16	1.9	0.9	2
Parada 12	2.7	20	5	1.85	10
Parada 17	2.24	19	2.19	0.9	2

La instalación de geotubos presentan grandes ventajas en comparación a las obras tradicionales realizadas de hormigón armado u hormigón ciclópeo.

Son más rápidas de ejecución, producen menos residuos y se necesitan menos maquinarias y en caso de ser necesario su remoción esta se realiza fácilmente.



La ejecución se puede descomponer en tres fases bien diferenciadas.

Preparación del sitio: Se debe proceder a la limpieza del área de todo material cortopunzante como ser escombros, hierros, ramas y residuos en general. Acto seguido se deben de realizar los movimientos de suelos necesarios para alcanzar la cota de fundación y nivelación del área donde se desplegará el geotubo y manto anti socavación asociado. El geotubo vacío cuando es desplegado y presentado en su configuración final debe ser amarrado para evitar que se mueva por la acción del viento o que se vuelque durante el llenado.

Llenado: Esta etapa es la más compleja y la cual exige mayor atención, El llenado se realiza con una bomba hidráulica acoplada a la pluma de un retroexcavadora que se acciona con el circuito hidráulico de la línea de percusión. La bomba es de rotor abierto, con capacidad de bombear solidos de hasta 5 cms de diámetro y una capacidad de 400 m³/hr. El fluido bombeado tiene una relación de solidos/agua del 0.4%.

La zona de préstamo se encuentra sobre la orilla del mar, y el fluido compuesto por agua y arena es conducido hasta los geotubos mediante una tubería flexible de fi 200 mm de diámetro.

El ingreso del fluido dentro de geotubo se realiza simultáneamente por los dos puertos de entrada que este posee en su parte superior o clave, una vez dentro el geosintético posee una permeabilidad tal que el agua permea hacia fuera al tiempo que el material granular es retenido dentro del mismo. Durante la etapa de llenado es importante controlar que el mismo sea homogéneo, que el geotubo no se desplace de su posición y que la forma final se corresponda a la elipse del proyecto.



Ilustración 6 Vista de instalación de Geotubos



X Congreso Nacional de AIDIS

Estrategias Integradas para un Ambiente Sostenible

28 y 29 de agosto 2019



Cámara Mercantil de productos del país

Una de las desventajas más notorias de los geotubos está relacionada con su mantenimiento, siendo frecuente la reposición de arena en su borde de ataque (borde expuesto al mar) y la reparación del tejido ante desgarramientos del mismo por cortes.

A los efectos de determinar el comportamiento de las estructuras instaladas, la efectividad y su afectación en el entorno se establecieron campañas de monitoreo. Estas campañas consisten en inspecciones visuales, relevamientos fotográficos y modelaciones digitales de terreno (MDT). Para esto se utiliza un dron DJI Mavic Pro 2 para la obtención de las fotos y el software Arcgis Pro y Dron 2 Map para el procesamiento de las mismas. Las campañas se realizan cada tres meses o inmediatamente después de un evento de tormenta severo. Para la modelación digital de terreno se complementan las fotografías tomadas con puntos de control en sitio (Ground Control Levels), los cuales son tomados con GPS. Se utiliza un mínimo de 5 puntos por tramo de estudio

RESULTADOS

Del análisis de los monitoreos se pudo constatar que los tramos Parada 1 a 3 y Parada 17 registraron sobrepasamiento de las estructuras, con niveles totales de agua (WTL) por encima del coronamiento de los geotubos.

En cambio, el geotubo del tramo Parada 12 no ha sido tan siquiera alcanzado por el agua.

Dado que los geotubos son estructuras reflejantes se puso mucho énfasis en monitorear el perfil de playa aguas debajo de los mismos, para esto en las modelaciones de terreno se abarca el área de playa afectada por la estructura y un tramo playa inmediatamente continua sin afectar, del estudio de los MDT no se observó variaciones significativas en el perfil de playa de un área a otra, constándose una continuidad en los perfiles de playa con y sin geotubos.

Con respecto a los tramos donde se registró sobrepasamiento de los geotubos los resultados en el perfil de playa aguas arriba de los mismos muestran que los efectos erosivos son mitigados por la presencia de estos.



X Congreso Nacional de AIDIS

Estrategias Integradas para un Ambiente Sostenible

28 y 29 de agosto 2019

Cámara Mercantil de productos del país

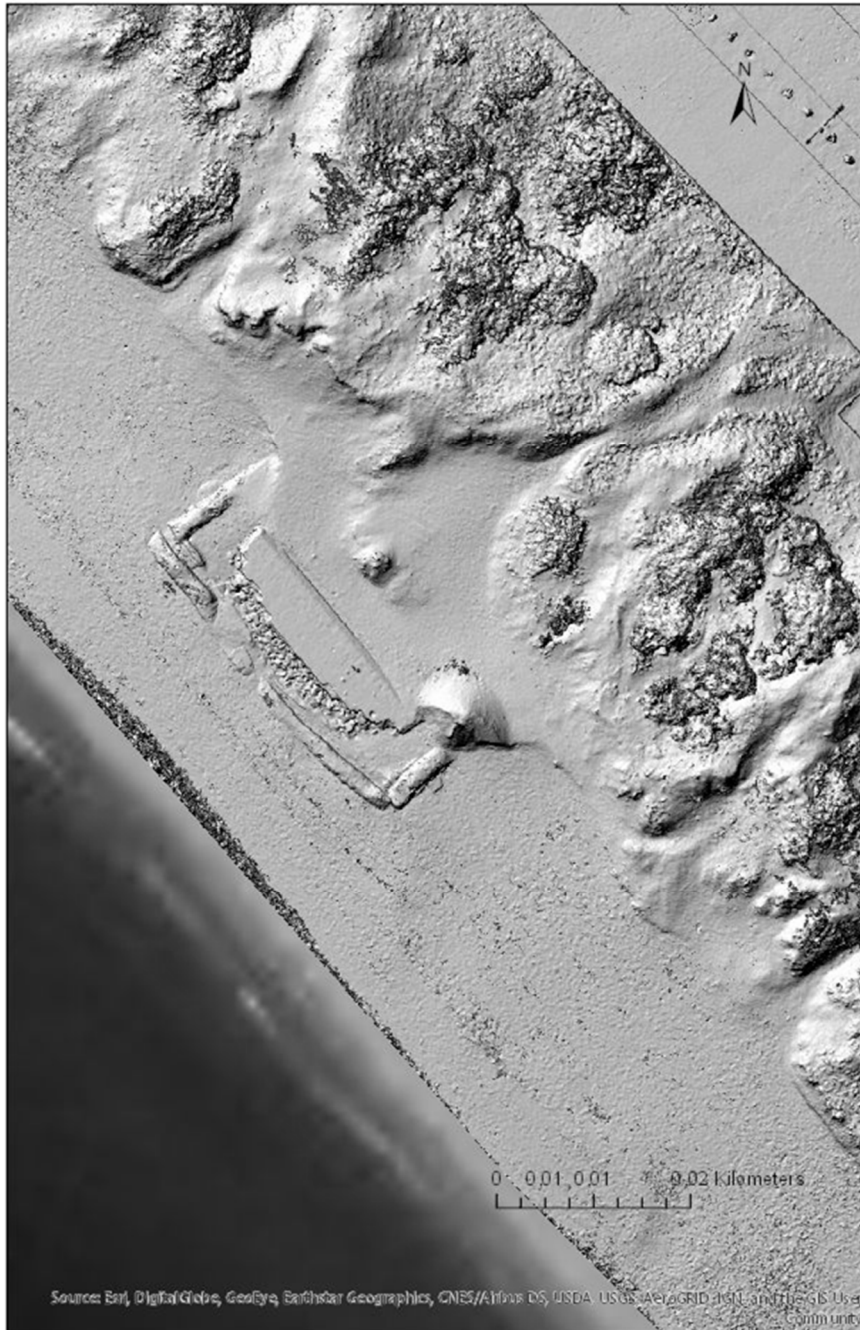


Ilustración 7 MDT parada 17



Ilustración 8 MDT parada 1a3

Donde se registraron mayores diferencias entre los tramos de playa estudiados fue en la acción de las tormentas severas sobre los propios geotubos..

En el tramo parada 1 a 3 los geotubos resistieron sin mayores cambios en su configuración y la protección que estos brindaron aguas arriba de los mismos fue suficiente para preservar la integridad estructural de la pasarela que se quería proteger y de la duna y vegetación allí existente.

En el tramo parada 17 los cambios en la configuración de los geotubos fueron importantes, se registraron desplazamientos de los geotubos y descenso de los mismos en el entorno del metro.



X Congreso Nacional de AIDIS

Estrategias Integradas para un Ambiente Sostenible

28 y 29 de agosto 2019



Cámara Mercantil de productos del país

También se registro una gran perdida de gran cuantía del relleno de los mismos, la cual escapo por los diversos cortes que estos presentaban al momento de la ocurrencia del evento severo.

DISCUSION

La utilización de estructuras flexibles o geotubos para estabilización o reconstrucción de dunas representa un gran avance en la utilización de medidas blandas para la protección de costas.

La experiencia realizada en las costas del departamento de Maldonado confirma tanto las ventajas como desventajas de este tipo de solución en comparación a protecciones tradicionales. La implementación de las mismas debe de ser parte de un plan integral de protección costera que suele ir acompañada de otras medidas como ser la revegetación con especies autóctonas de la duna reconstruida o protegida, instalación de cercas captoras para mitigar el transporte eólico y corrección de pluviales cuando es necesario.

Cada caso debe de ser estudiado particularizadamente y no siempre la instalación de geotubos es la mejor alternativa a implementar dependiendo de las condicionantes específicas del tramo a intervenir.

BIBLIOGRAFIA

Espinosa, C. Torres, O. (2009) Tubos geotextil, características, conceptos, materiales y aspectos de análisis.

Intendencia Departamental de Maldonado (2018) Programa de recuperación y puesta en valor de los bienes históricos-culturales de la bahía de Maldonado, Dirección de Cultura, Intendencia Departamental de Maldonado, inédito.

Krystian W. Pilarczyk, (2000) Geosynthetics and geosystems in hydraulics and coastal Engineering.

Menafra R Rodríguez-Gallego L Scarabino F & D Conde (eds) (2006) Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya. VIDA SILVESTRE URUGUAY, Montevideo.

Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, UNESCO (1979) Conservación y mejora de playas URU-73-007, Uruguay.

Molina B. Steffenino F. (2018) Estabilización de dunas en playas de Maldonado-Uruguay.

Ovalle Collazos, J.(2012) Aplicación de obras de defensa blandas para la protección de la costa Catalana.

Texeira et al. (2008) Caracterización general de la costa del departamento de Maldonado, Instituto de mecánica de los Fluidos e ingeniería ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.

Texeira et al. (2010) Puertos deportivos en la costa de Maldonado, Instituto de mecánica de los Fluidos e ingeniería ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República.