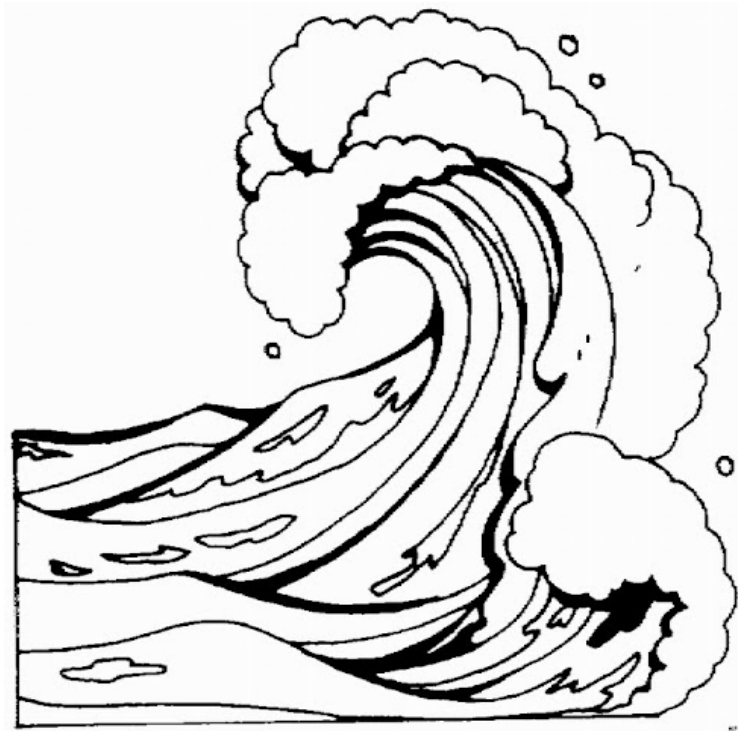


ARRECIFE  
ARTIFICIAL  
PUERTO CORAL



## **I. DATOS GENERALES DEL PROYECTO, DEL PROMOVENTE Y DEL RESPONSABLE DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**

### **I.1. PROYECTO**

#### **I.1.1. Nombre del proyecto**

“ARRECIFE ARTIFICIAL PUERTO CORAL”.

#### **I.1.2. Ubicación del proyecto.**

En la Zona Federal Marítimo, aledaña y/o adyacente al predio ubicado en Región 023, Supermanzana 001, Manzana 048, Lote 001, del Complejo turístico Grand Coral, Solidaridad, Quintana Roo.

#### **I.1.3. Tiempo de vida útil del proyecto.**

La vida útil del proyecto se estima de 58 años.

#### **I.1.4. Plazo para la preparación del sitio y construcción.**

8 años

#### **I.1.5 Plazo para la operación.**

50 años

### **I.2. PROMOVENTE Y RESPONSABLE TECNICO.**

José Salvador López Orea.

#### **I.2.1. Nombre o razón social.**

PUERTO CORAL S.A DE C.V.

#### **I.2.2. Nombre de los autorizados de conformidad con el artículo 19 de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo.**

Reyna Valeria Cuevas Ortega.

#### **I.2.3. Dirección para oír y recibir toda clase de documentos y notificaciones de la promovente.**

Calle de Porto Liguria, Sm 55 mz 16 casa 20. Fracc. Porto Bello. C.P. 77533, Cancún, Quintana Roo.

## II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

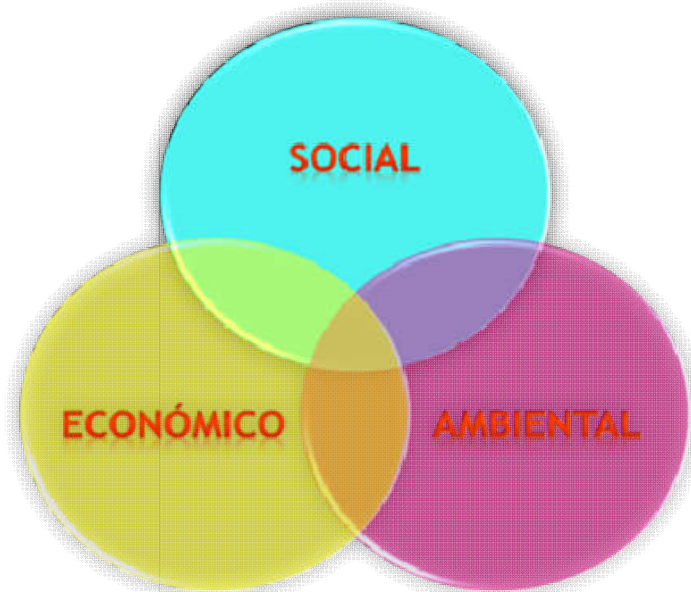
### II.1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

#### II.1.1. Naturaleza del proyecto.

El proyecto consiste en la instalación y operación de un arrecife artificial dentro del área marina aledaña al predio ubicado en la Zona Federal Marítimo, aledaña y/o adyacente al predio ubicado en Región 023, Supermanzana 001, Manzana 048, Lote 001, del Complejo turístico Grand Coral, Solidaridad, Quintana Roo.

El proyecto “Arrecife Artificial Puerto Coral” tiene como finalidad la recuperación de la playa dentro de una poligonal que se ha definido y que incluye el frente de la playa de mi representada. Es evidente que, a través de los años, la zona en comento ha perdido playa, a consecuencia de eventos meteorológicos, así como de las condiciones naturales de la zona. Por tal razón es que mi representada preocupada por la pérdida de la playa, propone el proyecto “Arrecife Artificial Puerto Coral”.

La implementación del arrecife artificial es una acción necesaria para evitar y frenar el proceso de pérdida de la playa y además conseguir su restitución y/o recuperación. Dicha contingencia ha generado impactos negativos en la economía de la zona de Solidaridad, ya que si además de la problemática del sargazo, sumamos la pérdida de la playa, esto genera la baja en la demanda de servicios turísticos, actividad que es la principal fuente de ingresos de los habitantes de la comunidad afectada. Como más adelante se demostrará, el proyecto que se propone es sustentable, ya que existe un equilibrio en el sector social, económico y ambiental.



Desarrollo sustentable

Que con base en el apartado “6.6.2.1 ANÁLISIS HISTÓRICO DE LA LÍNEA DE COSTA” del estudio de Modelación oceanográfica, mismo estudio que forma parte de los anexos de la MIA-P, se realizó un análisis en una extensión total de aproximadamente 1.0 km de frente costero en los que se distribuyeron un total de 32 transectos separados a cada 25. 47 metros entre sí. De igual manera el análisis se extiende más allá del frente costero de las inmediaciones del predio de mi representada, esto con el fin de abarcar las playas aledañas y que son zona de influencia dentro de un ecosistema que funciona de manera conjunta como lo es una zona costera.



Esquema de elementos necesarios para realizar el análisis DSAS.

Para fines de este proyecto, en la zona de estudio se encontraron cinco imágenes históricas disponibles, las imágenes disponibles son de los años; 2007, 2010, 2014, 2016 y 2017. Todas ellas fueron georreferenciadas para evitar errores en la posición durante la digitalización de las líneas de costa.



Imágenes históricas obtenidas del acervo bibliográfico de Google Earth

El proceso de digitalización de la línea de costa en los diferentes años demuestra que las playas adyacentes al predio de mi representada, tienden a perder sedimentos y se encuentra bajo un proceso erosivo.



Líneas de costa digitalizadas

En promedio, del año 2007 al año 2017 la línea de costa retrocedió un total de -19.22 m, el valor máximo de erosión observado es de -31.91 m en más del 90% del área evaluado durante los últimos 10 años.

Las muestras de arena están compuestas por sedimento con diámetro D50 de 0.24 mm a 0.45 mm. Los granos de menor tamaño se distribuyen en la zona de duna, mientras que los de mayor tamaño se presentan en la zona de intercambio marino (porción intermedia de la playa). Los sedimentos colectados en la porción sumergida presentan valores de 0.38 mm. De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), que describe la textura y el tamaño de las partículas del suelo, la arena presente en el área de estudio se clasifica arena fina a gruesa pobremente graduada (Anexo 9.2). Esto indica que el suelo ha perdido la mayor composición de elementos finos como consecuencia de un proceso erosivo.

Con base en el análisis anterior, queda debidamente acreditada la necesidad de implementar lo antes posible el arrecife artificial propuesto por mi representada.

Previo al desarrollo de cualquier proyecto es necesario determinar cuál es el problema y que se pretende lograr con la implementación del proyecto. Posteriormente, es necesario evaluar las condiciones naturales del sitio por medio de mediciones y colecta de datos para después desarrollar un diseño funcional y modelar la efectividad de la obra para cumplir con los objetivos para los cuales fue diseñado. Por tal razón es que se ha elaborado el estudio de modelación numérica, que se anexa a la MIA-P, con la finalidad de conocer los resultados del posible efecto que tendrá la instalación de un arrecife artificial y/o rompeolas sumergido semipermeable construido con estructuras Reef Ball en la zona costera aledaña al predio de mi representada.

### **II.1.2. Selección del sitio.**

El proyecto denominado “Arrecife artificial Puerto Coral”, en la Zona Federal Marítimo Terrestre, aledaña y/o adyacente al predio ubicado en Región 023, Supermanzana 001, Manzana 048, Lote 001, del Complejo turístico Grand Coral, Solidaridad, Quintana Roo. El proyecto se localiza a 51 km de Cancún, a orillas de la ciudad de Playa del Carmen y a 1.3 km de la carretera Cancún-Tulum (Carretera Federal 307).

Dicho sitio fue seleccionado en razón que las políticas ambientales aplicables para el sitio son de aprovechamiento sustentable y de conservación, mismas políticas que no se contraponen con la naturaleza del proyecto, mismo que es sustentable toda vez que se contempla un equilibrio entre los aspectos sociales, económicos y ambientales en cumpliendo siempre con los instrumentos ambientales aplicables, de la misma forma que lo hacen en la zona otros proyectos similares que son aceptados por la sociedad e incluso algunos de magnitudes mayores.

### **II.1.3. Inversión requerida:**

De acuerdo a las estimaciones realizadas, el monto de inversión para la ejecución del proyecto “Arrecife Artificial Puerto Coral” asciende a \$ 3,000,000.00 (tres millones de pesos <sup>00</sup>/<sub>100</sub> M.N.). Asimismo, se estima una erogación de \$ 500,000.00 (cien mil pesos <sup>00</sup>/<sub>100</sub> M.N.) para dar cumplimiento a las medidas de prevención y mitigación requeridas. Con base en lo anterior, el monto total de inversión que se estima para el proyecto en su conjunto es de \$ 3,500,000.00 (tres millones, quinientos mil pesos <sup>00</sup>/<sub>100</sub> M. N.).

### **II.1.4. Uso actual del predio.**

El uso actual de la zona en donde se ubicará el proyecto es marino y no se ha modificado, en razón que no existe la presencia de alguna obra de infraestructura permanente como el caso de los muelles, marinas y demás obras de servicios generales. Aunado a lo anterior por lo que toca a la parte terrestre y adyacente al proyecto “Arrecife Artificial Puerto Coral”, es una zona en donde se ubican varios desarrollos turísticos, ya que se trata de una zona turística, hotelera y comercial de primera calidad.

### **II.1.5. Urbanización del área y descripción de servicios requeridos.**

Que la zona de proyecto cuenta con servicios de energía eléctrica, agua potable, recolección de basura, entre otros.

## **II.2. CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DEL PROYECTO.**

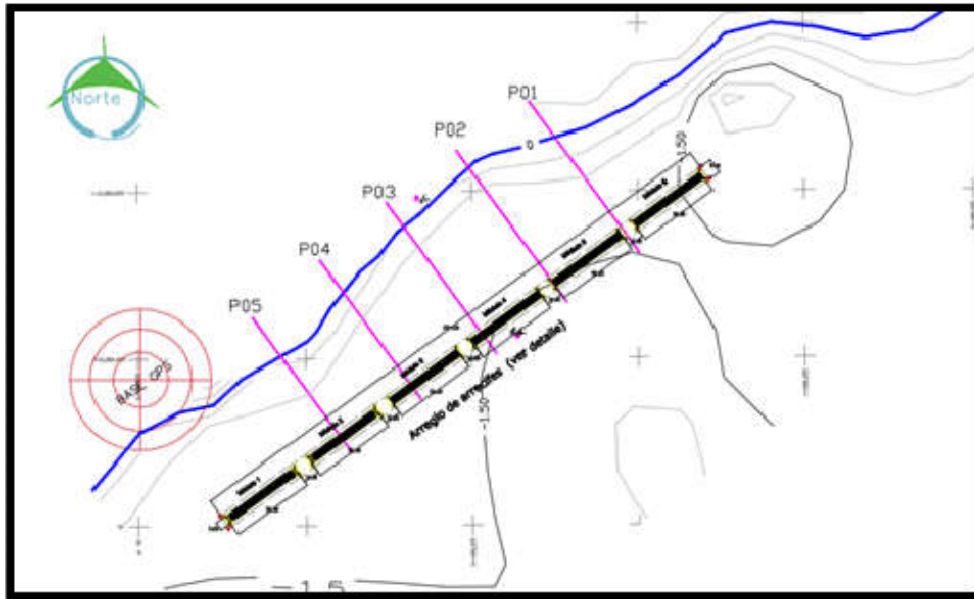
El proyecto consiste en la instalación y la operación de un arrecife artificial en la Zona Federal Marítimo Terrestre, aledaña y/o adyacente al predio ubicado en Región 023, Supermanzana 001, Manzana 048, Lote 001, del Complejo turístico Grand Coral, Solidaridad, Quintana Roo.

Los rompeolas son construcciones que protegen la infraestructura portuaria o la costa misma de la influencia de las olas. Pueden ser construidos de piedras, hormigón o estacas de madera que sobresalen del agua. Actualmente, los rompeolas sumergidos permeables representan una alternativa para la protección de costas, donde un cierto grado de transmisión de energía del oleaje es aceptable, como sería en el caso de protección de playas turísticas (Ruiz y Flores, 2008).

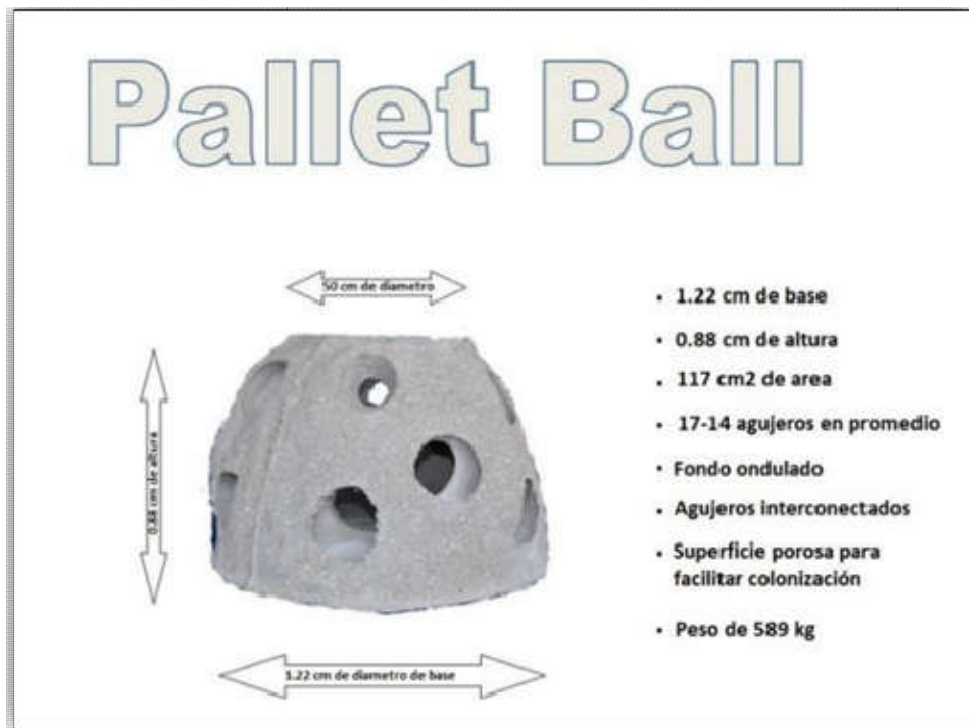
El proyecto lo integrara los siguientes elementos:

- La creación de un rompeolas sumergido tipo Reef Ball.
- Compuesto por 6 secciones o módulos de 50 metros de longitud aproximadamente,

- Cada sección estará conformada por 4 filas de 39 unidades Pallet Ball, en total 156 unidades.
- La separación entre secciones será de 15 metros.
- Las estructuras y/o unidades de Pallet Ball, estarán ubicadas a una profundidad máxima de  $-1.5$  metros.
- Las unidades tendrán como dimensiones: 0.88 cm de altura, 1.22 cm de base, 50 cm de diámetro y  $117 \text{ cm}^2$  de área.



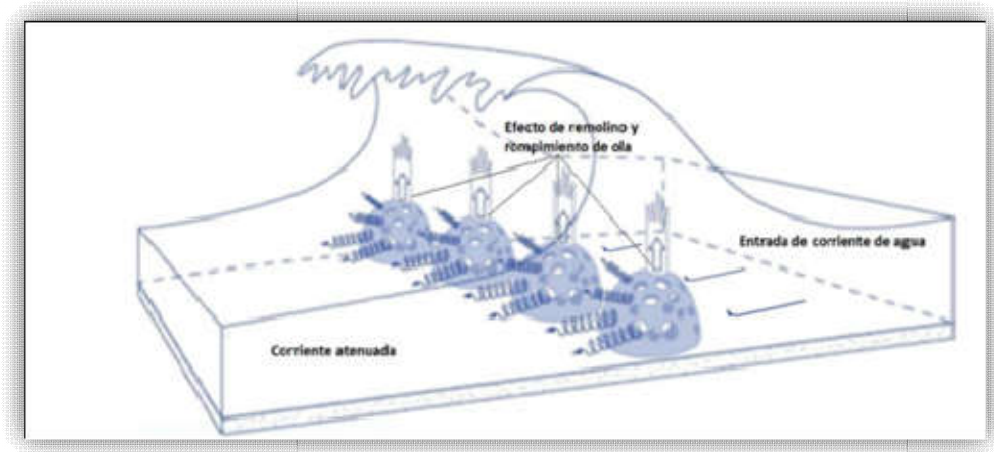
Planta general de ubicación de arrecifes artificiales.





Dimensiones y/o características del Reef Ball.

La forma y el diseño de las Reef Ball, semiesférico con un agujero central interconectado con agujeros hacia el exterior, genera un efecto de remolino en el interior de la estructura que disipa la energía de las olas modificando, sin impedir, el paso de las corrientes. Esto tiene como consecuencia que los sedimentos puedan asentarse de manera natural en la línea de costa y, con el tiempo, incrementen el área de playa.



Efecto de remolino.

A continuación, se insertan los cuadros de las coordenadas de la ubicación de los 6 módulos.

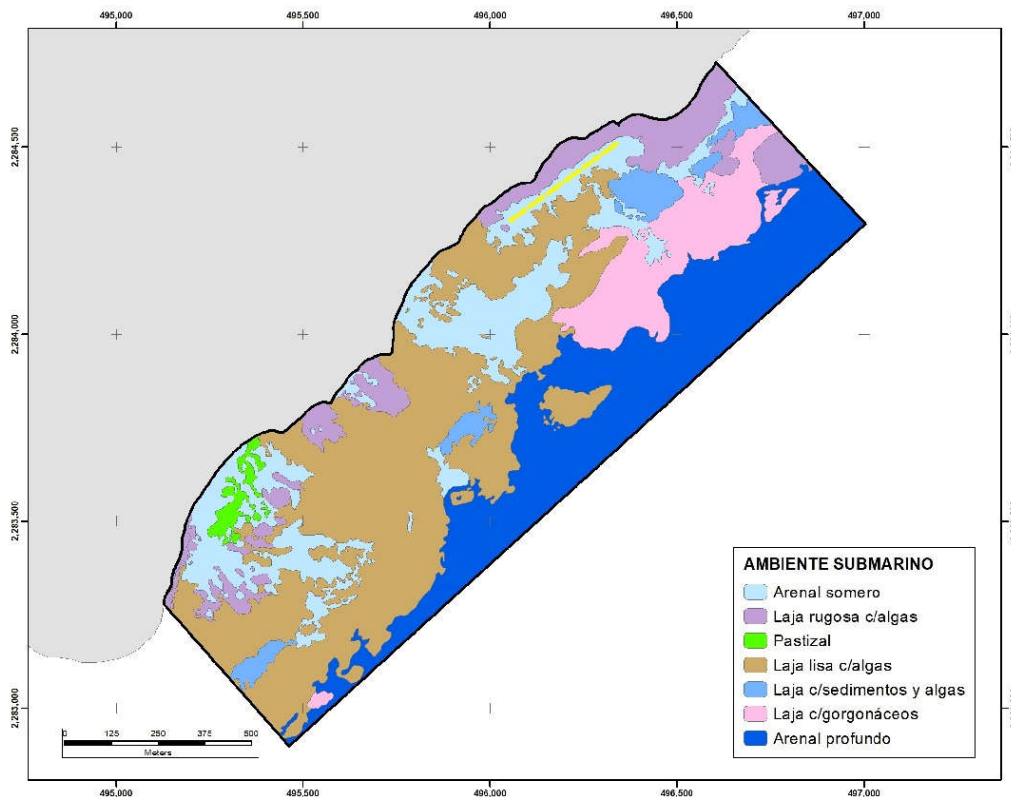
MODULO 1			MODULO 2		
V	COORDENADAS		V	COORDENADAS	
	Y	X		Y	X
1	2,284,306.91	496,052.73	5	2,284,342.16	496,101.28
2	2,284,302.87	496,055.67	6	2,284,338.12	496,104.22
3	2,284,332.23	496,096.14	7	2,284,367.48	496,144.69
4	2,284,336.28	496,093.20	8	2,284,371.53	496,141.75
SUPERFICIE: 250 M2			SUPERFICIE: 250 M2		

MODULO 3			MODULO 4			MODULO 5			MODULO 6		
V	COORDENADAS		V	COORDENADAS		V	COORDENADAS		V	COORDENADAS	
	Y	X		Y	X		Y	X		Y	X
9	2,284,377.41	496,149.84	13	2,284,412.65	496,198.40	17	2,284,447.89	496,246.97	21	2,284,483.12	496,295.53
10	2,284,373.37	496,152.78	14	2,284,408.60	496,201.34	18	2,284,443.84	496,249.90	22	2,284,479.08	496,298.47
11	2,284,402.73	496,193.25	15	2,284,437.97	496,241.81	19	2,284,473.21	496,290.37	23	2,284,508.44	496,338.94
12	2,284,406.78	496,190.31	16	2,284,442.02	496,238.87	20	2,284,477.25	496,287.44	24	2,284,512.49	496,336.00
SUPERFICIE: 250 M2			SUPERFICIE: 250 M2			SUPERFICIE: 250 M2			SUPERFICIE: 250 M2		

Tal y como se analizará posteriormente, los pastos marinos son importantes ecosistemas para la fauna marina, por lo tanto, los instrumentos aplicables al proyecto, tiene como prioridad, su conservación y preservación, por lo que se debe evitar su afectación y pérdida en caso de alguna actividad o proyecto.

Que previamente al diseño del proyecto del “Arrecife artificial Puerto Coral”, se realizó un diagnóstico ambiental, para conocer cuáles son los parámetros y criterios ecológicos relevantes que se deben atender. En consecuencia, atendiendo la importancia de los pastos marinos, se generó una propuesta de la ubicación de los 6 módulos en una zona marina que no presente pastos marinos, ya que es un ambiente submarino de arenal somero, por lo tanto, el proyecto no afectara dicho ecosistema.

Lo anterior se garantiza, de acuerdo a la información que se recabo a través de la caracterización ambiental realizada en el sitio del proyecto. El ambiente de Pastizal (Past) es un área muy pequeña, que se encuentra en la parte somera de la sección Sur del polígono del SA. Debido a que en el área de estudio no existe una Laguna Arrecifal bien desarrollada, la presencia de este tipo de ambiente es escasa. Toda la anterior información se detallará en el capítulo de caracterización ambiental.



Plano de la sobreposición de los 6 módulos del proyecto, dentro del plano de Sitios de muestreo intensivo para la caracterización del Sistema Ambiental marino.

Toda la anterior información se detallará en el capítulo de caracterización ambiental.

### **II.3 Etapa de preparación del sitio y construcción**

Que, por la naturaleza del proyecto, no se requiere la preparación del sitio, sin embargo, previamente y durante la instalación del arrecife artificial, se ejecutaran las siguientes acciones:

- **Rescate y reubicación de fauna:** Se realizarán actividades de rescate y reubicación de fauna marina en los sitios de pretendida ubicación de las estructuras que conformaran el arrecife artificial. Para ello, en primer lugar, se delimitará la superficie a trabajar; en segundo lugar, se formará una brigada de especialistas para llevar a cabo el rescate de la fauna marina, posteriormente, se informará al responsable ambiental del avistamiento de fauna marina que pudiera aparecer durante la instalación de las piezas que conforman los arrecifes artificiales, para que se realicen las labores de rescate y se reubiquen los organismos en los sitios designados. Se considera que el rescate y reubicación de fauna marina, tenga una duración máxima aproximada de una semana y se ejecutará previo a la instalación de cada una de las estructuras o piezas del arrecife artificial.
- **Colocación de geomalla o malla geotextil:** Previo a la instalación de las unidades que conformaran el arrecife artificial, se colocará una geomalla en los sitios de trabajo, para evitar la dispersión de sedimentos. Se considera que la colocación de la geomalla tenga una duración de todo el proceso de la instalación del arrecife, para lo cual se utilizarán boyas tipo marino modelo A-3 para su flotación. Posteriormente, se sujetarán al fondo marino, con pesos muertos de piedra de 10 kg a cada 10 m.
- Se prevé la coordinación con los predios y/u hoteles vecinos, a fin de que se de acceso a los trabajadores de obra a sus sanitarios, así como del acceso a la zona federal marítimo terrestre.
- Se impartirá a los trabajadores, una plática ambiental de sensibilización a cargo del responsable de técnico ambiental del proyecto, con la finalidad de informar del contenido de las normas ambientales que se deben de respetar durante la instalación del arrecife artificial.

### **II.4 Etapa de construcción y/o instalación.**

Los arrecifes serán construidos, fuera del sitio del proyecto, por el contratista con licencia de fabricación y transportados, por alguno de los accesos a la zona federal marítimo terrestre, de los Hoteles, cercanos al predio de mi

representada, para así poder llegar a la zona federal adyacente o aledaña al área marina en donde se instalará el arrecife artificial.

Las estructuras Reef Ball son esferas huecas de concreto producidas para eventualmente ser transportadas y colocadas en el fondo marino con el propósito de aumentar el hábitat para peces y corales. Son fabricadas con concreto, no dañino al ambiente, que puede durar cerca de 500 años. Su diseño imita un arrecife natural y facilita la colonización por diversas especies marinas. Los Reef Ball son económicos de instalar y han demostrado ser estables en tormentas tropicales y huracanes. Para el vertimiento se emplearán 20 personas, que serán previamente entrenados por los especialistas de Reef Ball. Reef Ball especifica un control estricto de la calidad del concreto para la fabricación de sus elementos, cuyas características químicas y mecánicas se mejoran mediante la adición de aditivos probados y compatibles con el ambiente marino. Primeramente, se agrega microsílca al concreto para que al ser colocado en el mar tenga el mismo pH del agua de mar. Luego se le agregan otros dos aditivos para incrementar la fuerza del concreto y para que se le formen burbujas en la superficie de los elementos para darle una textura rugosa con fin de facilitar el reclutamiento de vida marina en la superficie de los elementos. El material utilizado para elaboración de estructuras Reef Ball, se compone de cemento marino tipo II, polvo de piedra, grava y microsílca.

La transportación desde la fábrica hacia la parte terrestre cercana al sitio del proyecto se realizará mediante tracto camiones a través de las carreteras. Ahora bien, el proceso de transporte de las unidades de la zona federal marítimo terrestre al sitio de vertimiento se realizará a través de cargar las piezas hasta el mar, una vez en el agua serán remolcadas con el auxilio de boyas para su flotación para sujetarlas a una balsa de arrastre equipada con poleas para cargar las piezas, misma balsa que será construida previamente fuera de la zona del proyecto y que su principal características es que no contara con motor (ver imagen siguiente), en consecuencia será nulo los accidentes de derrame y/o vertimiento de algún tipo de combustible o sustancia dañina en el área marina. Los elementos tipo Reef Ball ® pueden ser transportados de manera sencilla y económica, empleando equipo sumamente sencillo y fácil de acceso, ya que al colocarles un fuerte globo de Polyform dentro de la oquedad que se forma al centro de la estructura, dado su diseño, le permite a las esferas flotar para que puedan ser remolcadas en su caso. Al llegar al sitio designado para colocación, los globos son desinflados y removidos. Cuando la colocación es a través de buzos, los Reef Ball ® se pueden colocar de manera precisa en el fondo usando un descenso controlado.



Colocación de un fuerte globo de Polyform dentro de la oquedad.



Colocación de estructuras utilizando la técnica de descenso controlado.

Por lo que toca a la fijación de las estructuras, de acuerdo con el manual de entrenamiento difundido por la empresa Reef Ball, para el caso del suelo marino del proyecto, se recomienda utilizar estacas de fijación construidas de PVC embebidas en concreto marino tipo II.

Siguiendo estas instrucciones, y con la finalidad de brindar mayor seguridad al proyecto, se utilizarán tres o cuatro estacas para fijar cada una de

las estructuras al fondo marino. Las estacas serán elaboradas utilizando una varilla de fibra de vidrio o PVC de 5/8 pulgada de diámetro interior y 120 cm de longitud, embebidas en concreto marino tipo II (Figura A) para brindar mayor resistencia.

Cada una de las estacas pasará por los agujeros de las estructuras y se incrustará en el fondo marino por medios mecánicos utilizando un marro o mazo, lo cual no genera impacto por al ambiente por suspensión de sedimentos o similar.

Las estacas serán incrustadas en el fondo marino hasta una distancia de 60-80 cm de profundidad lo cual brinda estabilidad y sujeción a las estructuras.





Fijación de las estructuras.

### Etapa de operación y mantenimiento

Las estructuras se colocan y no requieren de ningún tipo de mantenimiento, se dejan en el sitio, y se espera que con el tiempo se vayan llenando de vida de forma natural. Los peces se acercarán en menor tiempo debido a que los módulos instalados representarán refugio seguro para ellos, posteriormente, y una vez que crezcan organismos arrecifales sobre estas estructuras artificiales los peces podrán conseguir alimento. Posteriormente se continuará con el monitoreo por 5 años. La labor de mantenimiento se daría solo en caso de que un evento climático moviera las estructuras, y éstas se regresarían a su lugar, a fin de que sigan prestando el servicio previsto para el cual fue instalado.

El proyecto para el funcionamiento del arrecife artificial no se requiere infraestructura asociada para el manejo de residuos, ya que no se generan residuos por efectos de la operación. Los residuos generados en los trabajos de colocación del arrecife artificial se depositarán en los lugares establecidos en los Hoteles vecinos, para su posterior disposición final

### II.5 Cronograma de trabajo

DESCRIPCION	AÑO		
	1 a 2	2 a 4	4 en adelante
1.-Elaboración de las estructuras por parte del proveedor con patente.			
2.-Colocación de las estructuras en el fondo marino.			
3.-Monitoreo del arrecife artificial			

### **III. VINCULACIÓN CON LOS ORDENAMIENTOS JURÍDICOS APLICABLES EN MATERIA AMBIENTAL Y CON LA REGULACIÓN AMBIENTAL Y, EN SU CASO, CON LA REGULACIÓN DEL SUELO**

#### **III.1 LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y SU REGLAMENTO EN MATERIA DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL**

Esta Ley es de competencia de la Federación y se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988, última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 05 noviembre de 2013. Dicha Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable, entre otros.

El artículo 28 de esta ley, establece a la letra:

*“La evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente. Para ello, en los casos en que determine el Reglamento que al efecto se expida, quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental de la Secretaría: (...)*

IX.- Desarrollos inmobiliarios que afecten los ecosistemas costeros;



X.- Obras y actividades en humedales, manglares, lagunas, ríos, lagos y esteros conectados con el mar, así como en sus litorales o zonas federales;

Asimismo, su Reglamento en materia de evaluación del impacto ambiental, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 30 de mayo del 2000, establece en su artículo 5, lo siguiente:

Q) *DESARROLLOS INMOBILIARIOS QUE AFECTEN LOS ECOSISTEMAS COSTEROS:*

*Construcción y operación de hoteles, condominios, villas, desarrollos habitacionales y urbanos, restaurantes, instalaciones de comercio y servicios en general, marinas, muelles, rompeolas, campos de golf, infraestructura turística o urbana, vías generales de comunicación, obras de restitución o recuperación de playas, o arrecifes artificiales , que afecte ecosistemas costeros, con excepción de:*

R) OBRAS Y ACTIVIDADES EN HUMEDALES, MANGLARES, LAGUNAS, RÍOS, LAGOS Y ESTEROS CONECTADOS CON EL MAR, ASÍ COMO EN SUS LITORALES O ZONAS FEDERALES:

Conforme a lo arriba señalado se anticipa, que en el Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental, expresamente se indica que los arrecifes artificiales requieren de previa autorización en materia de impacto ambiental; es así que se somete al presente procedimiento para obtener la autorización correspondiente.

En consecuencia, se analizará que instrumentos ecológicos, resultan aplicables.

### **III.2 ACUERDO POR EL QUE SE EXPIDE LA PARTE MARINA DEL PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO MARINO Y REGIONAL DEL GOLFO DE MÉXICO Y MAR CARIBE Y SE DA A CONOCER LA PARTE REGIONAL DEL PROPIO PROGRAMA.**

Que el Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe (POEMRGMMC), fue publicado en el Diario de la Federación en fecha 24 de Noviembre de 2012 y es un instrumento que se encuentra vigente.

Ahora bien, el presente instrumento que se analizara y vinculara con el proyecto que se pretende ejecutar "Arrecife Artificial Puerto Coral", indica como el área sujeta al ordenamiento ecológico, el siguiente.

- Área Marina, que comprende las áreas o superficies ubicadas en zonas marinas mexicanas, incluyendo zonas federales adyacentes del Golfo de México y

Mar Caribe. También incluye 26 Áreas Naturales Protegidas, de competencia Federal con parte de su extensión en la zona marina. Cabe señalar, que en dichas áreas aplica el Decreto y el Programa de Manejo correspondiente, así como las acciones generales y específicas que de acuerdo a su ubicación, establece este Programa.

En términos del Artículo 20 BIS 6 de la LGEEPA, la SEMARNAT tiene la atribución de formular y expedir, en coordinación con las Dependencias competentes, el componente marino de este Ordenamiento Ecológico.

- El Área Regional abarca una región ecológica ubicada en 142 municipios con influencia costera (SEMARNAT-INE, 2007) de 6 entidades federativas (Quintana Roo, Yucatán, Campeche, Tabasco, Veracruz y Tamaulipas). En ésta área se incluyen 3 ANP de competencia Federal que no tienen contacto directo con el mar, en las cuales aplica solamente el Decreto y el Programa de Manejo correspondiente. Asimismo, se incluyen 14 ANP Estatales.

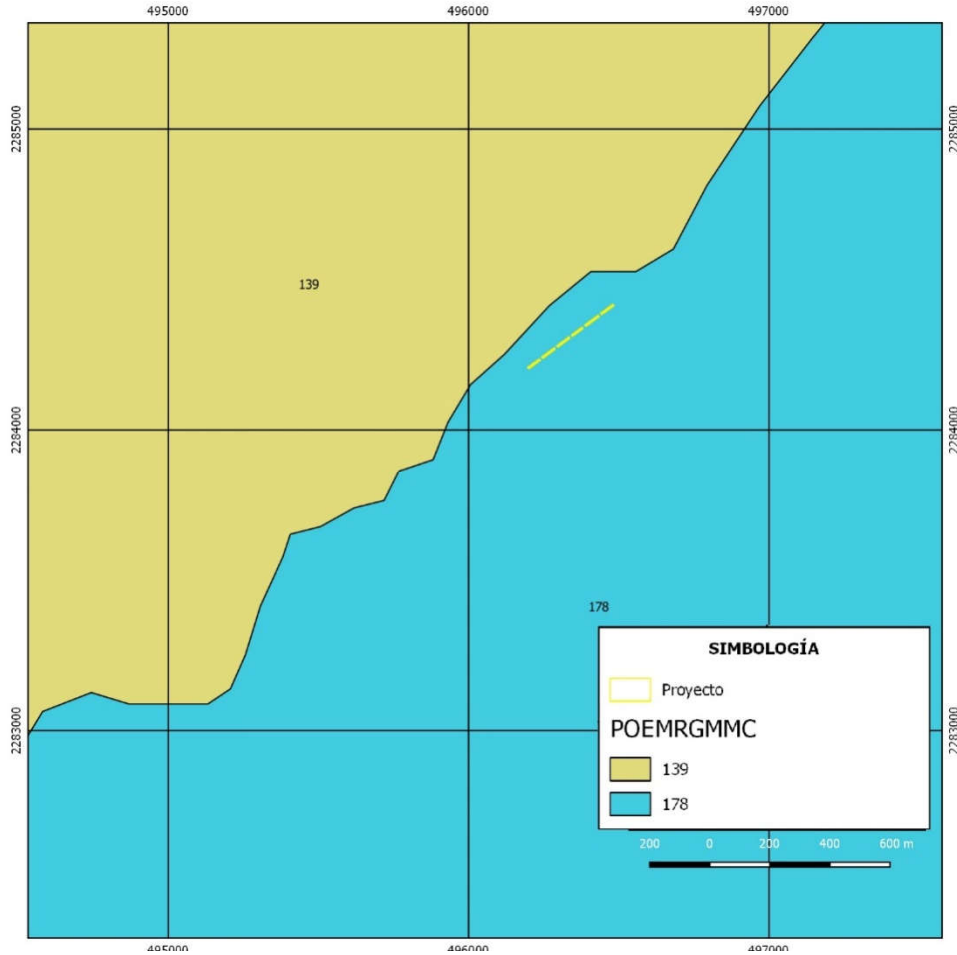
En términos del Artículo 20 BIS 2 de la LGEEPA, en esta área, los Gobiernos de los Estados, en los términos de las leyes locales aplicables, tienen la atribución de formular y expedir los programas de ordenamiento ecológico regional, que abarcaron la totalidad o una parte del territorio de una entidad federativa. Dado que se trata de una región ecológica ubicada en el territorio de dos o más entidades federativas, y que incluye ANPs de competencia federal, el Gobierno Federal y los Gobiernos de los Estados, en el ámbito de sus competencias, formularon conjuntamente el componente Regional de este Ordenamiento Ecológico.

En conjunto, toda el ASO tienen una extensión de 995,486.2 km<sup>2</sup>, correspondientes a 168,462.4 km<sup>2</sup> del componente Regional y 827,023.8 km<sup>2</sup> del componente Marino [Ver Figura 1].



Área Sujeta a Ordenamiento Ecológico Territorial

Que una vez ubicado en proyecto dentro del Sistema de Información Geográfica para la Evaluación del Impacto Ambiental (SIGEIA), se determinó que es aplicable al proyecto “Arrecife Artificial Puerto Coral” el POEMRGMCM, dentro de la UGA Marina 178. Tal y como se muestra en la siguiente imagen.



UGA 178

<b>Tipo de UGA</b>	Marina	<p align="center"><b>Mapa</b></p>
<b>Nombre:</b>	Zona Marina de Competencia Federal	
<b>Municipio:</b>		
<b>Estado:</b>		
<b>Población:</b>	0 Habitantes	
<b>Superficie:</b>	311,046.005 Ha.	
<b>Subregión:</b>	Aplicar criterios de Zona Costera Inmediata (ZCI) Mar Caribe	
<b>Islas:</b>	Presentes: Aplicar criterios para Islas	
<b>Puerto Turístico</b>		
<b>Puerto Comercial</b>		
<b>Puerto Pesquero</b>		
<b>Nota:</b>	En la unidad existe una zonificación marina a mayor detalle entre la línea de alta marea a la isóbata de 50 m, a lo largo del litoral, desde Punta Maroma (20°45'3.42"N y 86°56'55.85"W) hasta Punta John (20°31'32.35"N y 87°10'24.45"W), donde aplican algunos criterios para la zona costera inmediata (ZCI) al municipio de Solidaridad, Quintana Roo.	

A esta UGA se le aplican las Acciones Generales descritas en el anexo 4 además de las siguientes Acciones Específicas:

Acciones Específicas							
Acción	Aplicación	Acción	Aplicación	Acción	Aplicación	Acción	Aplicación
A-001	NA	A-027	NA	A-053	NA	A-079	NA
A-002	NA	A-028	NA	A-054	NA	A-080	NA
A-003	NA	A-029	APLICA	A-055	NA	A-081	NA
A-004	NA	A-030	NA	A-056	NA	A-082	NA
A-005	NA	A-031	NA	A-057	NA	A-083	NA
A-006	NA	A-032	NA	A-058	NA	A-084	NA
A-007	APLICA	A-033	APLICA	A-059	NA	A-085	NA
A-008	NA	A-034	APLICA	A-060	NA	A-086	NA
A-009	NA	A-035	NA	A-061	NA	A-087	NA
A-010	NA	A-036	NA	A-062	NA	A-088	NA
A-011	NA	A-037	NA	A-063	NA	A-089	NA
A-012	NA	A-038	NA	A-064	NA	A-090	NA
A-013	APLICA	A-039	NA	A-065	NA	A-091	NA
A-014	NA	A-040	APLICA	A-066	NA	A-092	NA
A-015	NA	A-041	APLICA	A-067	NA	A-093	NA
A-016	APLICA	A-042	APLICA	A-068	NA	A-094	NA
A-017	NA	A-043	NA	A-069	NA	A-095	NA
A-018	APLICA	A-044	APLICA	A-070	NA	A-096	NA
A-019	NA	A-045	APLICA	A-071	APLICA	A-097	NA
A-020	NA	A-046	APLICA	A-072	NA	A-098	NA
A-021	NA	A-047	APLICA	A-073	APLICA	A-099	NA
A-022	APLICA	A-048	APLICA	A-074	APLICA	A-100	NA
A-023	NA	A-049	NA	A-075	NA		
A-024	NA	A-050	NA	A-076	NA		
A-025	APLICA	A-051	NA	A-077	NA		
A-026	NA	A-052	NA	A-078	NA		

NA = NO APLICA

#### Vinculación con “Anexo 4. Tabla de Acciones Generales”

Criterio	Descripción	Propuesta de cumplimiento
G001	Promover el uso de tecnologías y prácticas de manejo para el uso eficiente del agua en coordinación con la CONAGUA y demás autoridades competentes.	No es aplicable.
G002	Promover el establecimiento del pago por servicios ambientales hídricos en coordinación con la CONAGUA y las demás autoridades competentes.	No es aplicable.
G003	Impulsar y apoyar la creación de UMA para evitar el comercio de especies de extracción y sustituirla por especies de producción	No es aplicable.
G004	Instrumentar o en su caso reforzar las campañas de vigilancia y control de las actividades extractivas de flora y fauna silvestre, particularmente para las especies registradas en la Norma Oficial Mexicana, Protección ambiental-	No es aplicable.

	Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestre-Categoría de Riesgo y Especificaciones para su Inclusión, Exclusión o Cambio-Lista de Especies en Riesgo ( NOM-059-SEMARNAT-2010).	
G005	Establecer bancos de germoplasma, conforme a la legislación aplicable.	No es aplicable.
G006	Reducir la emisión de gases de efecto invernadero.	No es aplicable.
G007	Fortalecer los programas económicos de apoyo para el establecimiento de metas voluntarias para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y comercio de Bonos de Carbono	No es aplicable.
G008	El uso de Organismos Genéticamente Modificados debe realizarse conforme a la legislación vigente.	No es aplicable.
G009	Planificar las acciones de construcción de infraestructura, en particular la de comunicaciones terrestres para evitar la fragmentación del hábitat.	Que se cumple, en razón que el proyecto, fue planificado con base a los resultados obtenidos con el estudio de “Modelación oceanográfica de un rompeolas sumergido para la protección de playa”, estudio que se anexa a la presente Manifestación de Impacto Ambiental en su modalidad particular (MIA-P).
G010	Instrumentar campañas y mecanismos para la reutilización de áreas agropecuarias para evitar su expansión hacia áreas naturales.	No es aplicable.
G011	Instrumentar medidas de control para minimizar las afectaciones producidas a los ecosistemas costeros por efecto de las actividades humanas.	Que se cumple, toda vez que dentro de la MIA-P, se establecieron medidas de mitigación en relación al proyecto “Arrecife Artificial Puerto Coral”
G012	Impulsar la ubicación o reubicación de parques industriales en sitios ya perturbados o de escaso valor ambiental.	No es aplicable.

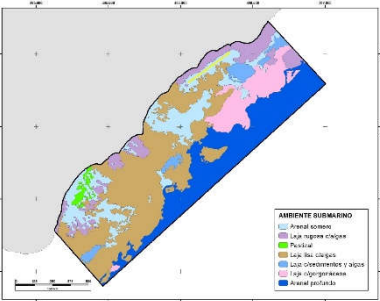
G013	Evitar la introducción de especies potencialmente invasoras en o cerca de las coberturas vegetales nativas.	No es aplicable.
G014	Promover la reforestación en los márgenes de los ríos.	No es aplicable.
G015	Evitar el asentamiento de zonas industriales o humanas en los márgenes o zonas inmediatas a los cauces naturales de los ríos.	No es aplicable.
G016	Reforestar las laderas de las montañas con vegetación nativa de la región.	No es aplicable.
G017	Desincentivar las actividades agrícolas en las zonas con pendientes mayores a 50%.	No es aplicable.
G018	Recuperar la vegetación que consolide las márgenes de los cauces naturales en el ASO, de conformidad por lo dispuesto en la Ley de Aguas Nacionales, la Ley General de Vida Silvestre y demás disposiciones jurídicas aplicables.	No es aplicable.
G019	Los planes o programas de desarrollo urbano del área sujeta a ordenamiento deberán tomar en cuenta el contenido de este Programa de Ordenamiento, incluyendo las disposiciones aplicables sobre riesgo frente a cambio climático en los asentamientos humanos.	No es aplicable.
G020	Recuperar y mantener la vegetación natural en las riberas de los ríos y zonas inundables asociadas a ellos.	No es aplicable.
G021	Promover las tecnologías productivas en sustitución de las extractivas.	No es aplicable.
G022	Promover el uso de tecnologías productivas intensivas en sustitución de las extensivas.	No es aplicable.
G023	Implementar campañas de control de especies que puedan convertirse en plagas.	No es aplicable.
G024	Promover la realización de acciones de forestación y reforestación con restauración de suelos para incrementar el potencial de sumideros forestales de carbono, como medida de mitigación y adaptación de efectos de cambio climático.	No es aplicable.

G025	Fomentar el uso de especies nativas que posean una alta tolerancia a parámetros ambientales cambiantes para las actividades productivas.	No es aplicable.
G026	Identificar las áreas importantes para el mantenimiento de la conectividad ambiental en gradientes altitudinales y promover su conservación (o rehabilitación).	No es aplicable.
G027	Promover el uso de combustibles de no origen fósil.	No es aplicable.
G028	Promover el uso de energías renovables.	No es aplicable.
G029	Promover un aprovechamiento sustentable de la energía.	No es aplicable.
G030	Fomentar la producción y uso de equipos energéticamente más eficientes.	No es aplicable.
G031	Promover la sustitución a combustibles limpios, en los casos en que sea posible, por otros que emitan menos contaminantes que contribuyan al calentamiento global.	No es aplicable.
G032	Promover la generación y uso de energía a partir de hidrógeno.	No es aplicable.
G033	Promover la investigación y desarrollo en tecnologías limpias.	No es aplicable.
G034	Impulsar la reducción del consumo de energía de viviendas y edificaciones a través de la implementación de diseños bioclimático, el uso de nuevos materiales y de tecnologías limpias.	No es aplicable.
G035	Establecer medidas que incrementen la eficiencia energética de las instalaciones domésticas existentes.	No es aplicable.
G036	Establecer medidas que incrementen la eficiencia energética de las instalaciones industriales existentes.	No es aplicable.
G037	Elaborar modelos (sistemas mundiales de zonificación agro-ecológica) que permitan evaluar la sostenibilidad de la producción de cultivos; en diferentes condiciones del suelo, climáticas y del terreno.	No es aplicable.
G038	Evaluar la potencialidad del suelo para la captura de carbono.	No es aplicable.



G039	Promover y fortalecer la formulación e instrumentación de los ordenamientos ecológicos locales en el ASO.	No es aplicable.
G040	Fomentar la participación de las industrias en el Programa Nacional de Auditoría Ambiental.	No es aplicable.
G041	Fomentar la elaboración de Programas de Desarrollo Urbano en los principales centros de población de los municipios.	No es aplicable.
G042	Fomentar la inclusión de las industrias de todo tipo en el Registro de Emisión y Transferencia de Contaminantes (RETC) y promover el Sistema de Información de Sitios Contaminados en el marco del Programa Nacional de Restauración de Sitios Contaminados.	No es aplicable.
G043	LA SEMARNAT, considerará el contenido aplicable de este Programa. En su participación para la actualización de la Carta Nacional Pesquera, Asimismo, lo considerará en las medidas tendientes a la protección de quelonios, mamíferos marinos y especies bajo un estado especial de protección, que dicte de conformidad con la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentable.	No es aplicable.
G044	Contribuir a la construcción y reforzamiento de las cadenas productivas y de comercialización interna y externa de las especies pesqueras.	No es aplicable.
G045	Consolidar el servicio de transporte público en las localidades nodales.	No es aplicable.
G046	Fomentar la ampliación o construcción de infraestructuras que liberen tránsito de paso, corredores congestionados y mejore el servicio de transporte.	No es aplicable.
G047	Impulsar la diversificación de actividades productivas.	No es aplicable.
G048	Instrumentar y apoyar campañas para la prevención ante la eventualidad de desastres naturales.	No es aplicable.
G049	Fortalecer la creación o consolidación de los comités de protección civil.	No es aplicable.
G050	Promover que las construcciones de las	No es aplicable.

	casas habitación sean resistentes a eventos hidrometeorológicos.	
G051	Realizar campañas de concientización sobre el manejo adecuado de residuos sólidos urbanos.	No es aplicable.
G052	Implementar campañas de limpieza, particularmente en asentamientos suburbanos y urbanos (descacharrización, limpieza de solares, separación de basura, etc.).	No es aplicable.
G053	Instrumentar programas y mecanismos de reutilización de las aguas residuales tratadas.	No es aplicable.
G054	Promover en el sector industrial la instalación y operación adecuada de plantas de tratamiento para sus descargas.	No es aplicable.
G055	La remoción parcial o total de vegetación forestal para el cambio de uso de suelo en terrenos forestales, o para el aprovechamiento de recursos maderables en terrenos forestales y preferentemente forestales, sólo podrá llevarse a cabo de conformidad con la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y demás disposiciones jurídicas aplicables.	No es aplicable.
G056	Promover e impulsar la construcción y adecuada operación de sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos, peligrosos o de manejo especial de acuerdo a la normatividad vigente.	No es aplicable.
G057	Promover los estudios sobre los problemas de salud relacionados con los efectos del cambio climático.	No es aplicable.
G058	La gestión de residuos peligrosos deberá realizarse conforme a lo establecido por la legislación vigente y los lineamientos de la CICOPALFEST que resulten aplicables.	No es aplicable.
G059	El desarrollo de infraestructura dentro de un ANP, deberá ser consistente con la legislación aplicable, el Programa de Manejo y el Decreto de creación correspondiente.	No es aplicable.

<p>G060</p>	<p>Ubicar la construcción de infraestructura costera en sitios donde se minimice el impacto sobre la vegetación acuática sumergida.</p>	<p>Que, en el capítulo de la caracterización ambiental, describe el suelo marino del polígono en el cual se ubicara el arrecife artificial, ahora bien, las estructuras serán colocadas en áreas que tienen nula presencia de vegetación acuática sumergida, por lo tanto, no se prevé ningún tipo de afectación a la citada vegetación. El suelo marino en donde se ubicará los 6 módulos de las estructuras que conformaran el arrecife artificial, es un arenal somero. Por lo tanto, se da cabal cumplimiento.</p>  <p>En la imagen que se inserta, misma que es la sobreposición de los 6 módulos, en la caracterización del fondo marino de la zona del proyecto; se acredita o demuestra que el proyecto no afectara vegetación acuática sumergida.</p>
<p>G061</p>	<p>La construcción de infraestructura costera se deberá realizar con procesos y materiales que minimicen la contaminación del ambiente marino.</p>	<p>De igual forma se da cumplimiento al presente criterio, en razón que todos los materiales que serán utilizados en el proyecto son ecológicos y cero nocivos al ambiente marino.</p>

G062	Implementar procesos de mejora de la actividad agropecuaria y aplicar mejores prácticas de manejo.	No es aplicable.
G063	Promover la elaboración de ordenamientos pesqueros y acuícolas a diferentes escalas y su vinculación con los ordenamientos ecológicos.	No es aplicable.
G064	La construcción de carreteras, caminos, puentes o vías férreas deberá evitar modificaciones en el comportamiento hidrológico de los flujos subterráneos o superficiales o atender dichas modificaciones en caso de que sean inevitables.	No es aplicable.
G065	La realización de obras y actividades en Áreas Naturales Protegidas, deberá contar con la opinión de la Dirección del ANP o en su caso de la Dirección Regional que corresponda, conforme lo establecido en el Decreto y Programa de Manejo del área respectiva.	No es aplicable.

#### Vinculación con “**Acciones específicas**”

<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Propuesta de cumplimiento</b>
A-007	Promover la constitución de áreas destinadas voluntariamente a la conservación o ANP en áreas aptas para la conservación o restauración de ecosistemas naturales.	No es aplicable al promovente, es una atribución para la autoridad.
A-013	Establecer las medidas necesarias para evitar la introducción de especies potencialmente invasoras por actividades marítimas en los términos establecidos por los artículos 76 y 77 de la Ley de Navegación y Comercio Marítimo.	Que se cumple con la presente acción, ya que ninguna de las actividades realizadas en las diversas etapas del proyecto, se propone la introducción de especies no nativas dentro del área marina y mucho menos existe el riesgo que por el uso de embarcaciones o lanchas que transportaran las estructuras que serán

		colocadas en el fondo marino, puedan transportar o arrastrar especies no nativas, ya que dicho caso solo ocurre con embarcaciones de gran tamaño.
A-016	Establecer corredores biológicos para conectar las ANP existentes o las áreas en buen estado de conservación dentro del ASO.	No es aplicable.
A-018	Promover acciones de protección y recuperación de especies bajo algún régimen de protección considerando en la Norma Oficial Mexicana, Protección ambiental-Especies Nativas de México de Flora y Fauna Silvestre-Categoría de Riesgo y Especificaciones para su Inclusión, Exclusión o Cambio-Lista de Especies en Riesgo (NOM-059 SEMARNAT-2010).	Que, si bien dicha acción, les compete a las autoridades, la promotora cooperara con las autoridades o participara, en los programas que estos últimos promuevan.
A-022	Fomentar programas de remediación y monitoreo de zonas y aguas costeras afectadas por los hidrocarburos.	No es aplicable.
A-025	Promover la participación de las industrias en acciones tendientes a una gestión adecuada de residuos peligrosos, con el objeto de prevenir la contaminación de suelos y fomentar su preservación.	No es aplicable.
A-029	Promover la preservación del perfil de la costa y los patrones naturales de circulación de las corrientes alineadas a la costa, salvo cuando dichas modificaciones correspondan a proyectos de infraestructura que tengan por objeto mitigar o remediar los efectos causados por alguna contingencia meteorológica o desastre natural.	Que se cumple con dicha acción, toda vez que el proyecto del arrecife artificial tiene como finalidad la recuperación y/o restitución de la playa, misma que se ha venido erosionando a través de los últimos años a causa de los fenómenos meteorológicos que han impactado en el Estado de Quintana Roo. Con el proyecto se pretende

		reestablecer la playa a su estado original contribuyendo así a la preservación del perfil costero, manteniendo los patrones naturales de circulación de corrientes.
A-033	Fomentar el aprovechamiento de la energía eólica, excepto cuando su infraestructura pueda afectar corredores de especies migratorias.	No es aplicable.
A-034	Promover mecanismos de generación de energía eléctrica usando la fuerza mareomotriz.	No es aplicable.
A-040	Impulsar la sustitución de las actividades de pesca extractiva por actividades de producción acuícola con especies nativas de la zona en la cual se aplica el programa y con tecnologías que no contaminen el ambiente y cuya infraestructura no afecte los sistemas naturales.	No es aplicable.
A-041	Fortalecer los mecanismos de seguimiento y control de las pesquerías comerciales para evitar su sobreexplotación.	No es aplicable.
A-042	Instrumentar o en su caso reforzar las campañas de vigilancia de las actividades extractivas de especies marinas de captura comercial, especialmente aquellas que se encuentran en las categorías en deterioro o en su límite máximo de explotación.	No es aplicable.
A-044	Diversificar la base de especies en explotación comercial en las pesquerías.	No es aplicable.
A-045	Desarrollar e impulsar el uso de la fauna de acompañamiento, salvo las especies que se encuentran en algún régimen de protección, para la producción comercial de harinas y complementos nutricionales.	No es aplicable.
A-046	Incentivar el cumplimiento de los mecanismos existentes para controlar el vertido y disposición de	Que, si bien este criterio es aplicable específicamente a las autoridades

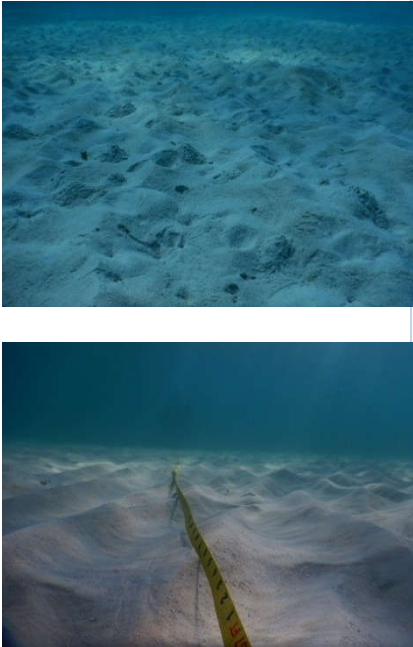
	residuos de embarcaciones, en las porciones marinas tanto costeras como oceánicas.	competentes, se advierte que la pequeña embarcación que será utilizada para la ejecución del proyecto será una balsa de carga, que no tendrá motor, por lo tanto, será nulo el vertimiento de residuos en la porción marina.
A-047	Monitorear las comunidades planctónicas y áreas de mayor productividad marina para ligar los programas de manejo de pesquerías de manera predictiva con estos elementos.	No es aplicable.
A-048	Contribuir a redimensionar y ajustar las flotas pesqueras y los esfuerzos de captura a las capacidades y estados actuales y previsibles de las poblaciones en explotación.	No es aplicable.
A-071	Diseñar e instrumentar acciones coordinadas entre sector turismo y sector conservación para reducir al mínimo la afectación de los ecosistemas en zonas turísticas y aprovechar al máximo el potencial turístico de los recursos. Impulsar y fortalecer las redes de turismo de la naturaleza (ecoturismo) en todas sus modalidades como una alternativa al desarrollo local respetando los criterios de sustentabilidad según la norma correspondiente.	No es aplicable.
A-073	Construir, modernizar y ampliar la infraestructura portuaria de gran tamaño de apoyo al turismo (embarcaciones mayores de 500 TRB (toneladas de registro bruto) y/o 49 pies de eslora), con obras sustentadas en estudios específicos, modelaciones predictivas y programas de monitoreo, que garanticen la no afectación de los recursos naturales.	No es aplicable.

A-074	Construir, modernizar y ampliar la infraestructura portuaria de gran tamaño de apoyo al tráfico comercial de mercancías (embarcaciones mayores de 500 TRB (toneladas de registro bruto) y/o 49 pies de eslora); con obras sustentadas en estudios específicos, modelaciones predictivas y programas de monitoreo, que garanticen la no afectación de los recursos naturales.	No es aplicable.
-------	--	------------------

Vinculación con los “**Criterios de Regulación Ecológica para las Zonas Costeras Inmediatas**”

Criterio	Descripción	Propuesta de cumplimiento
<b>ZMC-01</b>	Con el fin de proteger y preservar las comunidades arrecifales, principalmente las de mayor extensión, y/o riqueza de especies en la zona, y aquellas que representan valores culturales particulares, se recomienda no construir ningún tipo de infraestructura en las áreas ocupadas por dichas formaciones.	Que el polígono que ocupara el proyecto es un área que no presenta comunidades arrecifales, por tal motivo se da cumplimiento al criterio en comentario.
<b>ZMC-02</b>	Dado que los pastos marinos representan importantes ecosistemas para la fauna marina, debe promoverse su conservación y preservación, por lo que se debe evitar su afectación y pérdida en caso de alguna actividad o proyecto. La evaluación del impacto ambiental correspondiente deberá realizarse conforme a lo dispuesto en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, así como a las demás disposiciones jurídicas que resulten aplicables.	Para empezar el fondo marino del polígono en donde se pretende instalar el arrecife artificial, es arenal somero y no presente pastos marinos, dichas características, es una de las razones, <u>por las que se eligió el área en comentario, ya que el promovente es sabedor del contenido de los instrumentos ecológicos que promueven la conservación y preservación de los pastos marinos.</u> A continuación, se insertan imágenes del fondo marino en donde se instalarán las piezas que



		<p>conformarán el arrecife artificial.</p> 
<b>ZMC-03</b>	Sólo se permitirá la captura de mamíferos marinos, aves y reptiles para fines de investigación, rescate y traslado con fines de conservación y preservación, conforme a lo dispuesto en la Ley General de Vida Silvestre y demás disposiciones jurídicas aplicables.	No es aplicable, no se pretende la actividad descrita en el presente criterio.
<b>ZMC-04</b>	Con el fin de preservar zonas coralinas, principalmente las más representativas por su extensión, riqueza y especies presentes, la ubicación y construcción de posibles puntos de anclaje deberán estar sujetas a estudios específicos que la autoridad correspondiente solicite.	No es aplicable, la zona del proyecto no es una zona coralina.
<b>ZMC-05</b>	La recolección, remoción o trasplante de organismos vivos o muertos en las zonas arrecifales u otros ecosistemas representativos, sólo podrá llevarse a cabo bajo las disposiciones aplicables de la Ley General de Vida Silvestre y demás normatividad aplicable.	No es aplicable, no se pretende dicha actividad.
<b>ZMC-06</b>	La construcción de estructuras promotoras de playas deberá estar avaladas por las autoridades	Se cumple, el proyecto previamente será evaluado en materia de impacto

	competentes y contar con los estudios técnicos y específicos que la autoridad requiera para este fin.	ambiental.
<b>ZMC-07</b>	Como una medida preventiva para evitar contaminación marina no debe permitirse el vertimiento de hidrocarburos y productos químicos de ningún tipo en los cuerpos de agua en esta zona.	Como ya se mencionó, dentro de la etapa de construcción de proyecto, se utilizará una balsa de carga sin motor, por lo que el vertimiento de cualquier sustancia nociva en el ambiente marino será nulo.
<b>ZMC-08</b>	Con el objeto de coadyuvar en la preservación de las especies de tortugas que año con año arriban en esta zona costera, es recomendable que las actividades recreativas marinas eviten llevarse a cabo entre el ocaso y el amanecer, esto en la temporada de anidación, principalmente en aquellos sitios de mayor incidencia de dichas especies.	Que las actividades que se realizarán en las diversas etapas del proyecto se prohibirán al personal y/o trabajadores el ejecutar cualquier actividad entre el ocaso y el amanecer, dentro de la temporada de anidación de tortugas.
<b>ZMC-09</b>	Con el objetivo de preservar las comunidades arrecifales en la zona, es importante que cualquier actividad que se lleve a cabo en ellos y su zona de influencia estén sujetas a permisos avalados que garanticen que dichas actividades no tendrán impactos adversos sobre los valores naturales o culturales de los arrecifes, con base en estudios específicos que determinen la capacidad de carga de los mismos.	Se cumple con el criterio, no se realizará actividades sobre áreas de comunidades arrecifales.
<b>ZMC-10</b>	Con el fin de prevenir la contaminación y deterioro de las zonas marinas, es recomendable la difusión de las normas ambientales correspondientes en toda actividad náutica en la zona.	Que la naturaleza del proyecto no es una actividad náutica, sin embargo, se utilizará dentro de la etapa de construcción del proyecto una balsa de carga sin motor, por lo tanto, será nula la contaminación en el área marina.
<b>ZMC-11</b>	Se requerirá que, en caso de alguna actividad relacionada con obras de canalización y dragado debidamente	Si bien es cierto no se realizarán actividades de canalización y dragado,

	<p>autorizadas, se utilicen mallas geotextiles y otras tecnologías que eviten la suspensión y dispersión de sedimentos, en el caso de que exista el riesgo de que se afecten o resulten dañados recursos naturales por estas obras</p>	<p>previo a la instalación de las estructuras que conformarán el arrecife artificial, se instalarán mallas geotextiles para evitar la suspensión y dispersión de sedimentos. Por lo tanto, se cumple con el criterio.</p>
<b>ZMC-12</b>	<p>La construcción de proyectos relacionados con muelles de gran tamaño (para embarcaciones mayores de 500TRB [Toneladas de Registro Bruto] y/o 49 pies de eslora), deberá incluir medidas para mantener los procesos de transporte litoral y la calidad del agua marina, así como para evitar la afectación de comunidades marinas presentes en la zona.</p>	<p>No es aplicable, no se pretende la construcción de un muelle.</p>
<b>ZMC-13</b>	<p>Las embarcaciones utilizadas para la pesca comercial o deportiva deberán portar los colores y claves distintivas asignadas por la Comisión Nacional de Pesca y Acuicultura, en los Lineamientos para los Mecanismos de Identificación y Control del Esfuerzo Pesquero, así como el permiso de pesca correspondiente.</p>	<p>No es aplicable.</p>
<b>ZMC-14</b>	<p>Por las características de gran volumen de los efluentes subterráneos de los sistemas asociados a la zona oriente de la Península de Yucatán y por la importancia que revisten los humedales como mecanismo de protección del ecosistema marino ante el arrastre de contaminantes de origen terrígeno en particular para esta región los fosfatos y algunos metales pesados producto de los desperdicios generados por el turismo, se recomienda en las UGA regionales correspondientes (UGA:139, UGA:152 y UGA:156) estudiar la factibilidad y promover la</p>	<p>No es aplicable.</p>

	<p>creación de áreas de protección mediante políticas, estrategias y control de uso del suelo en esquemas como los Ordenamientos Ecológicos locales o mediante el establecimiento de ANP federales, estatales, municipales, o áreas destinadas voluntariamente a la conservación que actúen de manera sinérgica para conservar los atributos del sistema costero colindante y contribuyan a completar un corredor de áreas protegidas sobre toda la zona costera del Canal de Yucatán y Mar Caribe, en particular para mantener o restaurar la conectividad de los sistemas de humedales de la Península de Yucatán.</p>	
--	--	--

Vinculación con criterios **“Zona Costera Inmediata al Municipio de Solidaridad, Quintana Roo”**

Criterio	Descripción	Propuesta de cumplimiento
<b>SOL-G-1</b>	<p>Las obras o actividades que impliquen la extracción de arena, los dragados, rellenos, excavaciones y cualquier obra o acción que genere sedimentos en suspensión, o modifique directa o indirectamente el contorno del litoral y el fondo marino, por su impacto en la zona de influencia, deberá considerar los impactos sinérgicos potenciales de dichas obras o actividades, y en su caso, adoptar las medidas necesarias para su prevención y mitigación, de estar sujetas a autorización en materia de impacto ambiental federal.</p>	<p>Que se cumple con el presente criterio, ya que, dentro del capítulo de la identificación de los impactos ambientales, se aborda dicho temas.</p>
<b>SOL-G-2</b>	<p>Promover y fomentar que, en toda obra, durante las etapas de preparación de sitio, construcción y operación, se apliquen las medidas adecuadas para el manejo de</p>	<p>Es importante señalar que los únicos vehículos motorizados que se usarán en todo el proyecto serán aquellos que se ocuparán</p>

	<p>grasas, aceites, emisiones atmosféricas e hidrocarburos, que minimicen la afectación a los ecosistemas. En cuanto a los efectos de la emisión de energías como son vibración, ruido y energía lumínica provenientes de la maquinaria en uso, se acatarán las medidas de mitigación que establezca la autoridad competente.</p>	<p>para el traslado de las piezas en la parte terrestre. Previo a su contratación o arrendamiento se exigirá la comprobación de los mantenimientos preventivos al corriente y sus respectivas afinaciones, con lo que se garantizará la no afectación por derrames de aceites o hidrocarburos y las emisiones estarán dentro de lo permisible por la normatividad. En ningún otro momento del proyecto se usarán o almacenarán los productos descritos y no se requerirá de maquinaria que provoque vibraciones, ruido o energía lumínica que altere el entorno.</p>
<b>SOL-G-3</b>	<p>Para aquellos eventos temporales de carácter cultural, recreativo o deportivo que se realicen en la zona marina y que requieran de instalaciones o infraestructura temporales, deberán ubicarse a una distancia mínima de 100 metros de las formaciones arrecifales, y bajo la supervisión de la autoridad competente.</p>	<p>No es aplicable al proyecto.</p>
<b>SOL-G-4</b>	<p>Evitar la instalación de infraestructura que afecte la dinámica del transporte litoral, incluyendo espigones, geotubos y cualquier barrera que obstruya o modifique los cauces principales del flujo y reflujo de marea para evitar el desbalance en los procesos costeros, con excepción de aquellos proyectos para fines de conservación y restauración de playas que impliquen una solución de manejo integral costero.</p>	<p>Que el proyecto del arrecife artificial tiene como finalidad la estabilización y restauración de la playa adyacente a fin de remediar los danos causados por las inclemencias climáticas que han azotado la zona en los últimos años; por lo que se pretende reestablecer la playa a su estado original mediante la</p>

		reducción de la energía del oleaje a través de estructuras sumergidas y separadas entre sí, las cuales estarán alejadas de la costa sin alterar los causes principales del flujo y reflujos de mareas ni el transporte de litoral que se da naturalmente pegado a la costa y con dirección hacia el Sur.
<b>SOL-G-5</b>	Las descargas de aguas residuales de cualquier tipo al mar o a las aguas interiores de recintos portuarios deberán cumplir estrictamente con la normatividad aplicable y con los términos de los permisos que para tales efectos se emitan.	No es aplicable, no se pretende la descarga de aguas residuales.
<b>SOL-G-6</b>	Evitar el uso de explosivos que puedan dañar formaciones arrecifales y especies asociadas.	Se cumple, no se utilizarán explosivos en ninguna de las etapas del proyecto.
<b>SOL-G-7</b>	La autorización para la prestación de servicios acuáticos motorizados, incluyendo motos acuáticas, deportes de arrastre o remolque del tipo parasailing, bananas, ski, y similares, deberá considerar la elaboración de estudios técnicos que determinen la capacidad de carga del ecosistema, con el fin de que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes pueda regular el número máximo de embarcaciones que presten estos servicios, propiciando así condiciones de seguridad y evitando daños al ecosistema.	No es aplicable, no se pretende la dotación de servicios acuáticos motorizados.
<b>SOL-G-8</b>	Para asegurar el aprovechamiento sustentable de los recursos arrecifales, se evitará la acuicultura intensiva o con especies no nativas que implique: la acumulación de materia orgánica compuesta por los restos de	No es aplicable.

	<p>alimentos y/o por las mismas materias fecales de los organismos en cultivo; contaminación producida por los agentes químicos utilizados en la construcción, en la protección contra la corrosión y/o en antifijación de organismos incrustantes, así como en pigmentos incorporados al alimento, desinfectantes y diferentes productos utilizados para el control de enfermedades; la abundancia de patógenos provocada por el mantenimiento en condiciones de monocultivo, en altas densidades y en un lugar determinado y por un tiempo prolongado que provocara el contagio de patógenos que afecten a otras especies silvestres; o el posible escape o liberación de los individuos cultivados cuando éstos han sido modificados genéticamente.</p>	
<b>SOL-G-9</b>	<p>Promover ante las autoridades competentes la creación de "zonas de refugio" pesquero previstas en la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables para la recuperación de las poblaciones y ecosistemas, incrementando el atractivo natural de las zonas.</p>	<p>No es aplicable al promovente.</p>
<b>SOL-G-10</b>	<p>Las actividades de pesca se realizarán preferentemente fuera de las zonas de nado, arrecifales y portuarias.</p>	<p>No es aplicable.</p>
<b>SOL-G-11</b>	<p>Fomentar que los distintos tipos de actividades tanto pesqueras, como acuático-recreativas se realicen en horarios y zonas alternadas para evitar conflictos entre éstas y a través de acuerdos entre los sectores.</p>	<p>No es aplicable.</p>
<b>SOL-G-12</b>	<p>La pesca deportiva se realizará de acuerdo a la normatividad aplicable, conforme a buenas</p>	<p>No es aplicable.</p>

	prácticas y con artes de pesca que minimicen el impacto a las especies capturadas.	
<b>SOL-G-13</b>	Los responsables de las embarcaciones mayores que transiten en el área, cumpliendo con la normatividad aplicable, dispondrán de un sistema de captación, recuperación y manejo de aceites, grasas, combustibles y otro tipo de hidrocarburos, que pudieran verterse accidentalmente en el mar.	No es aplicable.
<b>SOL-G-14</b>	Las marinas y muelles, deberán permitir el libre paso de fauna acuática bajo sus instalaciones.	No es aplicable.
<b>SOL-G-15</b>	Se evitará realizar el mantenimiento, limpieza, reparación de embarcaciones y motores, abastecimiento de combustible y achicamiento de las sentinas en aguas marinas abiertas, fuera de instalaciones portuarias o adecuadas para tal efecto, con excepción de casos de emergencia. En dicho supuesto se deberá notificar a la autoridad competente.	Se cumple. El mantenimiento, limpieza y reparación de la balsa de carga sin motor, se realizará fuera de la zona federal marítimo terrestre y/o área del proyecto.
<b>SOL-G-16</b>	La instalación de cualquier tipo de infraestructura portuaria, previa Manifestación y Resolución de Impacto Ambiental, se realizará de tal manera que no impacte significativamente en el ambiente debido a: los cambios de flujos marinos, la obstaculización del libre paso de la fauna, la limitación de la conectividad entre ecosistemas, la generación de sedimentos en suspensión, la alteración de las propiedades bioquímicas y físicas del agua y las estructuras arrecifales.	No es aplicable, no se pretende la instalación de infraestructura portuaria.
<b>SOL-G-17</b>	Promover la señalización de las rutas para el tránsito de las embarcaciones en la zona, por	No es competencia del promovente, por lo tanto, no es aplicable.



	parte de la autoridad competente.	
<b>SOL-G-18</b>	Promover programas de monitoreo de calidad del agua con el propósito de identificar las posibles fuentes de contaminación y establecer medidas que eviten y mitiguen daños a la salud pública y a los ecosistemas arrecifales.	No es competencia del promovente, por lo tanto, no es aplicable.
<b>SOL-G-19</b>	Se evitará el abandono de embarcaciones.	En todo momento se cumplirá con el presente criterio.
<b>SOL-G-20</b>	El uso de vehículos acuáticos motorizados deberá realizarse en el marco de las autorizaciones expedidas para tal efecto, y evitando daños mecánicos a los arrecifes por encallamientos, por el golpe y arrastre de anclas o alguna parte de la embarcación o motor, derrames de aceites y combustibles, o generación o resuspensión de sedimentos.	No es aplicable, el proyecto no pretende la utilización de vehículos acuáticos motorizados.
<b>SOL-G-21</b>	Las embarcaciones utilizarán de preferencia motores de cuatro tiempos, con la finalidad de minimizar la contaminación por hidrocarburos y aceites.	No es aplicable, el proyecto no pretende la utilización de vehículos acuáticos motorizados.
<b>SOL-G-22</b>	Por motivos de seguridad de los usuarios, las embarcaciones y la integridad de los arrecifes de la zona, se evitará el acuatizaje de aeronaves.	No es aplicable.
<b>SOL-G-23</b>	Sólo se permite el acuatizaje de hidroaviones en el área de lagunas arrecifales, con fines de protección civil y vigilancia.	No es aplicable.
<b>SOL-G-24</b>	Se evitará la extracción, captura o comercialización de especies de flora y fauna marina nativas, a excepción de aquellas que se extraigan, capturen o comercialicen en términos de la normatividad aplicable y de los permisos que para tal efecto haya emitido la	No es aplicable, no se pretende la actividad mencionada en el presente criterio.

	SEMARNAT o la SAGARPA.	
<b>SOL-G-25</b>	La captura de individuos vivos de especies exóticas sólo podrá realizarse de conformidad con lo dispuesto en la Ley General de Vida Silvestre y demás disposiciones jurídicas aplicables.	No es aplicable, no se pretende la actividad mencionada en el presente criterio.

**III.3.-NOM-059-SEMARNAT-2010:** protección ambiental-especies nativas de México de Flora y Fauna Silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo.

En los recorridos realizados durante los trabajos de batimetría, así como la toma de fotografías acuáticas, no se localizaron especies catalogadas en esta norma dentro de la poligonal en donde se ubicará el arrecife artificial, las estructuras se colocarán en el fondo marino, dicho fondo marino está compuesto principalmente por arena, la colocación de las estructuras promoverá la formación de un arrecife artificial, favoreciendo el asentamiento y crecimiento de especies arrecifales.

Sin embargo, en el área de estudio del sistema ambiental, se detectó la presencia de las especies que se encuentran enlistadas en la presente norma: *Plexaura homomalla* y *plexaurella dichotoma* así como los pastos *Halodule wrightii*, *Syringodium filiforme* y *Thalassia Testudinum*. Dichas especies se conservarán en razón de que la instalación del arrecife será en un arenal.

#### **III.4.-ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS Y REGIONES PRIORITARIAS.**

En el sistema ambiental no se localiza ningún área natural protegida.

## **IV. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AMBIENTAL Y SEÑALAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DETECTADA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO.**

### **IV.1 Delimitación del área de estudio**

Tal como se ha expuesto, el proyecto pretende ubicarse en la zona marina colindante al predio Puerto Coral, localizado en la Carretera Cancún-Chetumal, dentro de la localidad de Playa del Carmen, en el municipio de Solidaridad.

A fin de analizar integralmente los componentes ecológicos que conforman la zona del proyecto y en seguimiento a lo estipulado por el artículo 12 del reglamento de la LGEEPA en materia de evaluación del impacto ambiental y a lo dispuesto en la Guía para la Elaboración de la Manifestación de Impacto Ambiental en donde se indica que para la delimitación del Sistema Ambiental se podrá utilizar la regionalización establecida por las Unidades de Gestión Ambiental del ordenamiento ecológico terrestre o marino cuando este exista para el sitio.

Para el proyecto que nos ocupa inicialmente se optó por definir el sistema ambiental de acuerdo a la zonificación establecida en el ACUERDO por el que se expide la parte marina del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe y se da a conocer la parte regional del propio Programa; particularmente con las UGAS REGIONAL 139 y MARINA 178 mismas que tiene una superficie de 327,229.174 ha y 311,046.005 ha respectivamente, que en su conjunto 638,275.179 ha; no obstante al ser una superficie tan extensa se procedió a realizar el mismo procedimiento pero ahora con el Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Solidaridad; específicamente con su UGA # 10 denominada Zona Urbana de Playa del Carmen cuya superficie corresponde a 9,343.99 hectáreas.

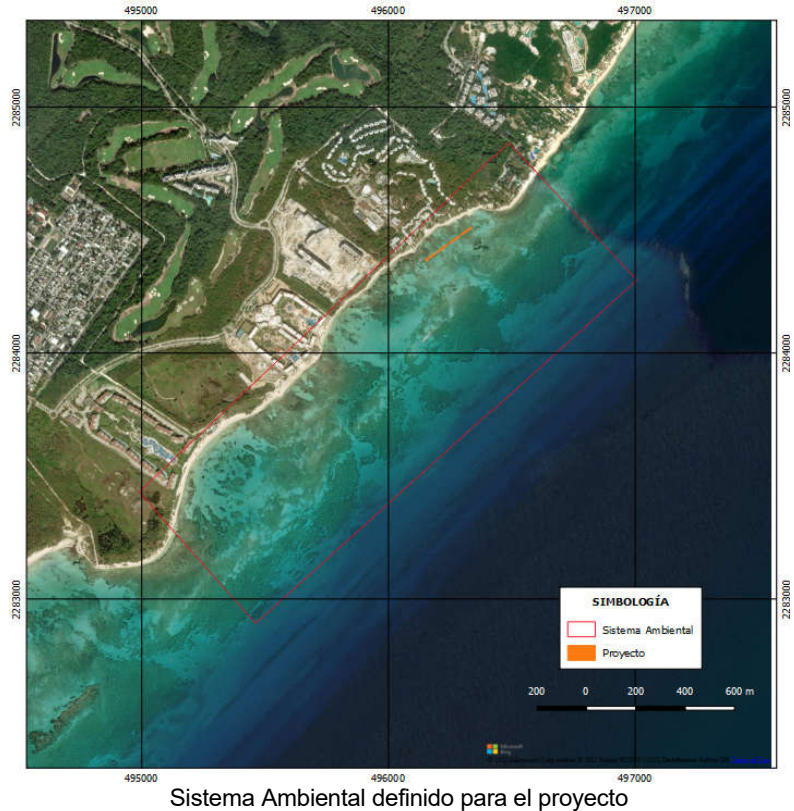
Toda vez que la UGA 10 sólo comprende la parte terrestre, se decidió considerar también todo el frente marino que comprende dicha UGA (400 m mar adentro),

pero aun así el SA seguía siendo muy extenso para las interacciones que tendrá el proyecto que nos ocupa.

Ante esto y en vista de que el proyecto tendrá su mayor influencia en la zona costera y marina, la delimitación del SA, se desarrolló bajo el criterio de celda litoral, mismas que son definidas como unidades básicas en las que se divide el litoral (Anfuso 2004, Guido *et al.* 2009); en términos sedimentarios la celda litoral es autónoma de celdas contiguas (Silva *et al.* 2014) y estas celdas involucran parte terrestre de la costa y el mar.

Las celdas litorales se originan por la interacción entre el oleaje incidente y las estructuras naturales (*e.g.*, puntas, cañones submarinos, bahías, estuarios, cabos o puntas, desembocaduras de ríos) o antrópicas (*e.g.*, muelles, espigones). Existen celdas litorales de dos tipos, las que ocurren en: 1) costas irregulares y 2) costas abiertas. Las celdas litorales que ocurren en costas irregulares están definidas por límites de tipo fijo como estructuras naturales o antrópicas; también son conocidas por celdas morfológicas.

El área del proyecto se encuentra en una costa irregular y por tanto para este proyecto delimito la celda litoral que abarca una distancia lineal de aproximadamente 2.07 km de frente de playa, desde punta Xcalacoco (punta norte) hasta punta Esmeralda (punta sur); y en la parte marina profunda está delimitado por una distancia de la línea de costa de aproximadamente 700 m, a una profundidad aproximada de 20 metros. Lo anterior resulta en SA con una superficie total de 134.14 hectáreas que se plasma en el plano siguiente:



## IV.2 Caracterización y análisis del sistema ambiental

### IV.2.1 Aspectos abióticos

#### Clima

El sistema ambiental y por tanto el predio del proyecto se ubica en la región Centro - Norte del estado de Quintana Roo. El clima en la zona está determinado en gran medida por diversos factores geográficos, es decir, su ubicación altitudinal y latitudinal, el efecto de su relieve estrictamente plano y la influencia de los vientos húmedos del Mar Caribe que han dado lugar al establecimiento de climas cálidos. De acuerdo con los datos registrados por las estaciones meteorológicas y con base en la cartografía climática de la zona, en la región se identifica una unidad climática, que hace referencia a un tipo cálido subhúmedo con lluvias todo el año, clasificado por García (1988), en el grupo de los A, caracterizado por presentar una temperatura media anual y una temperatura media del mes más cálido con valores de 25.2 °C y 21.7 °C respectivamente.

Para la caracterización climática del área de estudio, se realizó el cálculo de las variables climáticas, y por consiguiente la obtención del clima, para ello, se utilizaron los valores normales de las 38 estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), que se encuentran dentro del estado de

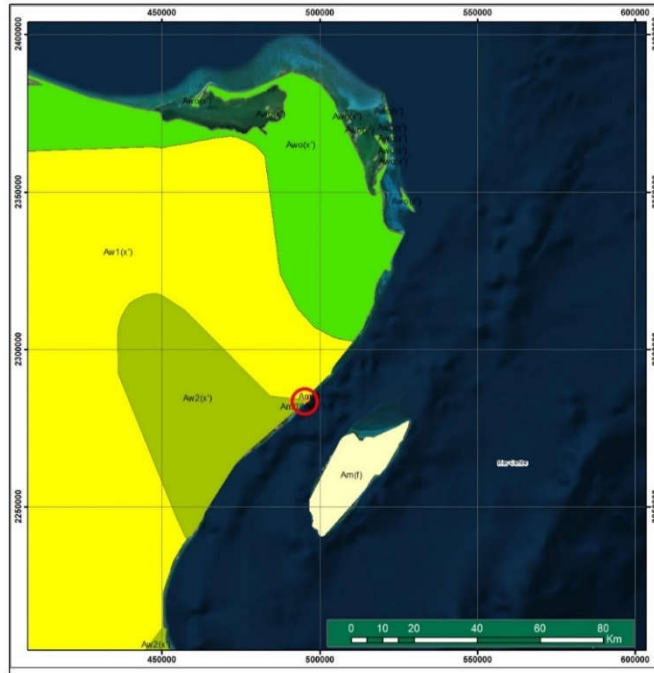
Quintana Roo (Tabla siguiente). Lo anterior debido a que en la región sólo se encuentra una estación climatológica y los datos no son suficientes.

Clave	Estación	Altitud (msnm)	T.max (°C)	T.med (°C)	T.min (°C)	Precipitación (mm/año)
23044	Adolfo López	48.00	32.3	25.00	17.7	1326.10
23154	Agua Blanca	94.00	31.2	25.00	18.8	1354.50
23001	Álvaro Obregón	52.00	31.5	25.30	19	1352.00
23152	A.Q.R.	25.00	31.4	25.70	19.9	1562.40
23155	Cancún	1.00	31.00	27.10	23.2	1337.70
23033	Chacchoben	29.00	31.10	25.60	20.1	1527.30
23032	Chetumal	26.00	31.40	26.90	22.4	1327.40
23153	Chetumal	17.00	30.80	26.20	21.7	1348.90
23012	Coba	23.00	29.80	24.70	19.6	1196.70
23041	Dziuche	55.00	32.50	25.80	19.2	1189.50
23003	Felipe Carrillo Puerto	22.00	31.80	26.30	20.8	1385.70
23157	Lázaro Cárdenas	33.00	31.80	25.70	19.7	1423.40
23049	Inia-Caechet	41.00	31.90	25.90	19.9	1367.20
23050	Inip	-9.00	31.10	25.60	20.2	1397.00
23009	Isla Holbox	20.00	31.20	26.40	21.6	913.80
23011	Kantuniikin	33.00	31.50	24.40	17.4	1295.80
23013	La Presumida	46.00	33.80	26.10	18.3	1383.80
23014	Leona Vicario	22.00	30.90	24.50	18.1	1104.60
23042	Limones	12.00	32.10	25.80	19.6	1542.80
23015	Los Pozos	20.00	30.90	25.60	20.4	1241.00
23016	Nicolas Bravo	123.00	32.00	25.70	19.5	1250.80
23030	Nuevo Xcan	1.00	32.80	25.90	19	968.10
23017	Palmas	20.00	31.30	25.30	19.3	1213.90
23051	Pedro Antonio Santos	30.00	32.40	26.50	20.6	1420.80
23018	Pucte	65.00	32.1	26.20	20.2	1392.60
23019	P. Morelos	20.00	31.10	25.90	20.7	1264.80
23150	Saban	62.00	32.30	25.50	18.7	1133.00
23043	San Felipe	-9.00	32.60	26.20	19.8	1308.10
23021	Santa Cruz Chico	10.00	32.10	25.70	19.3	1436.10
23022	Señor	37.00	32.30	25.90	19.4	1246.80
23040	Sergio Butrón	49.00	31.10	25.90	20.6	1369.50
23023	Solferino	23.00	31.10	24.60	18.1	1270.70
23007	Tampak (A. Chunhuhub)	100.00	32.20	25.40	18.7	1092.80
23024	Tihosuco	62.00	330	25.90	18.7	1209.90
23025	Tulum	25.00	31.20	25.50	19.9	1150.30
23026	Valle Hermoso	48.00	32.70	25.80	18.8	1101.00
23027	Victoria	32.00	30.10	24.70	19.4	1365.80
23031	X-Pichil	34.00	32.80	26.40	20.1	1046.20

Derivado de lo anterior; la temperatura media anual en el SA oscila entre los 24.9°C y 25.7°C, siendo las corrientes de viento un factor importante para que, a nivel del mar esta variable climática no se incremente en mayor medida.

Dhora bien, de acuerdo con las carta climática tenemos que el sitio del proyecto presenta un clima cálido subhúmedo del tipo Aw2(x') caracterizado por tener una temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. La precipitación del mes más seco está entre 0 y 60 mm; lluvias

de verano y porcentaje de lluvia invernal es mayor al 10.2% del total anual. Este tipo de clima es el más húmedo de los climas cálidos subhúmedos (INEGI 2000).



Clima del SA (García 1998).

### Fenómenos meteorológicos

Las características climáticas no permiten la instauración de heladas o nevadas, así como tampoco la presencia de granizadas ni nieblas (neblinas). Los principales eventos meteorológicos que llegan a presentarse en la región son acompañados de precipitaciones, como los frentes fríos que se manifiestan con fuertes vientos (Nortes) a finales y principios del año, y los huracanes, tormentas y depresiones tropicales (según su intensidad) entre junio y noviembre. Debido a su ubicación geográfica, la zona donde se establece el SA y el proyecto, es la de mayor concurrencia de huracanes del país, por encontrarse dentro de la trayectoria típica que siguen estos fenómenos en su camino desde el Océano Atlántico hacia el Poniente. La información obtenida a través del SMN (2009), indica que desde 1970 al 2011, se formaron 36 ciclones tropicales que afectaron directamente el territorio estatal de Quintana Roo. De dichos fenómenos, 10 correspondieron a la clasificación de depresión tropical; 11 afectaron como tormenta tropical y 10 entraron en contacto en categoría de huracán. De los 31 ciclones anteriormente mencionados, solo 3 entraron a tierra dentro de la región: Roxanne (1995), Gordon (2000) y Emily (2005). Las características de los huracanes que cuya trayectoria del ojo pasó a través de la zona de estudio se describen en la próxima tabla.

Año	Nombre	Categoría	Período	Día de impacto	Viento máx. (Km/h)
-----	--------	-----------	---------	----------------	--------------------

1995	Roxanne	H3	8 - 20 de octubre	10 de octubre	185
2000	Gordon	Depresión tropical	14 - 18 Septiembre	14 de Septiembre	55
2005	Emily	H4	10 - 21 Julio	18 de Julio	215
2007	Dean	H5	13 - 23 Agosto	21 de Agosto	260
2008	Arthur	Tormenta tropical	1 de Mayo al 2 de Junio	31 de Mayo	65
2009	Ida	H1	4 - al 10 de Noviembre	8 de Noviembre	150
2010	Richard	Depresión tropical	20 - 26 de Octubre	25 de Octubre	55
2011	Rina	Tormenta tropical	23 - 28 de Octubre	27 de Octubre	95

Fuente: CONAGUA, Ciclones tropicales que impactaron a México de 1970 a 2011.

El ciclón denominado “Roxane” se formó el 7 de octubre de 1995, llegó a tierra al Norte de Tulum como depresión tropical, cambiando a la categoría de tormenta tropical el día 9 y se convirtió a huracán al siguiente día (10 de octubre). Alcanzó vientos sostenidos de 185 Km/h (categoría 3), se movió hacia la bahía de Campeche y se mantuvo en una pequeña área de la bahía del 14 al 18 de octubre en una trayectoria semielíptica; posteriormente se debilitó a depresión y se trasladó al interior del Golfo de México.

Cinco años después, durante septiembre del 2000, la Depresión tropical número 11 del Atlántico “Gordon” se formó el día 14, e inmediatamente después, frente a las costas de Quintana Roo (25 Km al Sur - Suroeste), entró a la región donde se ubica el predio del estudio, cruzó hacia el Norponiente y recuperó su trayectoria hacia el Norte, saliendo de tierra firme el día 17 del mismo mes como huracán de categoría 1.

Por otro lado, “Emily” se formó el 10 de julio del 2005 como depresión tropical en el Atlántico Central, durante la tarde del 11 de julio se reforzó y convirtió en tormenta tropical, el día 13 alcanzó la categoría de huracán, pasando por Trinidad y Tobago y el Mar Caribe. El día 17 de julio se convirtió en el primer huracán de categoría 5 de la temporada con vientos máximos sostenidos de 260 Km/h. Un día después se debilitó a categoría 4 (escala de intensidad Saffir – Simpson), cuando entró a territorio quintanarroense, aproximadamente a las 2 de la mañana, con vientos máximos sostenidos de 215 Km/h avanzó hacia el Norponiente de la Península de Yucatán y salió al Golfo de México.

Estos ciclones fueron los únicos que hicieron su primer contacto con tierra, sin embargo, dada la frecuencia, magnitud y trayectoria de este tipo de fenómenos, los efectos de casi todas las formaciones ciclónicas tienen alguna repercusión en la región de la Península de Yucatán.

Otro fenómeno importante que debe considerarse son las inundaciones, debido a las características geomorfológicas. Dada las características geológicas y profundidad del acuífero, las “inundaciones”, se dan en las cercanías de las aguadas, en las Selvas que algunos autores denominan como inundables y otros

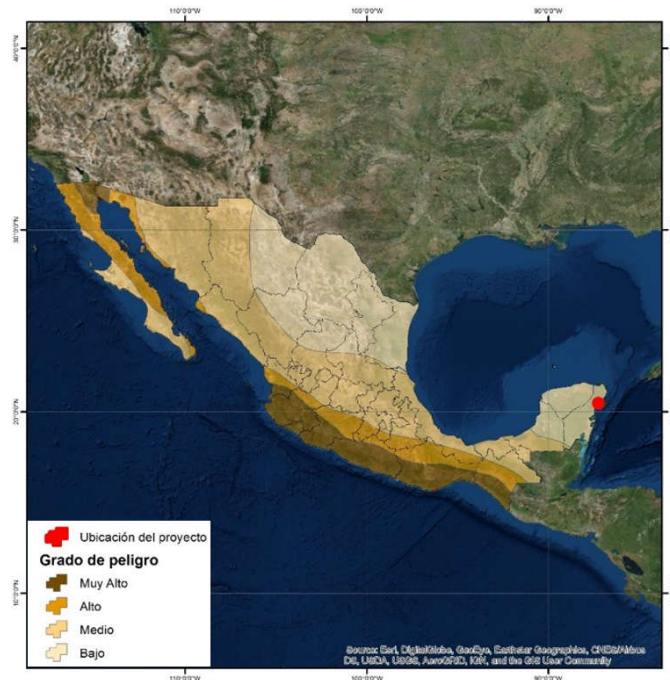


como Selva baja inundable, en estas sube el nivel del agua hasta un metro; las zonas inundables coinciden sobre todo con los terrenos cercanos a la falla de Holbox que, además, es la ubicación del mayor número de aguadas y Cenotes. Las inundaciones son cíclicas en la región y los gametos de las plantas que lo habitan requieren de estos flujos de agua para llegar a otros parches con Selva baja o Selva baja inundable (dependiendo el autor que lo describa). En las zonas bajas, (nanocuenas endorréicas) cercanas a la infraestructura y asentamientos humanos, tampoco se han registrado este tipo de riesgos.

## Riesgos Naturales

### *Susceptibilidad de la zona a sismicidad y tsunamis*

De acuerdo con información del SSNeI territorio del país se encuentra dividida en cuatro zonas sísmicas, mismas que fueron diferenciadas con base en registros históricos y registros de aceleración del suelo de algunos de los grandes temblores ocurridos a lo largo del siglo pasado. No obstante, al ser el SA marino en su mayor parte, no se tiene definida una zona sísmica para ello; sin embargo su parte terrestre corresponde a una zona muy estable ya que se ubica sobre la placa de Norteamérica, lejos de la línea de contacto con la del Caribe. En sentido general, la Península de Yucatán y el por tanto en el SA existe una baja intensidad sísmica (Morales 2004, Zavala *et al.* 2005), como se puede observar en la siguiente figura.



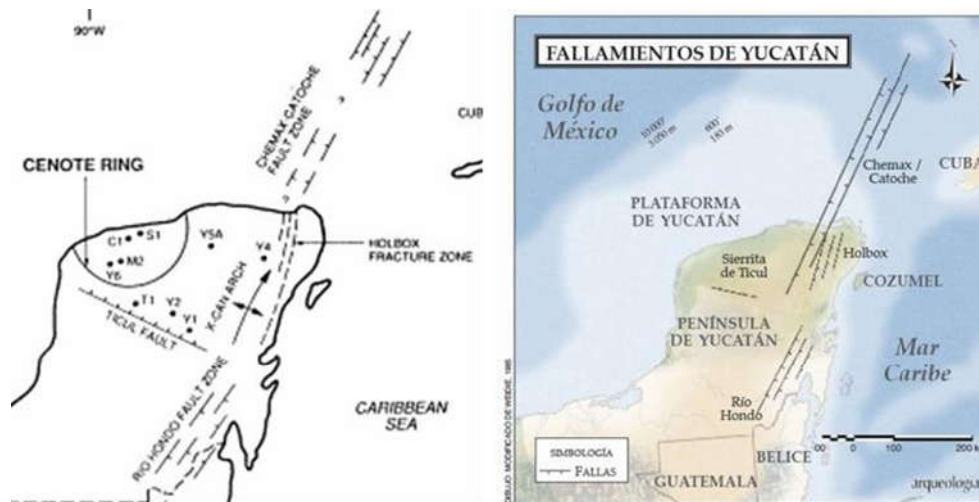
Regionalización sísmica en el SA. Fuente: Servicio Sismológico Nacional.

En tanto a la posibilidad de que el SA sea afectado por un tsunami se advierte que es muy baja ya que geográficamente se encuentra lejos de las zonas en donde estos se producen (CENAPRED 2016).

## Geología y geomorfología

El sistema ambiental en donde se ubica el sitio de estudio pertenece a la provincia fisiográfica Plataforma de Yucatán, que corresponde a una planicie de origen cárstico (caliza) cubierta por depósitos eólicos de arena y fósiles de organismos marinos (caliche).

La Plataforma de Yucatán es una estructura que ha sufrido alteraciones geológicas que favorecen la infiltración pluvial y por consiguiente, el desarrollo de cuevas y los llamados Cenotes. Uno de los principales Sistemas de fallas en la Península de Yucatán es el conocido como Fractura de Holbox, conformada por fallas alineadas en sentido Nororiente - Surponiente, que generó una secuencia alternante de Lomeríos de escasa altitud y depresiones o valles, estos últimos alojando a cuerpos de agua y Sistemas de humedales. Lo anterior se muestra en la siguiente figura.



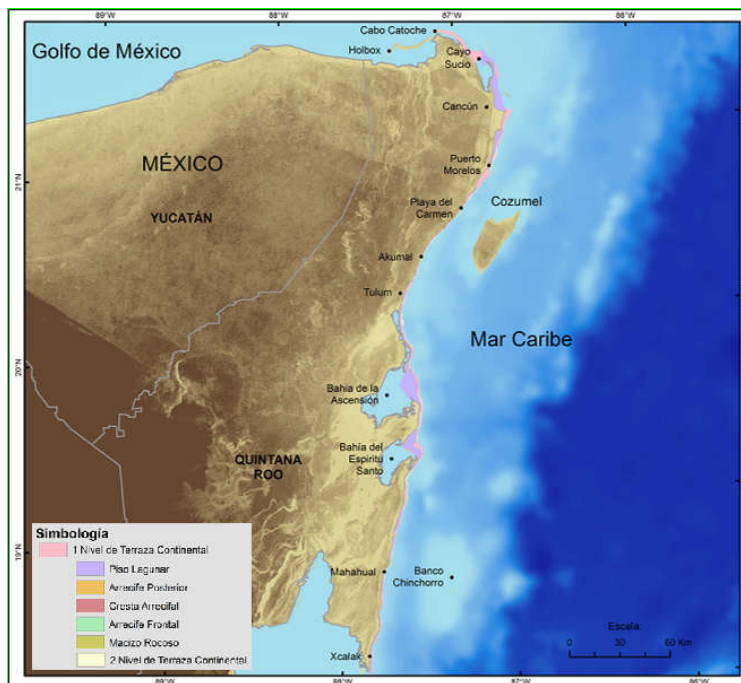
Zona de la Fractura de Holbox (Izquierda: Pope y otros. Surface Geology of the Chicxulub impact crater, Yucatán, México, Earth, Moon, and Planets. Derecha: Bedows y otros, los Cenotes de la Península de Yucatán (modificado de Weidie, 1985).

La Fractura de Holbox se desarrolla entre 20.00 y 100.00 Km al Poniente de la línea de costa, delimitada principalmente por el Lineamiento San Felipe, al Poniente y el Lineamiento de Tulum, al Oriente. Entre ellos se formó la depresión Ignacio Zaragoza - Chumpón, y otras más de menor magnitud y profundidad, producto de alineaciones montañosas paralelas y bloques hundidos (grabens). Dentro de los bloques hundidos se forman cuencas o depresiones, mientras que los bloques elevados (horst) se erosionan.

El SA se ubica en la plataforma continental, es decir, la superficie del fondo submarino de suave pendiente que se extiende desde la costa sin exceder los 200 m de profundidad y muy reducida en la costa de Quintana Roo (800 km lineales), con tan solo 9,000 km<sup>2</sup>(Morales 2004). La plataforma continental **su vez forma** parte de la plataforma carbonatada, cuyo límite geomorfológico es el talud continental (Lugo *et al.* 2009). Esta, es una superficie sumergida a poca profundidad sobre la que se depositan carbonatos. La deposición de carbonatos se debe a la presencia de organismos que secretan carbonato de calcio y a la presencia de organismos que utilizan este carbonato de calcio para la construcción de sus conchas o esqueletos.

## Relieve marino

Cerdeira-Estrada *et al.* (2018) estudiaron la distribución espacial y extensión del relieve submarino de los ecosistemas del Caribe mexicano, que cubren las aguas someras del sistema arrecifal mesoamericano. Por lo que a partir del análisis de datos en campo y de imágenes satelitales WorldView-2 se generaron productos de reflectancia de fondo y batimetría satelital. Como resultado, dentro de la plataforma continental, realizaron una clasificación jerárquica en dos niveles de terraza con profundidad máxima de 18 m: primer nivel de terraza continental y segundo nivel de terraza continental. En el segundo nivel de terraza continental, se encuentran las formas erosivas, acumulativas y de acreción orgánica, la cuales son: 1) piso lagunar, 2) arrecife posterior, 3) cresta arrecifal, 4) arrecife frontal y 5) macizos rocosos (Cerdeira-Estrada *et al.* 2018).



Relieve Submarino de los Ecosistemas Marinos del Caribe Mexicano desde Cabo Catoche hasta Xcalak.  
Fuente: Cerdeira-Estrada *et al.* 2018.

De acuerdo con esta clasificación jerárquica, la mayor parte del SA se encuentra en el Primer Nivel de Terraza Continental; y el resto se ubica en el Piso Lagunar (Cerdeira-Estrada *et al.* 2018), de tal forma que el relieve del SA no presenta variaciones importantes, alcanzando una profundidad promedio de 20 m.

## **Fallas y fracturamientos**

La sección de la plataforma continental donde se encuentra ubicado el SA del proyecto, es muy estrecha. Esto se debe a la existencia de una serie de fallas que separan las placas tectónicas norteamericana y del Caribe. Justo en el canal entre la península y Cozumel se tiene una de esas fallas, lo que hace que dicho canal sea profundo, aproximadamente 500 m. Se sabe que, sobre las plataformas estrechas, los sedimentos no son retenidos por mucho tiempo sobre las playas, aunque en el área de Playas del Carmen, la presencia de barreras arrecifales contribuye a la retención de sedimentos. Por lo tanto, se plantea la hipótesis de que existe una pérdida de arena desde la plataforma interna hacia el fondo del canal (Guido *et al.* 2009).

## **Hidrología**

### *Hidrología superficial*

El SA y en general el Municipio de Solidaridad, por encontrarse en la RH32, se caracteriza por presentar una precipitación promedio que va de 800 mm en el Norte a más de 1,500 al Sureste de la cuenca y con un rango de escurrimiento de 0 a 5% en casi toda la superficie, excepto en las franjas costeras que tienen de 5 a 10% o 10 a 20% debido a la presencia de arcillas y limos.

Los cuerpos de agua superficiales más representativos en el territorio del Municipio de Solidaridad se refieren principalmente a afloramientos de agua subterránea alumbrados por procesos naturales de disolución de la roca caliza por efecto del agua de lluvia que se infiltra al subsuelo y erosiona, química y físicamente, la roca formando grutas y cavernas, algunas de las cuales presentan desplomes en su techo formando los denominados cenotes.

Otros cuerpos de agua que se presentan son intermitentes y de origen pluvial, Akalchés, como se les denomina localmente, los cuales se forman en suaves depresiones topográficas con sedimentos finos impermeables, hacia donde fluye el agua producto de la precipitación pluvial por escurrimientos y queda atrapada por el sedimento impermeable. La permanencia y temporalidad de estos cuerpos de agua dependen de factores climáticos como la temperatura, evaporación y precipitación pluvial.

En la región pueden apreciarse afloramientos de corrientes subterráneas en las cercanías del litoral como es el caso de los parques turísticos de Xcaret y Xel-ha así como en las inmediaciones de Xpu-ha, al sur de Playa del Carmen o en la

zona de Xcalacoco y del parque turístico Tres Ríos al norte de la cabecera municipal.

En lo que se refiere a la hidrología superficial del Sistema Ambiental, la ausencia de pendientes, del terreno ( $<10^\circ$ ) y a las características litológicas y edafológicas que le confieren una alta permeabilidad hidrogeológica, no existen escurrimientos superficiales de consideración. Pues la mayor parte de la precipitación se infiltra o percola hacia el manto acuífero y el restante se evapora hacia la atmósfera.

### *Hidrología subterránea*

La zona de estudio se encuentra asentada totalmente sobre el acuífero península de Yucatán, que es del tipo freático, con marcada heterogeneidad respecto a sus características hidráulicas. De acuerdo con la CONAGUA, la recarga total dentro del acuífero "Península de Yucatán" es de: 21,813.40 Mm<sup>3</sup>/año y no está sobreexplotado. Sin embargo, ha tenido cuatro decretos de veda para la extracción de agua subterránea con la finalidad de preservar, controlar o proteger su cantidad y calidad. La primera de ellas fue una Veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la zona que comprende la Delegación de Payo Obispo, en el territorio de Quintana Roo, decretada el 17 de marzo de 1964 y publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 7 de mayo del mismo año. La segunda fue una veda por tiempo indefinido para la extracción, alumbramiento y aprovechamiento de aguas del subsuelo en los municipios de Benito Juárez y Cozumel, Quintana Roo decretada el 11 de marzo de 1981 y publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de marzo del mismo año. Durante 1975 se decretó la conservación de los mantos acuíferos en la zona comprendida dentro de los límites geopolíticos del estado de Campeche, decretada el 25 de agosto y publicada el día 10 de diciembre del mismo año. Posteriormente, el 13 de septiembre de 1984 hubo un cuarto decreto, por el que se declara de Interés Público la conservación de los mantos acuíferos y se establece veda por tiempo indefinido para la extracción, alumbramiento y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en la parte que corresponde a los límites geopolíticos del estado de Yucatán, publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 20 de septiembre del mismo año.

### *Hidrología marina*

El SA del proyecto se encuentra ubicado en las aguas del Mar Caribe, el cual pertenece al océano Atlántico y está situado al este de América Central (Zavala *et al.* 2005). Las aguas del mar Caribe se forman principalmente a expensas de las del Océano Atlántico (Suárez y Rivera 1998). Estas aguas son cálidas, claras, menos salinas que las del Atlántico, circulan en sentido antihorario, biológicamente pobres y muy escasas en pesca, pero a la vez albergan uno de los ecosistemas más ricos del planeta (Morales, 2004, Zavala *et al.* 2005).La

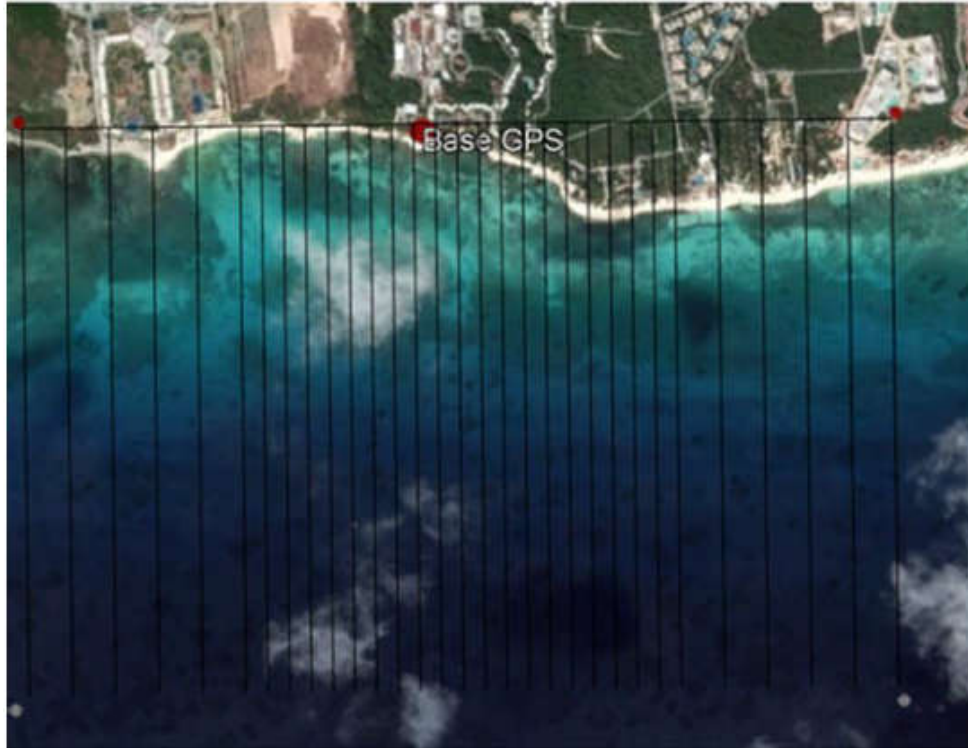
salinidad superficial de la zona costera de Quintana Roo es del orden de 36 Unidades Prácticas de Salinidad (PSU) hasta una profundidad de 30-50 m. Por debajo de esta zona isohalina se encuentran aguas con salinidad superior (ca. 37 PSU), de origen subtropical (Suárez y Rivera 1998). Por otro lado, la temperatura superficial promedio oscila entre 27 y 28 °C. En la zona arrecifal frente a la porción central de Quintana Roo se han registrado valores medios de temperatura variables (25-31°C), con promedios menores en febrero (25.5 °C) y un incremento en marzo-mayo (28.5 °C). Los mayores valores ocurren en junio y julio (30.5 °C). En esta misma zona la salinidad varía de 32-36 PSU, la menor en febrero (32.3 PSU) y la mayor en junio (35 PSU). Estos valores e intervalos podrían considerarse representativos para toda la costa de Quintana Roo en condiciones similares (Suárez y Rivera 1998).

### **Batimetría**

La batimetría o "topografía hidrográfica", definida como el estudio o profundidad del océano, se refiere al proceso de toma de datos y representación exacta del fondo marino para que puedan verse reflejados en un mapa. Dicho de otra manera, el propósito de las batimetrías, como en cualquier levantamiento, es obtener las coordenadas X, Y, Z de los puntos sumergidos. La determinación de la profundidad se denomina sondeo y consiste en medir la distancia vertical entre el nivel del agua y la superficie del fondo.

La importancia del conocimiento de esta variable radica en que la dinámica marina costera se ve ampliamente influenciada por ella. Las olas exhiben un comportamiento de rompiente conforme disminuye la profundidad y sufren cambios en sus propiedades que determinan si asienta o "lava" sedimentos.

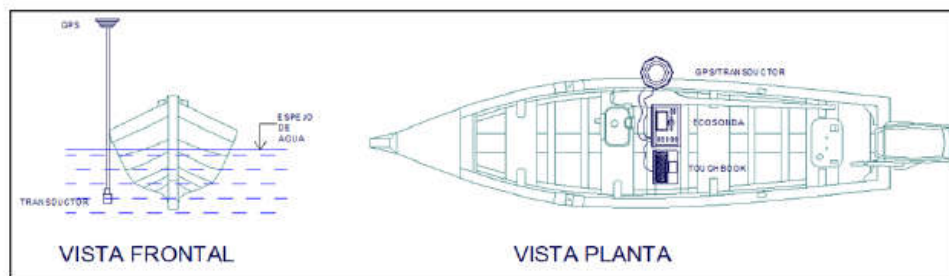
Con la finalidad de tener una representatividad de toda el área, se colectaron datos de un área superior al objetivo. Se cubrió un total de 200 ha (1000 metros de frente costero por 2000 metros mar adentro). Previo al trabajo en campo, se delimitó el área y se trazaron 31 transectos que serían recorridos. Los transectos centrales (21), que cubren el área de interés, están separados 50 metros uno del otro con la finalidad de capturar la mayor variabilidad existente. Los transectos laterales, 5 en cada extremo, están separados a 100 metros de cada uno (Figura siguiente).



Área del levantamiento batimétrico y transectos planificados

Para realizar el estudio batimétrico se utilizó una ecosonda mono haz de frecuencia múltiple marca Garmin modelo Echomap7, conectada a un sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés) con navegación cinética satelital en tiempo real (RTK, por sus siglas en inglés).

El transductor de la sonda se instaló en un costado de una embarcación de 30 pies con motor fuera de borda, apenas por debajo de la superficie del agua, en posición perpendicular al fondo marino. El transductor se conecta a la consola de la sonda y ésta a un computador portátil como se muestra en la siguiente figura.



Colocación de equipos

Para garantizar la calidad de los datos, el transductor es fijado con arneses a la borda de la embarcación (ver figura siguiente) y conectado a un computador portátil para verificar que los recorridos sean realizados con la mayor precisión y exactitud.



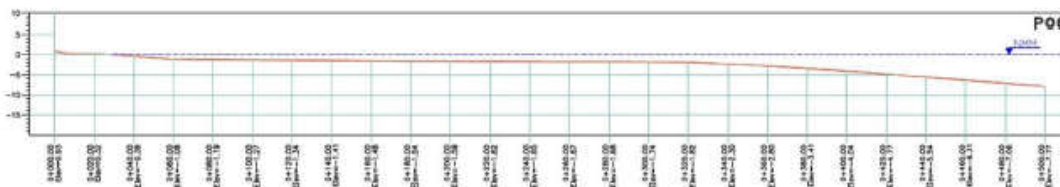
Una vez instalado el equipo y corroborar su funcionamiento, se realizó el recorrido de todos y cada uno de los transectos establecidos a una velocidad no mayor de 4 nudos.

Los datos obtenidos fueron capturados en una base de Excel y procesados para realizar la corrección de mareas utilizando las tablas de mareas publicadas por el Centro de Investigación Científica y de Educación Posterior de Ensenada (CICESE).

### ***Análisis de datos de los perfiles topográficos y batimétricos*** ***Resultados de la topobatimetría***

Los archivos procesados (tripletas X, Y, Z) tanto de topografía como de batimetría son empalmados en un único archivo, con el cual se ingresan a software de dibujo asistido por computadora (AutoCAD y SURFER v.14) para la generación de los entregables finales que consisten en mapas de isobatas, mapa de fijas del levantamiento y demás representaciones graficas (mapa de relieve de colores y mapa tridimensional); mismos que se incluyen como en el Anexo 10.1.

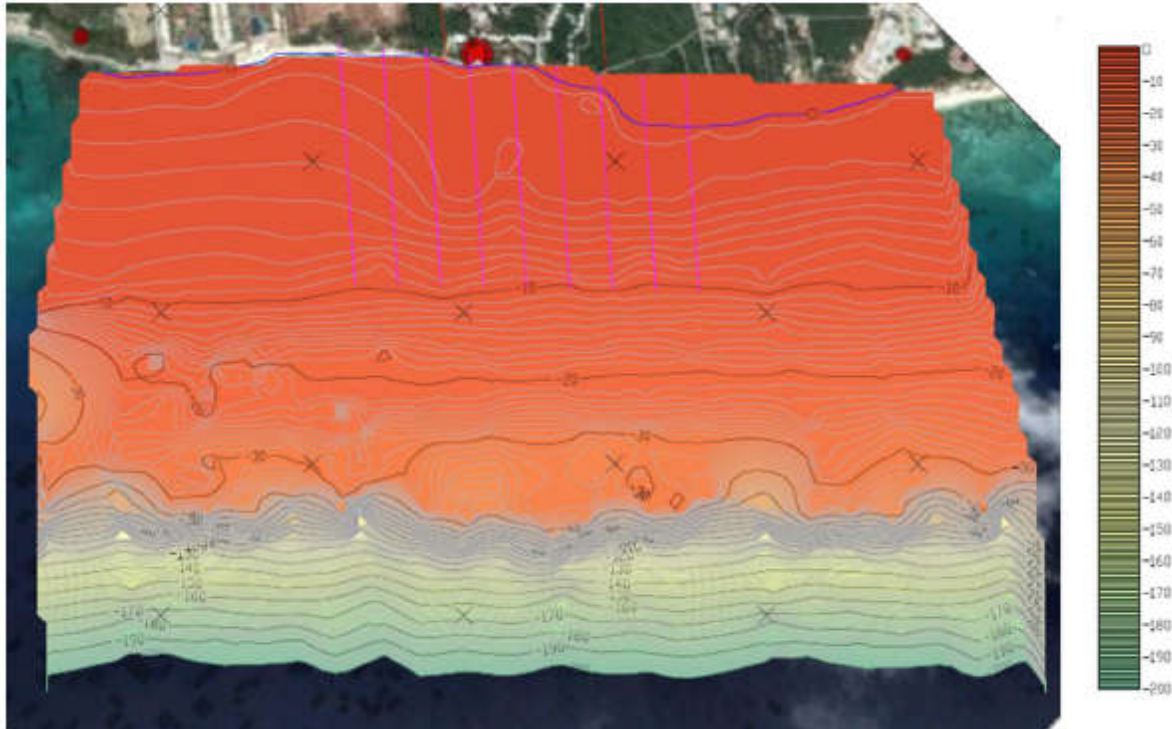
El frente del complejo hotelero presenta un pendiente suave que alcanza hasta los -2 metros de profundidad a una distancia de 250 m de la línea de costa. Esta pendiente suave del perfil genera una zona uniforme con profundidad promedio de -1.5 m, creando una playa disipativa con una zona ancha de rompiente. La figura siguiente muestra un perfil típico de la zona de estudio.



Perfil topobatimétrico



En general, el área presenta zonas con profundidades de hasta 200 m a una distancia de menor a 1.5 km de la línea de costa que forma parte del inicio del Canal de Cozumel. El incremento de profundidad a una distancia relativamente corta de la línea de costa podría explicar el efecto erosivo en la zona de playa debido a que no existen sedimentos que puedan ser acarreados hacia la orilla.

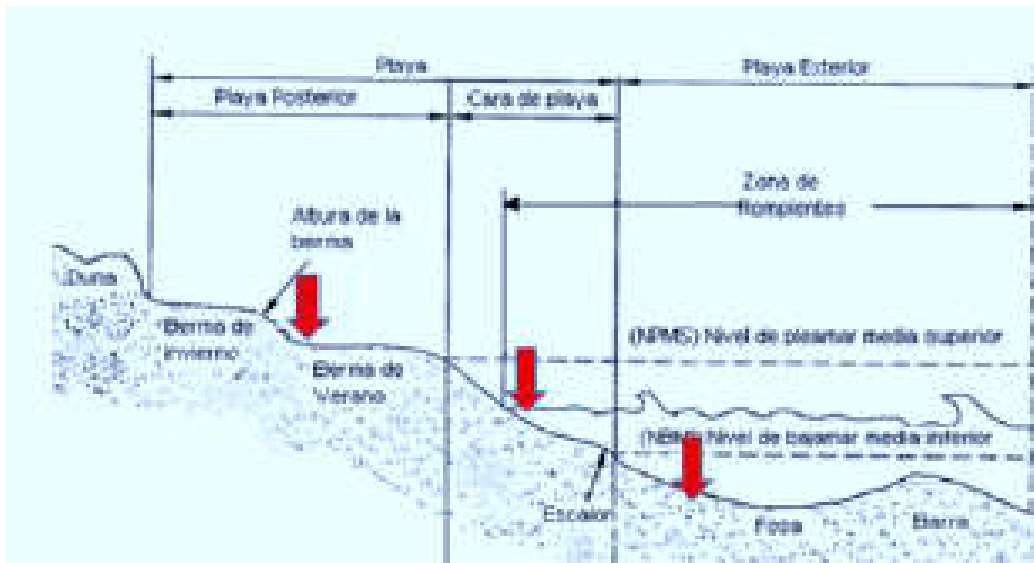


Map de curvas de nivel

## Granulometría

Los procesos de erosión, transporte y depositación de sedimentos son esencialmente controlados por la deformación de la corteza terrestre y el clima. El estudio de sedimentos de distintos ambientes permite obtener información relacionada con su origen, distancia recorrida durante el transporte, mecanismos de transporte y ambientes de depositación (González y Millan, 2016). Los resultados obtenidos a partir de diversos parámetros estadísticos permiten interpretar, expresar y compara, la distribución del tamaño del grano de un determinado tipo de sedimento de forma cualitativa y cuantitativa.

Se colectaron tres muestras de sedimento superficial a lo largo de un transecto ubicado en la porción central de la playa del complejo hotelero. Las muestras fueron colectadas en la playa posterior (berma), cara de playa (zona intermareal o de swash) y la playa exterior sumergida (Figura siguiente). Cada una de las muestras fue almacenada en bolsas de plástico y trasladadas para su análisis en laboratorio.



Muestreo de sedimentos en zona de estudio

## Procesamiento granulométrico y resultados

Las muestras de sedimento fueron enviadas a SUCOBISA, quienes son una empresa con certificado NMX-442.ONNCCE-2010. El análisis se llevó a cabo utilizando la técnica de ét tamizado mecánico que consiste en pasar una muestra seca, disgregada y pesada por tamices con diferente luz de malla (de mayor a menor) que son agitados para hacer pasar la muestra a través de ellos. Con este proceso se logra determinar el porcentaje de material que queda retenido en cada uno de los tamices y se confecciona una curva granulométrica.

Las muestras de arena están compuestas por sedimento con diámetro D50 de 0.24 mm a 0.45 mm. Los granos de menor tamaño se distribuyen en la zona de duna, mientras que losde mayor tamaño se presentan en la zona de intercambio marino (porción intermedia de la 1 playa). Los sedimentos colectados en la porción sumergida presentan valores de 0.38 mm.

De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), que describe la textura y el tamaño de las partículas del suelo, la arena presente en el área de estudio se clasifica arena fina a gruesa pobremente graduada (Anexo 10.2). Esto indica que el suelo ha perdido la mayor composición de elementos finos como consecuencia probable de un proceso erosivo.

## Caracterización del clia marítimo

La caracterización del clima marítimo es una actividad prioritaria para el diseño de toda obra marítima (Ruiz et al., 2009). Las actividades que se desarrollan en las zonas costeras como la pesca, tránsito marino, la explotación petrolera, la

construcción, la recreación y el turismo, requieren información sobre pronóstico del viento y del oleaje (Montoya-Ramírez & Osorio-Arias, 2007).

Los vientos gobiernan las grandes circulaciones oceánicas y transfieren momentum a la superficie del océano para producir corrientes marinas y olas (Franwis THOMAS et al., 2012). El oleaje a su vez aporta parámetros morfológicos e hidrodinámicos que influyen en el modelamiento de las costas y transporte de sedimento (Wright et al., 1973), por lo que el conocimiento de estos parámetros es importante para comprender los procesos costeros que se presentan en las diferentes playas de una determinada zona de estudio (Osorio et al., 2009).

Además de proporcionar datos específicos para el desarrollo y diseño de estructuras costeras, al caracterizar el clima marítimo también se obtienen datos que pueden ayudar a la toma de decisiones relacionadas a la interacción de estructura y su impacto en los procesos costeros y la morfología de la costa.

#### *Obtención de datos.*

En la gran mayoría de las regiones alrededor del mundo, principalmente en los países en vías de desarrollo, las series de datos medidos en aguas someras no son suficientemente largas para caracterizar el clima marítimo y obtener los parámetros de ola necesarios al correcto dimensionamiento de las estructuras portuarias y de protección de la costa.

Debido a que no existen datos de la zona en particular, es necesario realizar el siguiente procedimiento para la obtención de estos:

1. Determinar, en función de los datos disponibles, las características del oleaje y del viento en aguas profundas o intermedias.
2. Obtener las características del oleaje en la zona de interés mediante estudios de propagación del oleaje desde aguas profundas o intermedias.
3. Tomar un punto de una base de re-análisis realizadas a través de modelos numéricos para determinar las características en un punto en un nodo cercano a la zona de estudio.

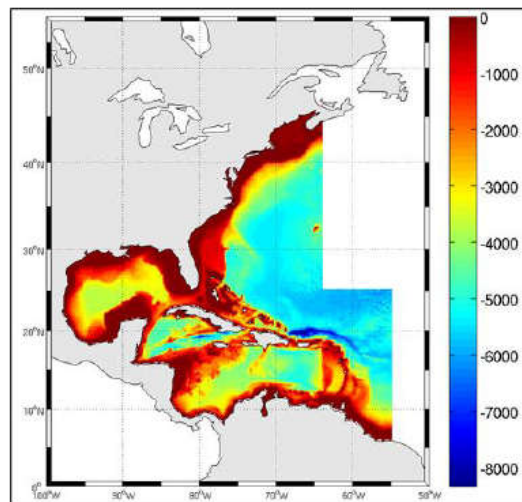
En el desarrollo de este apartado, "Análisis de clima marítimo" se obtienen las características del oleaje en el punto ubicado frente a la zona de estudio y que se compone de una serie histórica con datos de oleaje. Esta base de datos se alimenta con información de medición de viento y oleaje y corre en modo predictivo (forecast), posteriormente los datos históricos se vuelven a correr en modo retrospectivo (hindcast) incluyendo huracanes y a la base se le identifica como reanálisis.

Al obtener los datos en el nodo elegido, estos serán analizados a través de la rutina CAROL de Matlab, la cual se encarga de caracterizar los datos disponibles, a través de un análisis estadístico para conocer las características de las variables elegidas en la zona de estudio, en este caso oleaje. Posteriormente se selecciona un número determinado de casos para realizar las propagaciones a la zona de interés para poder caracterizar el oleaje y el sistema de corrientes en planta en el entorno de la zona de estudio.

Para obtener el clima marítimo, se utilizó una base de datos de olas retrospectivas, estos datos han sido validados por varios autores, entre ellos Barbariol et al. (2021); Markina et al. (2018); Stopa et al (2013), entre otros.

Los datos incluyen la altura de ola significativa, el período y la dirección máximos y abarcan datos modelados de 1979 a 2009. El modelo WaveWatch III (que es un modelo de olas de tercera generación) se fuerza con el re-análisis y re-pronóstico del Sistema de Pronóstico Climático del NCEP (CFSRR) que incluye un conjunto de datos homogéneo de vientos de alta resolución por hora, este conjunto de datos está validado para condiciones diurnas, estacionarias y de tormenta (Lukens & Berbery, 2019; Stopa et al., 2013).

La región de interés seleccionada es el Golfo de México y el Atlántico NW (Figura siguiente), la resolución de la malla es cada 10 min, con casi 10,000 celdas de cómputo (en una malla de 301 por 331).



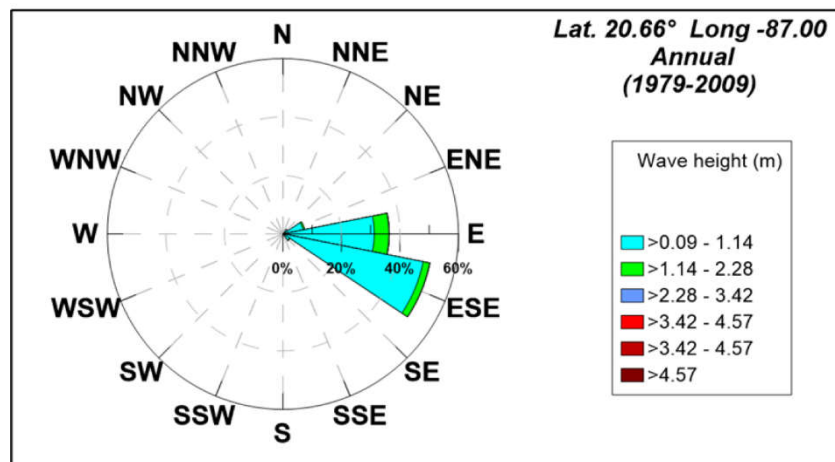
La base de datos considerada proyecta altura de olas similares a las que se presentan como resultados de fenómenos meteorológicos de gran intensidad como los huracanes. Para los objetivos del proyecto, se consideró utilizar el nodo localizado en la latitud  $20.66^{\circ}$  N y longitud  $-87.00^{\circ}$  O, el cual se encuentra a 5 km, aproximadamente, del área de estudio y posee una profundidad de 300 m.

Utilizando la relación  $h/L > 0.5$  que establece el límite de profundidades indefinidas (para una profundidad  $h$  y una longitud de onda  $L$ ), se obtuvo el valor de  $h/L = 0.61$  para oleajes extremales, calculado con el periodo de pico  $T_p$  más largo asociado de la serie y  $h/L=4.01$  para el régimen medio en su totalidad, calculado con el periodo de pico  $T_p$  medio de la serie completa. Los datos disponibles de oleaje se encuentran, por tanto, en aguas indefinidas o profundas tanto para el régimen extremal como para el régimen medio.

### Oleajes principales

Para la determinación de la distribución sectorial del oleaje y del régimen medio de altura de ola significativa ( $H_s$ ) se han definido 16 sectores de  $22.5^\circ$ . Con los datos de la serie de oleaje exterior se obtuvo la rosa de oleaje y las distribuciones de altura de ola-periodo de pico y de altura de ola-dirección.

Se puede observar que los oleajes dominantes en aguas profundas proceden principalmente del primer y segundo cuadrante, en concreto de los sectores ESE con 51.12%, E con 36.22% y EN con 7.45 de probabilidad de ocurrencia (Figura siguiente), siendo, entre los oleajes dominantes, los procedentes del E los de mayor magnitud, como se puede observar en la Tabla siguiente.

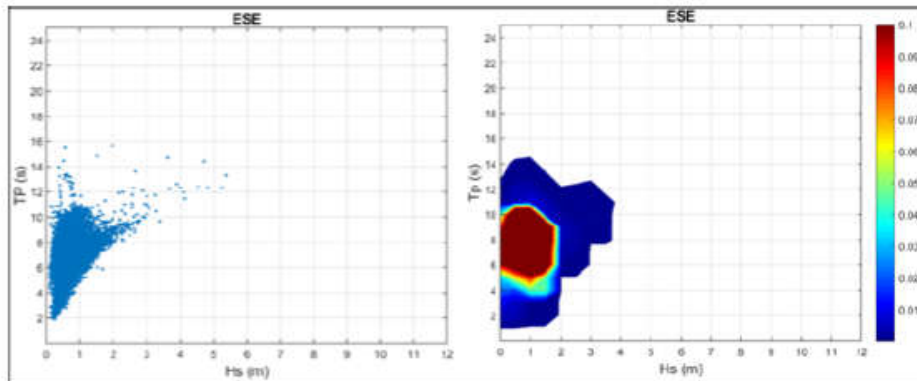


Rosa de oleajes respecto a la magnitud de  $H_s$

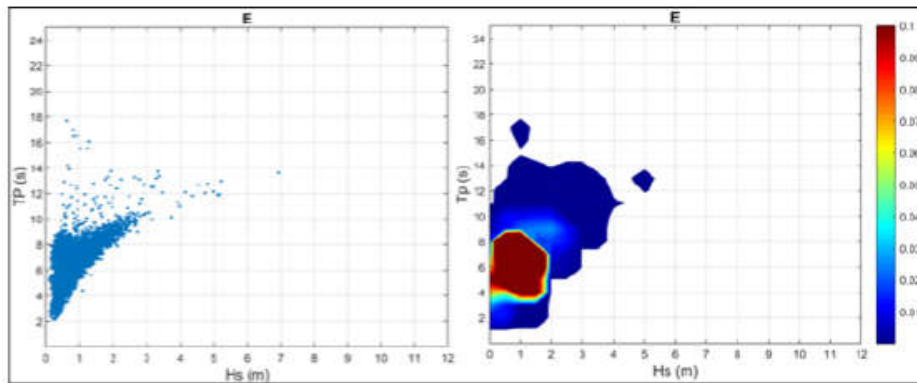
Tabla de distribución de oleajes principales

Direcciones	Prob. Dirección (%)	Hs <sub>00</sub>	Hs <sub>90</sub>	Hs <sub>99</sub>	Hs <sub>12</sub>
N	0.03	0.41	0.57	0.66	0.66
NNE	0.11	0.29	0.46	0.66	0.70
NE	1.86	0.49	0.91	1.47	1.85
<b>ENE</b>	<b>7.45</b>	<b>0.63</b>	<b>1.07</b>	<b>1.57</b>	<b>2.18</b>
<b>E</b>	<b>36.22</b>	<b>0.77</b>	<b>1.24</b>	<b>1.90</b>	<b>2.57</b>
<b>ESE</b>	<b>51.12</b>	<b>0.62</b>	<b>0.99</b>	<b>1.49</b>	<b>2.28</b>
SE	2.85	0.70	1.17	1.79	2.40
SSE	0.19	0.53	2.17	3.77	4.31
S	0.04	0.55	1.57	1.99	1.99
SSW	0.01	0.38	1.96	2.12	2.12
SW	0.01	0.24	1.96	2.26	2.26
WSW	0	0	0	0	0
W	0.01	0.52	0.78	0.84	0.84
WNW	0.01	0.26	0.44	0.45	0.45
NW	0.03	0.31	0.57	0.86	0.86
NNW	0.05	0.51	0.68	0.85	0.85

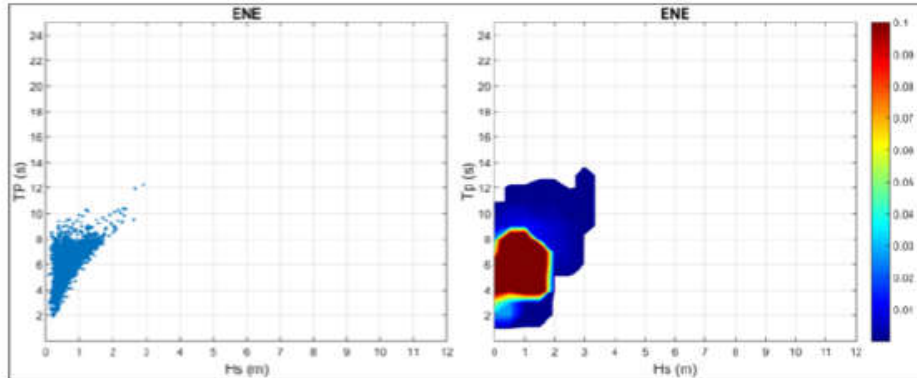
En la Figura siguiente se muestran las representaciones gráficas de las distribuciones direccionales Altura de Ola (Hs) - Periodo Pico (Tp) para las direcciones significativas anteriormente descritas. Los gráficos muestran la frecuencia de ocurrencia conjunta para altura de ola y periodo y dan una idea de cuál es el rango de periodos más probable para una determinada altura de ola. En ellos se observa que los oleajes en aguas profundas poseen un rango estrecho de períodos que son generalmente de duración media (6 - 10 segundos).



A



B



Frecuencia de ocurrencia conjunta Hs-Tp para oleaje en aguas profunda

### *Regimen extremal de oleaje*

La obtención del régimen extremal de Hs en el punto de reanálisis se ha realizado mediante el método de excedencias sobre un umbral (POT, por sus siglas en inglés), que toma como valores los que superan un determinado umbral definido, en este caso, el correspondiente al cuantil del 99.5 % (el valor estadístico que es superado un 0.5 % del tiempo). Este valor se corresponde con una altura de ola significativa de 1.96 m para la base de datos analizada.

Los valores extremos se ajustan a una de estas tres distribuciones, Gumbel, Frechet y Weibull, según el teorema de las tres colas (Basrak, 2011). Estos tres

tipos pueden ser combinados en una única expresión denominada distribución de valores extremos generalizados (GEV) con la siguiente expresión:

$$F(x) = \exp \left[ - \left( 1 - \frac{\xi(x - \mu)^{1/\xi}}{\psi} \right) \right]$$

Donde:

$\mu$ : es el parámetro de localización.

$\psi$ : es el parámetro de escala.

$\xi$ : es el parámetro de forma.

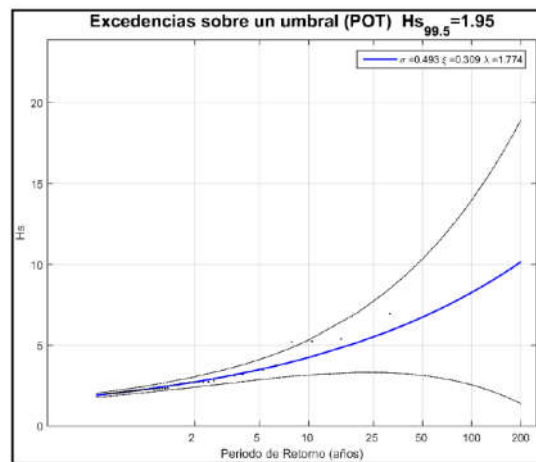
Cuando  $-0.05 < \xi < 0.05$  resulta la distribución de Gumbel.

Cuando  $\xi > 0.05$  resulta la distribución de Frechet.

Cuando  $\xi < -0.05$  resulta la distribución de Weibull.

Por tanto, se ha aplicado la distribución de extremos generalizada estableciendo un umbral de altura de ola y considerando solo las alturas de olas mayores a ese umbral (POT), para la determinación del régimen extremal escalar del parámetro de estado de mar altura de ola significativa,  $H_s$ .

En la Figura siguiente se representa el régimen extremal escalar de la altura de ola, indicándose en la gráfica los parámetros de ajuste. El valor del parámetro de forma indica que los datos se ajustan a una distribución de Frechet = 0.309).



Régimen extremal escalar de altura de ola  $H_s$

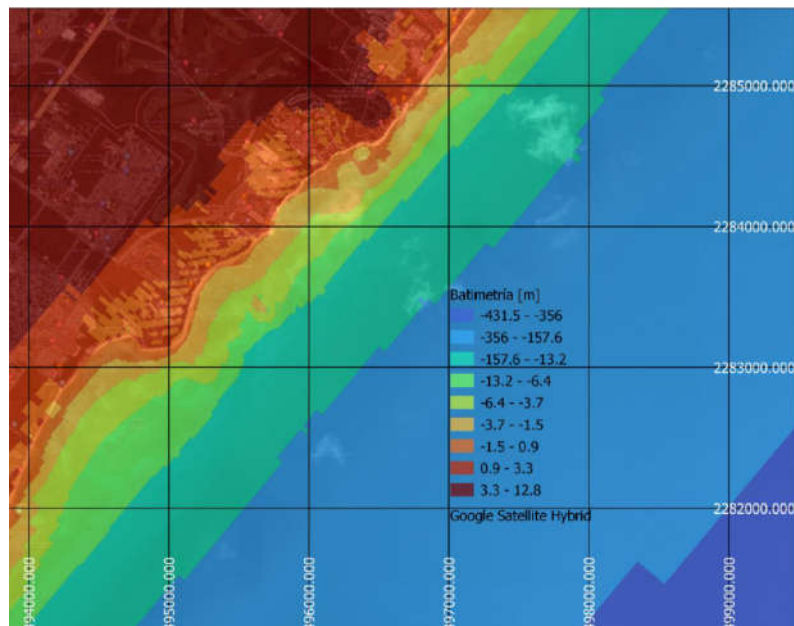
En la siguiente imagen se describen los valores de altura de ola significativa para diferentes períodos de retorno.



Periodo de retorno TR (años)	Altura de ola Hs (m)
2	2.21
5	3.49
10	4.23
25	5.51
50	6.75

### Caracterización del oleaje

Para realizar la caracterización del oleaje se utilizaron los datos de batimetría de las Cartas Náuticas SM922.4 y MX93121 (Figura 6-19), tal y como lo recomiendan Appendini et al. (2012); Enríquez et al. (2010); Medellín et al. (2018) y Ruiz-Martínez et al. (2016). Sobre esta se realizaron las propagaciones desde aguas profundas a la zona de estudio con el modelo numérico Delft3D-WAVE y Delft3D-FLOW.



Batimetría de la zona de estudio para malla global

La batimetría en aguas profundas se ve influenciada por el canal de Cozumel, llegando a profundidades de hasta 460 metros. Cerca de la zona de estudio observamos que a 500 metros se tienen zonas profundas de 10 m, lo cual representa una pendiente de 0.02, otra de las características apreciables de la zona es que hay dos puntas, Punta Xcalacoco hacia el Norte del predio, y Punta Esmeralda hacia el Sur, a 1500 m y a 900 m respectivamente.

Como primer paso para la propagación del oleaje, se hace necesario definir una malla numérica sobre la batimetría o dominio de la zona de estudio sobre el que se pretenden efectuar las propagaciones. En el modelo SWAN dichos dominios se determinan a través de mallas rectangulares o escalonadas, las cuales contienen las cotas batimétricas en cada uno de sus nodos y establecen las condiciones de contorno y forzamiento del oleaje de cada simulación.

Se determinaron las direcciones significativas para el presente estudio abarcando desde los oleajes de componente E, S, y N. Para representar adecuadamente el recorrido de los frentes de oleaje desde aguas profundas, se definieron dos mallas de propagación de resolución de 500 m x 500 m, y una de detalle con una resolución de 10 m por 10 m en la zona de interés. Las mallas son anidadas para obtener la información de la malla anterior, y propagar el oleaje hacia la más pequeña. Para las simulaciones se utilizó la altura de oleaje que abarca el percentil 90 de la serie de oleaje.

### *Casos de propagación de oleaje*

Debido al elevado coste computacional que se requiere al realizar la propagación de toda una serie de oleaje mediante modelos numéricos, se determinó efectuar tres diferentes casos de propagación tomando en consideración el análisis estadístico de oleaje. Cada uno de los estados de mar elegidos fueron propagados hasta el punto objetivo. Adicionalmente, tomando en cuenta los niveles más comunes, se consideró para cada caso, tres diferentes niveles del mar

Dirección	Hs <sub>90</sub> [m]	Tp [s]	Nivel del Mar
ENE	1.07	5	-0.125, 0.00, 0.097
E	1.24	6	-0.125, 0.00, 0.097
ESE	0.99	7	-0.125, 0.00, 0.097

Datos obtenidos de la estadística del oleaje para simulaciones de propagación

### *Transformación del oleaje*

A medida que un tren de olas se acerca a la costa el efecto del fondo empieza a hacerse palpable y es posible observar un incremento en la altura de la ola y una reducción en su longitud. A este proceso se le conoce como asomeramiento y tiene un efecto en la longitud y velocidad de las ondas oceánicas.

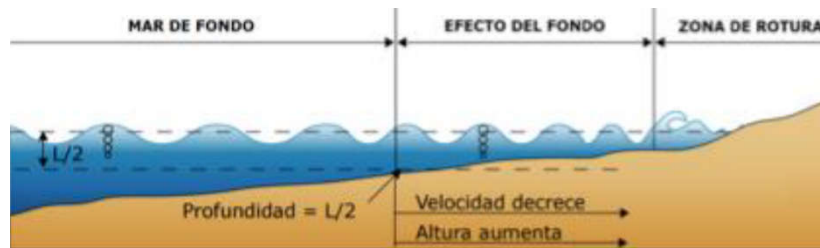
Cuando la ola se encuentra con un obstáculo en la superficie, se modifica según los fenómenos de difracción y reflexión; también se puede modificar por un obstáculo sumergido, alterándose el movimiento orbital de las partículas hasta una cierta profundidad.

La refracción es el cambio de dirección que experimenta la ola, cuando esta se acerca a una zona de mayor profundidad, por ejemplo, una playa. El tren de olas se frena, la altura de la ola disminuye y su dirección de propagación se modifica.

Por otro lado, la reflexión se produce cuando la ola choca con un obstáculo vertical (barrera) causando que la ola se refleje con muy poca pérdida de energía.

La difracción es la dispersión de la energía del oleaje de sotavento de una barrera, permitiendo la aparición de pequeños sistemas de olas en las aguas protegidas por el obstáculo.

La disminución de la profundidad juega un papel importante en el proceso de transformación de las olas. Uno de los mecanismos más importantes de disipación de energía es la rotura, la cual se produce cuando la altura de la ola coincide con la profundidad causando que la ola pierda estabilidad y rompa una gran cantidad de energía en forma de turbulencia, fundamentalmente (Figura siguiente).



Esquema de la rotura del oleaje por fondo. La profundidad disminuye causando que la velocidad decrezca, la altura de lo ola aumente y rompo con lo consecuente pérdida de energía.

Para modelar los principales procesos de transformación que sufre el oleaje se utilizó la siguiente fórmula, la cual describe la evolución del espectro del oleaje (Hasselmann et al., 1973).

$$\frac{\partial}{\partial t}(N) + \frac{\partial}{\partial x}c_x N + \frac{\partial}{\partial y}c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma}c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta}c_\theta N = \frac{S}{\sigma}$$

Donde:

$N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta)/\sigma$  la densidad de Acción es igual a la densidad de Energía, entre la frecuencia

$c_x; c_y$  Velocidades de propagación en x, y.

$\sigma$  Frecuencia Relativa

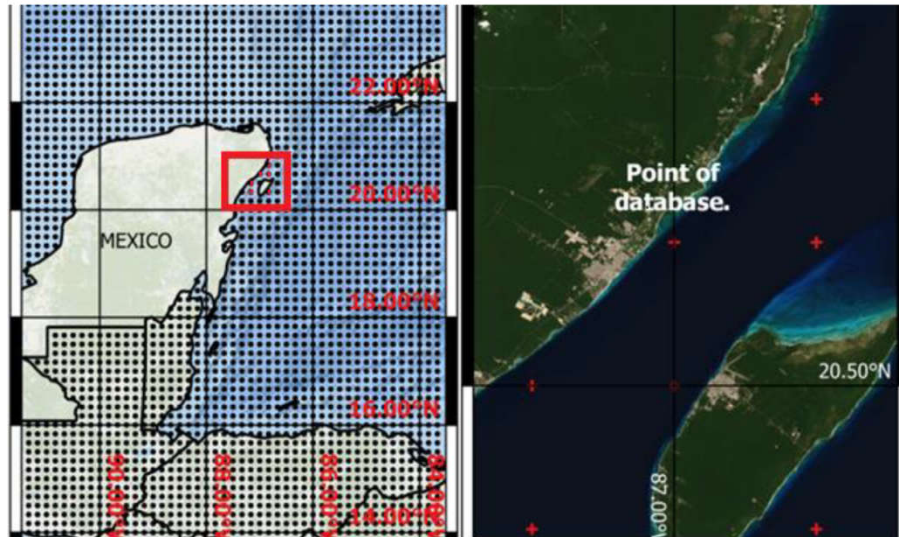
$\theta$  Dirección de la ola

$S(\sigma, \theta)$  Fuente, en función de densidad de energía (generación, disipación)

El primer término de la ecuación representa la tasa de cambio local de la densidad de Acción en el tiempo, el segundo y tercer término representan la propagación de la acción en el espacio geográfico, el cuarto termino representa el cambio en la frecuencia relativa debido a las variaciones en la profundidad y las corrientes, el quinto termino representa la refracción inducida por la profundidad y las corrientes. Todos estos tomados de la teoría lineal del oleaje

Los datos fueron obtenidos de los nodos del modelo WAVEWATCH III (WWIII) (Figura 6-24), desarrollado por la Marine Modeling and Analysis Branch (MMAB)

de el Environmental Modeling Center (EMC) de el National Center for Environmental Prediction (NCEP).



Modelo Wavewatc III. Izq. Distribución de nodos de información (bae de datos). Der. Nodos seleccionados para obtención datos del estudio.

### *Resultados de caracterización de oleaje*

La zona de estudio se encuentra lejos de las dos salientes antes mencionadas, Punta Xcalacoco y Punta Esmeralda, por lo que no cuenta con protección natural quedando expuesta a los efectos del oleaje, el cual llega sin atenuación.

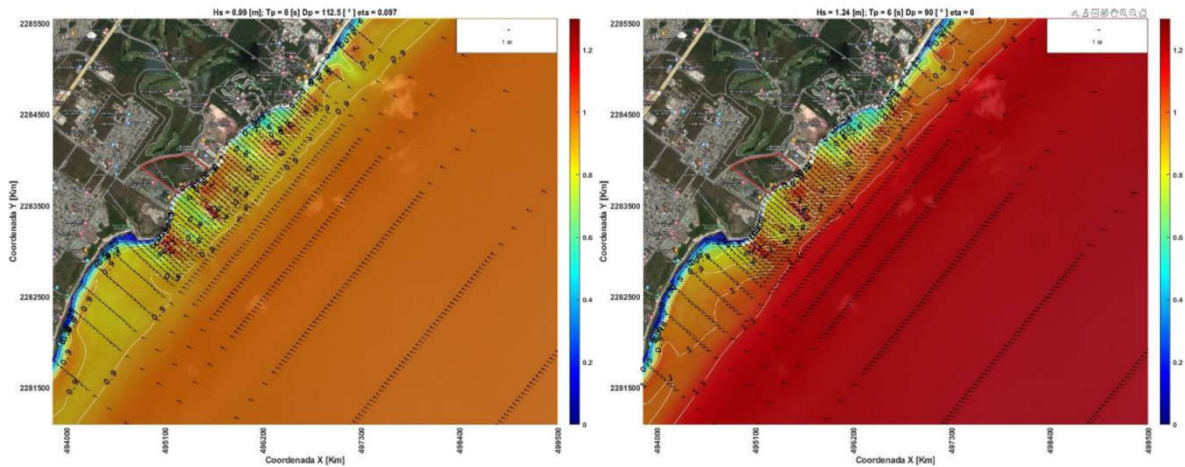
Precisamente la falta de protección que puede otorgar una estructura natural o artificial (como un arrecife natural o artificial) produce que las condiciones de oleaje en la zona sean más intensas, si bien para oleaje que viene de la dirección ENE las alturas de ola frente a la zona rondan los 0.5-0.6m (poco intenso y con baja probabilidad de ocurrencia de acuerdo con estudio de oleaje estadístico), para las condiciones con direcciones del E y del ESE (dirección más probable) las alturas de ola frente a la costa son entre los 0.5-0.8m y 0.750.80m respectivamente.

Otro punto para considerar como influencia el canal de Cozumel, observamos que la profundidad de 10 metros se presenta alrededor de los primeros 500 metros a partir del predio, y posteriormente cerca del kilómetro hay una profundidad de 100 metros. De los resultados observamos que la ola comienza a perder energía desde la profundidad de 10 m, y debido a que no hay zonas de protección la disminución de la altura es baja.

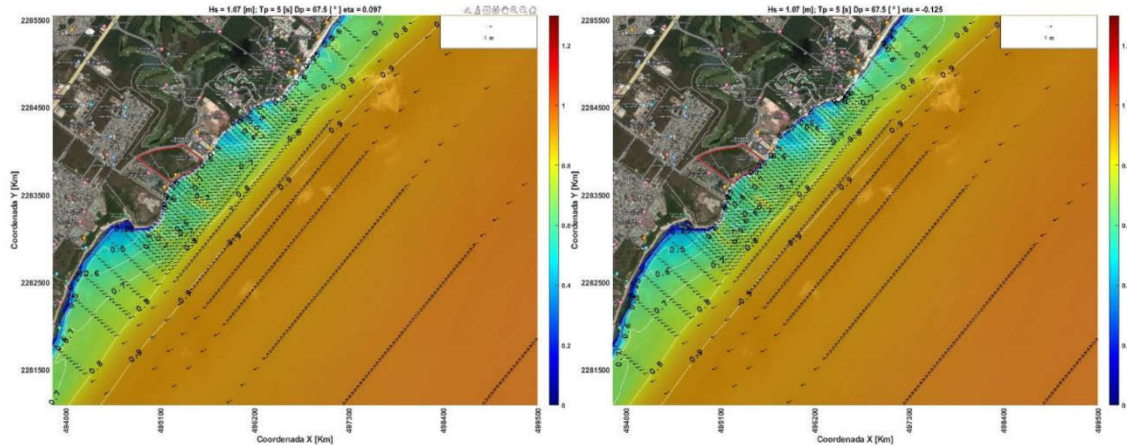
El oleaje se disipa de manera casi uniforme sobre la costa, aunque vemos picos de energía en tres zonas, la primera es en punta Xcalacoco, donde el oleaje rompe directamente sobre la saliente, las siguientes dos zonas se encuentran en

el predio, la primera se extiende de punta Xcalacoco hacia la mita del predio, y la última zona es hacia el final del predio.

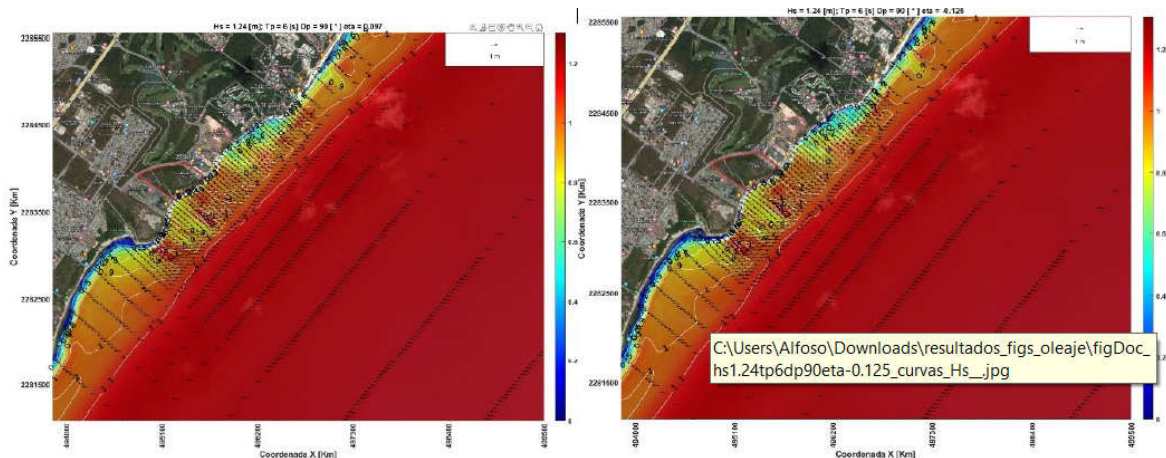
Se realizó la propagación con dirección ENE, con una altura de ola en aguas profundas de 1.07 m y un periodo de 5 s, para tres diferentes niveles de marea, -0.125, 0.0 y 0.097 (Figura siguiente), esto para modelar el comportamiento del oleaje a distintos niveles de marea. De los resultados observamos que hay pocas diferencias entre los niveles, debido a que el rango de marea semidiurno es menor a los 25 cm. La diferencia principal es donde rompe el oleaje, para el caso del nivel de marea a 0.097 el oleaje rompe unos metros más al frente, en comparación con marea baja. Se puede decir que el oleaje comienza a sentir el fondo después del canal de Cozumel. Para la zona de la costa observamos concentración de oleaje en la zona de punta Xcalacoco, el oleaje en esta zona es alrededor de los 0.75 m, y disminuye hacia la zona de estudio.



De igual manera se realizó la propagación con dirección ESE, con una altura de ola en aguas profundas de 0.99 m y un periodo de 8 s, para los tres diferentes niveles de marea, -0.125, 0.0 y 0.097 (Figura siguiente), para conocer el comportamiento del oleaje en la zona, de igual manera se observa poca diferencia entre los diferentes niveles, ya que el rango de marea semidiurno es menor a los 25cm. Para esta dirección se observa que el oleaje comienza a sentir fondo donde termina el canal de Cozumel. El oleaje se observa que se disipa de manera uniforme, pero con alturas de oleaje frente a la costa (cerca de los 300 m) de hasta 1 m de altura, es decir, debido al fenómeno llamado refracción, el oleaje toma un poco más de fuerza antes de disiparse más adelante.



Al propagar el oleaje de la dirección E, con una altura de ola en aguas profundas de 1.24 m y un periodo de 6 s, para los tres diferentes niveles de marea,  $-0.125$ ,  $0.0$  y  $0.097$  (Figura 6-27), se observan las mayores alturas para todos los casos, la altura de ola al final del canal de Cozumel ronda los 1.1 m, y cerca de la zona de estudio (entre 300-400 m) la altura de ola disminuye a los 0.90 m.



La presencia de arrecifes artificiales generará que el oleaje rompa sobre esta estructura y desarrolle un incremento en el nivel medio del mar de manera local (conocido como wave setup). El cual establece un gradiente de presión que modifica las corrientes medias en la zona de sombra que generan las estructuras.

Para mayores detalles sobre las características de la zona de estudio y modelación oceanográfica del área favor de dirigirse al estudio completo que se presenta en la sección de anexo de esta manifestación de impacto ambiental.

#### IV.2.2 Aspectos bióticos

Si bien el SA comprende una parte terrestre, esta es mínima y su mayor superficie se encuentra alterada tanto por desarrollos hoteleros como por los cambios de uso de suelo que estos han generado reemplazando la flora nativa por palmas de coco y otras de ornato. Entre la escasa vegetación natural que permanece en el SA podemos encontrar algunos ejemplares de manglar en el extremo Sur, manchones con vegetación característica de duna costera y parte de selva tal como se describe a continuación.

**Selva baja costera.** Se distribuye detrás de la franja de vegetación de duna y se trata de una Comunidad densa en donde es posible determinar la existencia de los tres estratos.

El estrato arbóreo se observa mejor representado, con un dosel generalmente cerrado debido a la importancia de la cobertura de copa de los individuos arbóreos (4 m en promedio, superior a la de matorral costero), aunque en algunas zonas se observa abierto, principalmente en la cercanía del ecotono con Matorral costero. Los ejemplares registrados durante el inventario florístico presentan un diámetro normal promedio de 13.56 cm, con un máximo registrado de 27.10 cm para la especie *Metopium brownei* (chechen) y un mínimo registrado de 10 cm para las especies *Thrinax radiata* (chit). La altura promedio del estrato es de 5.09 m, con un máximo registrado de 7 m para la especie *Metopium brownei* (chechen); y un mínimo registrado de 2.5 m para la misma especie.

En el caso del estrato arbustivo se determinó que presenta una distribución más o menos escasa, pues acusa una fuerte competencia por el espacio y los nutrientes con el estrato superior. Se encuentra representado por individuos de porte bajo y escasa cobertura. En promedio presenta un diámetro de 7.2 cm con un máximo registrado de 9.9 cm para la especie *Thrinax radiata* (chit); y un mínimo registrado de 5 cm para la especie *Coccothrinax readii* (nacax). Finalmente se determinó que la altura promedio es de 3.9 m, con un máximo registrado de 6 m para la especie *Thrinax radiata* (chit) y un mínimo registrado de 2 m para la especie *Coccothrinax readii*.

En cuanto al estrato herbáceo, se observó escaso y poco representativo. Está compuesto en forma predominante por plántulas de especies nativas, producto de la regeneración natural, aunque se observa una baja tasa de regeneración natural debido a los escasos nutrientes que existen en los suelos de tipo Arenosol identificados al interior del sitio del proyecto. En promedio la cobertura de copa de los individuos es de 16 cm con una altura promedio de 25 cm.

Las especies que integran la Selva baja presentan una distribución más o menos homogénea, A continuación se presenta el listado taxonómico de las especies que componen este tipo vegetal.

No	Familia	Especie	Nombre común	Forma de vida
1	Acanthaceae	<i>Bravaisia tubiflora</i>	Hulub	Herbácea

2	Anacardiaceae	<i>Metopium brownei</i>	Chechen	Árborea
3	Arecaceae	<i>Coccothrinax readii</i>	Nacax	Árborea-arbustiva
4	Arecaceae	<i>Thrinax radiata</i>	Chit	Árborea- herbácea
5	Asteraceae	<i>Flaveria linearis</i>	Leguminosa flor amarilla	Herbácea
6	Asteraceae	<i>Melanthera nevea</i>	Boton blanco	Herbácea
7	Bataceae	<i>Batis maritima</i>	Saladillo	Arbustiva
8	Boraginaceae	<i>Cordia sebestena</i>	Siricote de playa	Árborea-arbustiva
9	Cactaceae	<i>Acanthocereus tetragonus</i>	Nopal de cruz	Herbácea
10	Capparaceae	<i>Capparis incana</i>	Tadzi	Árborea
11	Celastraceae	<i>Rhacoma crossopetalum</i>	Rhacoma	Arbustiva
12	Chrysobalanaceae	<i>Chrysobalanus icaco</i>	Icaco	Arbustiva
13	Cyperaceae	<i>Cladium jamaicense</i>	Zacate cortadera	Herbácea
14	Euphorbiaceae	<i>Chamaesyce prostrata</i>	Lechecillo	Herbácea
15	Fabaceae	<i>Pithecellobium keyense</i>	Tziw'che	Arbustiva
16	Moraceae	<i>Ficus cotinifolia</i>	Higo kopó	Árborea
17	Passifloraceae	<i>Passiflora foetida</i>	Maracuyá silvestre	Bejuco
18	Poaceae	<i>Paspalum sp.</i>	Paspalum	Herbácea
19	Polygonaceae	<i>Coccoloba uvifera</i>	Uva de mar	Árborea
20	Sapotaceae	<i>Bumelia retusa</i>	Mulche	Árborea

**Duna costera.** Esta comunidad vegetal se encuentra compuesta por manchones aislados y dispersos de vegetación herbácea rastrera y arbustiva principalmente, distribuida a lo largo de la franja costera del SA.

Se trata de una zona en constante intercambio y dinámica, debido a la acumulación y arrastre de arena que ocurre en forma constante por la acción del viento. No existe un estrato arbóreo, y el estrato arbustivo se encuentra representado por algunos individuos aislados y dispersos de baja altura y escasa cobertura.

De acuerdo con el inventario florístico realizado en la duna costera, se determinó que esta comunidad vegetal se encuentra compuesta por un total 16 las cuales se citan en la siguiente tabla.

No.	Familia	Especie	Nombre común	Forma de vida
1	Aizoaceae	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	Verdolaga de playa	Herbácea
2	Amaryllidaceae	<i>Hymenocallis littoralis</i>	Lirio de playa	Herbácea
3	Asteraceae	<i>Ambrosia hispida</i>	Margarita de playa	Herbácea
4	Bataceae	<i>Batis maritima</i>	Saladillo	Arbustiva
5	Boraginaceae	<i>Tournefortia gnaphalodes</i>	Lavanda de mar	Arbustiva
6	Brassicaceae	<i>Cokile maritima</i>	Oruga de mar	Herbácea
8	Chrysobalanaceae	<i>Chrysobalanus icaco</i>	Icaco	Arbustiva
9	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia mesembrianthemifolia</i>	Siis ja'	Herbácea
10	Fabaceae	<i>Canavalia rosea</i>	Frijol de playa	Herbácea
11	Goodeniaceae	<i>Scaevola plumieri</i>	Arbusto de mar	Arbustiva
12	Leguminosae	<i>Pithecellobium keyense</i>	Tziw'che	Arbustiva
13	Poaceae	<i>Sorobolus virginicus</i>	Ch'ilibil su'uk	Herbácea
14	Poaceae	<i>Cenchrus incertus</i>	Cadillo	Herbácea
15	Polygonaceae	<i>Coccoloba uvifera</i>	Uva de mar	Árborea
16	Surianaceae	<i>Suriana maritima</i>	Romero de mar	Arbustiva

**Manglar.** Son comunidades vegetales arbóreas que se desarrollan a lo largo de las costas principalmente, y llegan a alcanzar hasta 5 metros de altura. Se



encuentra compuesta por especies hidrófilas adaptadas a zonas inundables con diferente estacionalidad, así como a distintos grados de salinidad. Es uno de los ecosistemas poco representados dentro del sistema ambiental ya que sólo existe un pequeño mancho de humedal en el extremo Sur en donde los ejemplares de mangle no son abundantes. Si bien todas las especies que la componen la vegetación de manglar del estado de Quintana Roo se encuentran protegidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, dentro del SA sólo se registraron ejemplares de *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), *Rhizophora mangle* (mangle rojo) y *Conocarpus erectus* (botoncillo). No se omite señalar que este tipo de vegetación ni ninguna otra serán afectadas por el desarrollo del proyecto que nos ocupa.

### **Fauna registrada para el SA en su parte terrestre**

Como se ha comentado, dentro de área está prácticamente urbanizada toda vez que toda la zona se encuentra ocupada por desarrollos turísticos y en virtud de los cual la presencia de fauna es escasa a no sé de algunas iguanas que habitan dentro de las edificaciones y aves que sobre vuelan la zona. No obstante, siendo que en el SA aún hay espacios que conservan su vegetación nativa, se optó por colocar trampas de diversos tipos (cámaras, Sherman, Tomahawk, embudos de malla y cercos de desvío) buscando registrar el mayor número de ejemplares terrestres posibles dentro de estas áreas.

El muestreo se realizó en dos temporadas del año al igual que el marino que se expondrá más adelante. Se colocaron 20 trampas cebadas con una mezcla de avena y crema de cacahuete y otras con sardina para atraer a los mamíferos menores. A la par se colocaron 8 trampas Tomahawk que fueron también cebadas con los mismos atrayentes. Las trampas se dispusieron aleatoriamente en las áreas con vegetación nativa y también cercanas a los desarrollos. Una vez *in situ*, las trampas fueron revisadas tres veces al día durante 5 días; de ser necesario el cebo se reemplazaba y en caso de alguna captura se identificaba y liberaba de forma inmediata en organismo.

Durante los mismos días y con la finalidad de abarcar la mayor superficie de superficie posible, se implementaron 4 cercos de desvío a base de estacas, plástico negro y cubetas los cuales fueron colocados a manera de cruz y eran revisados con la misma periodicidad. Cada línea del cerco fue de 20 m lineales. Asimismo, se contó con 6 embudos de malla y 4 cámaras trampa a una altura de 40 cm del suelo para poder fotografiar aquellos organismos que se desplazaban sobre algunas áreas libres entre la vegetación, las cámaras permanecieron durante una semana.

Para caracterizar la avifauna se utilizó el método de conteo por puntos, para ello se seleccionaron 6 sitios, en cada punto se realizaron observaciones de 20 minutos durante los mismos 4 días que el resto de las trampas. Las observaciones se hicieron intercaladas en cuanto a horarios, un día en la

mañana y otro al atardecer y así sucesivamente. En caso de avistamiento de organismos durante el recorrido de revisión de las trampas, éstos también fueron considerados. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

No.	Grupo	Familia	Especie	Nombre común
1	Aves	Columbidae	<i>Columbina talpacoti</i>	Tortolita
2	Aves	Cathartidae	<i>Cathartes aura</i>	Zopilote cabeza roja
3	Aves	Icteridae	<i>Icterus cuculatus</i>	Calandria
4	Aves	Icteridae	<i>Quiscalus mexicanus</i>	Zanate
5	Aves	Mimidae	<i>Mimus gilvus</i>	Cenzontle
6	Aves	Tyrannidae	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Xtakay
7	Aves	Fregatidae	<i>Fregata magnificens</i>	Fragata
8	Reptiles	Iguanidae	<i>Ctenosaura similis</i>	Iguana gris
9	Reptiles	Phrynosomatidae	<i>Sceloporus chrysostictus</i>	Lagartija espinosa
10	Mamíferos	Procyonidae	<i>Procyon lotor</i>	Mapache
11	Crustáceos	Paguridae	<i>Pagurus sp.</i>	Cangrejo ermitaño

De acuerdo con los resultados se tiene que dentro de las áreas naturales del SA se registraron 11 especies, siendo las aves las más abundantes con 7 especies, seguido por los reptiles por 2 y mamíferos y crustáceos 1 especie.

Cabe señalar que su determinación se realizó como sigue: La herpetofauna mediante la recopilación de claves dicotómicas de Flores-Villela *et. al* (1995), los cambios taxonómicos fueron siguiendo a Flores-Villela y Canseco-Márquez (2004), Frost *et. al* (2006), Wüster *et. al* (2005) y Smith (2005). La mastofauna fue determinada según Medellín *et. al* (1997), Wilson y Reeder (1993), Arita y Ceballos (1997) y Reid (1997), mientras que los cambios taxonómicos fueron siguiendo a Ceballos *et. al* (2005) y Ramírez-Pulido *et. al* (2005). Las aves fueron identificadas mediante las guías de Howell y Webb (1995) y Edwards (2003), la taxonomía y nombres actuales se realizaron según la American Ornithologist' Union (AOU) 1998. Las especies endémicas se registraron según Flores-Villela, 1993 para el caso de la herpetofauna. Ceballos, *et. al* (2005) para los mamíferos, la NOM-059-SEMARNAT-2010 para todas las clases y Howell, *et. al* (1995) para las aves.

Por lo que toca a la parte marina, a continuación se presenta una evaluación de las condiciones biológicas que prevalecen en el SA definido para el proyecto, a través de la caracterización biológica y ecológica de la biota marina que habita en el lugar con el fin de determinar la condición actual y emitir elementos de juicio para su manejo. Para lo anterior se realizó un muestreo dentro del cual se tomo como límite el SA definido para el proyecto. Entre los objetivos del levantamiento fueron el identificar los ambientes marinos de la zona, su ubicación y características, la condición de los grupos taxonómicos presentes, entre otros.

## **Metodología para el medio marino**

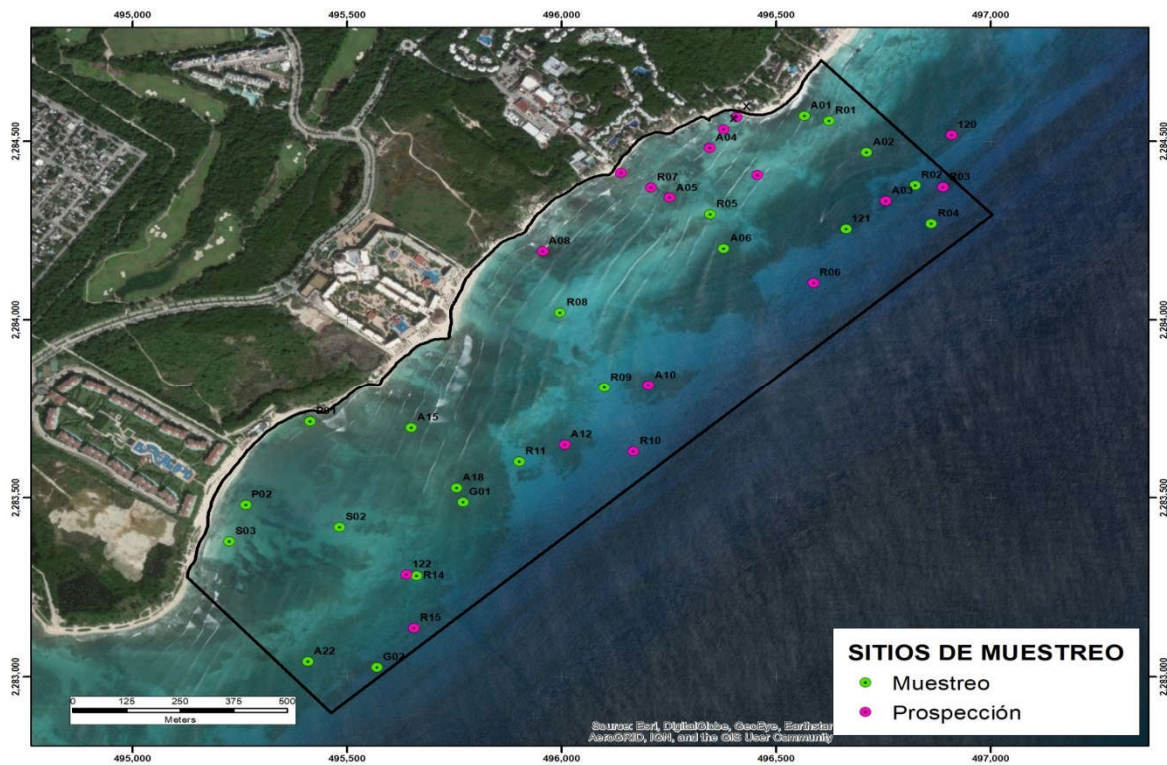
### ***Muestreo de tipos de ambientes marinos***

Para identificar y delimitar los tipos de ambientes, así como generar un mapa que represente la estructura general de la biota marina, se realizó un muestreo en dos épocas del año, la primera en junio (lluvias) y la segunda en el mes de noviembre (secas); todas estas en 38 puntos de muestreo (21 puntos de muestreo intensivo y 17 de prospección). Con el fin de tener un muestreo representativo del Área de Estudio, el número y distribución de los puntos de muestreo se determinó tomando como base los nueve tipos de ambientes del mapa de Cobertura Bentónica de los Ecosistemas Marinos del Caribe Mexicano: Cabo Catoche-Xcalak (Cerdeira-Estrada *et al.* 2018). Este mapa representa la distribución espacial y extensión de la cobertura bentónica de los ecosistemas marinos del Caribe mexicano, cubriendo las aguas someras del sistema arrecifal mesoamericano entre Cabo Catoche y Xcalak. Este se generó a partir del análisis conjunto de las imágenes satelitales WorldView-2, la reflectancia de fondo, el relieve submarino, la batimetría satelital, la aplicación de técnicas apoyadas con el conocimiento de expertos, y del análisis de datos de campo. En dicho mapa de cobertura bentónica se definieron nueve tipos de ambientes: 1) sedimentos; 2) comunidad de pastos marinos; 3) pastos marinos y macroalgas; 4) macroalgas; 5) estructura coralina; 6) tocones y pedacera de coral; 7) octocorales; 8) octocorales y corales; y 9) arrecife rocoso.

Coordenadas UTM de los sitios de muestreo para el proyecto

Tipo de muestreo	ID	Coordenadas UTM	
		X	Y
Muestreo intensivo	121	496,664.00	2,284,254.00
	A01	496,567.00	2,284,572.00
	A02	496,712.00	2,284,469.00
	A06	496,379.00	2,284,200.00
	A15	495,650.00	2,283,696.00
	A18	495,756.00	2,283,527.00
	A22	495,409.00	2,283,042.00
	G01	495,771.00	2,283,487.00
	G02	495,570.00	2,283,026.00
	P01	495,414.00	2,283,713.00
	P02	495,264.00	2,283,480.00
	R01	496,624.00	2,284,558.00
	R02	496,825.00	2,284,377.00
	R04	496,863.00	2,284,270.00
	R05	496,347.00	2,284,296.00
	R08	495,997.00	2,284,020.00
	R09	496,100.00	2,283,809.00
	R11	495,902.00	2,283,601.00
	R14	495,663.00	2,283,281.00
S02	495,483.00	2,283,417.00	
S03	495,226.00	2,283,377.00	
Prospección	120	496,910.00	2,284,518.00
	122	495,639.00	2,283,285.00
	A03	496,756.00	2,284,333.00
	A04	496,346.00	2,284,482.00
	A05	496,253.00	2,284,343.00
	A08	495,957.00	2,284,192.00
	A10	496,203.00	2,283,815.00
	A12	496,008.00	2,283,648.00
	R03	496,890.00	2,284,372.00
R06	496,588.00	2,284,104.00	

Tipo de muestreo	ID	Coordenadas UTM	
		X	Y
	R07	496,209.00	2,284,371.00
	R10	496,168.00	2,283,629.00
	R15	495,656.00	2,283,135.00
	X	496,378.00	2,284,534.00
	X	496,408.00	2,284,568.00
	X	496,457.00	2,284,405.00
	X	496,139.00	2,284,412.00



Sitios de muestreo de tipos de ambientes en el SA. En este muestreo, se registró información sobre el tipo de ambiente, tipo de sustrato, profundidad, comunidad bentónica dominante, así como un levantamiento de la lista de especies de los principales grupos taxonómicos.

## Muestreo de la biota marina en el SA

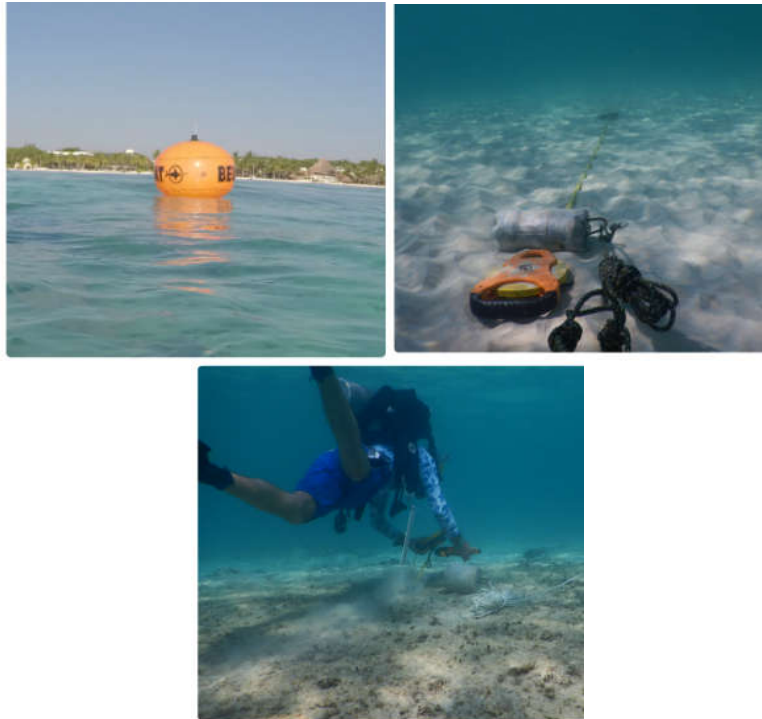
Para identificar a la biota marina que existe en esta poligonal se realizó un muestreo intensivo en las mismas dos épocas del año. Para lo anterior se utilizaron 21 transectos de 50m de longitud siguiendo las recomendaciones de Gutiérrez *et al.* 1993, 1995, Lara *et al.* 1994a, 1994b, Padilla *et al.* 1994, Loya 1972. El extremo de cada transecto representó la coordenada del punto de muestreo utilizado para generar el mapa de ambientes. Los sitios de muestreo fueron los mismos para las dos épocas del año. A continuación, se incluyen las coordenadas de los sitios de muestreo.

Coordenadas UTM de los sitios de muestreo en el SA.

Tipo de muestreo	ID	Coordenadas UTM	
		X	Y
Muestreo intensivo	121	496,664.00	2,284,254.00
	A01	496,567.00	2,284,572.00

Tipo de muestreo	ID	Coordenadas UTM	
		X	Y
	A02	496,712.00	2,284,469.00
	A06	496,379.00	2,284,200.00
	A15	495,650.00	2,283,696.00
	A18	495,756.00	2,283,527.00
	A22	495,409.00	2,283,042.00
	G01	495,771.00	2,283,487.00
	G02	495,570.00	2,283,026.00
	P01	495,414.00	2,283,713.00
	P02	495,264.00	2,283,480.00
	R01	496,624.00	2,284,558.00
	R02	496,825.00	2,284,377.00
	R04	496,863.00	2,284,270.00
	R05	496,347.00	2,284,296.00
	R08	495,997.00	2,284,020.00
	R09	496,100.00	2,283,809.00
	R11	495,902.00	2,283,601.00
	R14	495,663.00	2,283,281.00
	S02	495,483.00	2,283,417.00
	S03	495,226.00	2,283,377.00

Durante el muestreo en campo, se realizaron recorridos para ubicar la coordenada de inicio del transecto; una vez detectado el punto, se instaló una boya en el extremo del transecto, amarrada a un peso muerto. El transecto, por lo general, se colocó paralelo a la línea de costa y en dirección noreste o suroeste, dependiendo de la zona de interés a muestrear.



Recorridos en búsqueda de la coordenada programada, así como instalación del transecto a través de boya, peso muerto y cinta métrica.

Los principales grupos taxonómicos muestreados fueron: 1) Escleractinios (corales duros), 2) Gorgonáceos (corales blandos), 3) Vegetación marina (macroalgas y pastos marinos), 4) Ictiofauna (peces arrecifales), y, 5) Invertebrados.

Durante los muestreos se tomaron registros de las especies, el número de individuos por especie; también se estimó el tamaño de los individuos y se registró la condición de los mismos, para detectar mortalidad o algún otro tipo de daño, así como la morfología de las colonias

Para los gorgonáceos (corales blandos), ictiofauna e invertebrados, se aplicó un metro de ancho a cada lado del transecto de 50 m; respecto a los peces, se registraron además los presentes en la columna de agua. Mientras que para la biota bentónica se tomaron datos a dos metros a cada lado del transecto. Para el caso de la vegetación marina (macroalgas y pastos marinos) se colocaron cuadrantes de 625 cm<sup>2</sup> cada 10 m sobre el transecto; el cuadrante se dividió cada 5x5 cm y se contó el número de cuadros que ocupa cada especie.



Ejemplo de imágenes tomadas durante el muestreo

La identificación de especies se determinó *in situ* y se utilizaron claves y guías de campo para escleractinios (Smith 1972, Greenberg y Greenberg 1977, Castañares y Soto 1982, Zlatarsky y Martinez 1982, Colin 1988 y Humann 1993a), gorgonáceos (Cairns 1977, Bayer 1961, Bayer, *et al.* 1983, Humman 1993a), peces (Chaplin 1972, Greenberg y Greenberg 1977, Stokes 1984) y algas (Littler *et al.* 1989, Humman 1993a).

### **Análisis de datos**

A partir de la información recabada en los muestreos de campo, se realizó un análisis de las comunidades de organismos para conocer la condición actual en la que se encuentra la comunidad de organismos, así como emitir un diagnóstico ambiental del área de estudio.

Este análisis se realizó a través de la determinación de su riqueza de especies, composición de especies (Lista de especies), grupos funcionales (en peces,

macroalgas y pastos marinos), así como la evaluación de la distribución, abundancia, diversidad, equitabilidad, estructura de tallas, formas de crecimiento y condiciones de los organismos (para corales blandos). A continuación, se explica cada uno de ellos.

### **Abundancia**

Para todos los grupos biológicos muestreados (escleractinios, gorgonáceos vegetación marina, ictiofauna e invertebrados) se realizó una estimación de la abundancia. Para el caso de los escleractinios y las algas, se hizo una estimación de la cobertura de cada uno de estos grupos, expresada como el porcentaje de tejido vivo que cada uno ocupó en el transecto. Con respecto a los gorgonáceos ictiofauna (peces arrecifales), se hizo una estimación de densidad con base en el número de colonias/individuos que se encontraron por metro cuadrado del área de muestreo. También se incluye unalista de especies por grupo biológico con un estimador de abundancia relativa por especie. Este estimador de abundancia relativa se presenta en categorías, de acuerdo a lo descrito en la siguiente tabla.

Categorías de abundancia relativa y definición de su rango.

Categoría	Abreviación	Rango de abundancia relativa
Dominante	D	> 20 %
Abundante	A	10 – 20 %
Común	C	5 – 10 %
Escaso	E	1 – 5 %
Raro	R	< 1 %

Cabe mencionar que las listas de especies no incluyen los nombres comunes de las especies, porque la mayoría no lo tiene definido.

### **Diversidad**

Para cada grupo biológico se obtuvo su riqueza de especies (S), índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), así como una medida de la heterogeneidad a través del valor de Equitabilidad (J').

La **Riqueza de especies (S)**, es el número total de especies de una comunidad particular (hábitat, muestra, punto o sitio concreto, que se considera homogéneo). La riqueza de especies es la forma más sencilla de medir la biodiversidad entre comunidades (Magurran 2004).

El **Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H')**, toma en cuenta la abundancia de cada especie y qué tan uniformemente se encuentran distribuidas. Así, expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra sin tener en cuenta la distribución en el espacio. Los valores normales están entre 1 y 5. Valores bajos significan mayor dominancia, mientras que valores altos indican mayor equitatividad. La fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Dónde:

H' = Índice de equidad de Shannon-Wiener

P<sub>i</sub> = abundancia proporcional de la especie, (i = número de individuos de la especie i (n) entre el número total de individuos de la muestra (N))

$$H' = - [(p_1 \ln p_1 + p_2 \ln p_2 + p_3 \ln p_3 + \dots + p_i \ln p_i)]$$

El **Índice de Pielou (J')**, mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Moreno 2001). La fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$J' = \frac{H'}{\log_2 S}$$

Dónde:

H' = Índice de equidad de Shannon-Wiener

log<sub>2</sub>S = es la diversidad máxima (H'<sub>max</sub>) que se obtendría si la distribución de las abundancias de las especies en la comunidad fuera perfectamente equitativas.

### Formas de crecimiento

Este parámetro se consideró para aquellos organismos arrecifales que crecen formando colonias, los cuales presentan un crecimiento indeterminado y cuyas formas de crecimiento pueden servir como indicadores de las condiciones ambientales a las cuales están sujetos. De esta manera se registró la forma de crecimiento de los **escleractinios** con base en categorías para cada taxón, según se presenta en la siguiente tabla. El análisis de este parámetro se muestra en los resultados como un histograma de frecuencias por categoría de forma de crecimiento.

Categorías de formas de crecimiento para los escleractinios (corales duros).

Categoría	Forma de crecimiento
Dig	Digitiforme
Inc	Incrustante
Mas	Masiva
Ram	Ramificado
Pla	Plato

### Estructura de tallas



El tamaño de las colonias se registró para los escleractinios (corales duros), los gorgonáceos (corales blandos) e ictiofauna (peces arrecifales) con la intención de conocer la estructura de tallas de cada uno de estos grupos biológicos. Para ello, se utilizaron diferentes parámetros para estimar la talla; en el caso de los escleractinios se consideró el diámetro mayor de cada colonia; para los gorgonáceos se midió la altura máxima de cada colonia; y, para la ictiofauna se estimó la longitud total del cuerpo de cada pez.

El tamaño de los organismos se registró en clases de tamaño, para lo cual se definen las categorías de talla para cada grupo que se muestra en la siguiente. El análisis se presenta como un histograma de frecuencias por taxón.

Categorías de talla para los escleractinios, gorgonáceos e ictiofauna (peces).

Clase de talla	Escleractinios (corales duros)	Gorgonáceos (corales blandos)	Ictiofauna (peces arrecifales)
I	<5 cm	<10 cm	<5cm
II	5-10 cm	10-30 cm	5-10 cm
III	10-20 cm	30-50 cm	10-20 cm
IV	20-40 cm	>50 cm	20-30 cm
V	>40 cm		>30 cm

### Condiciones del organismo

Esta evaluación se hizo de manera cualitativa en los escleractinios (corales duros) y en los gorgonáceos (corales blandos) por ser los organismos más importantes en cuanto a su papel ecológico y abundancia, a través del registro del tipo de daño que pudieran presentar sus colonias. Para ello, se consideraron diferentes categorías de daño dependiendo del grupo, según se explica en la tabla siguiente. El análisis se presenta como histograma de frecuencias relativas de categorías de daño por área de muestreo.

Categorías de condición de los organismos para escleractinios y gorgonáceos.

Escleractinios (corales duros)		Gorgonáceos (corales blandos)	
Categoría	Condición del organismo	Categoría	Condición del organismo
Sana	Sin tejido dañado	Sana	Sin tejido dañado
Sedi	Tejido cubierto con sedimento	Daño	Tejido con algún tipo de daño
Blca	Tejido blanqueado	Enfe	Enfermedad (virus, nódulos, etc.).
Epib	Con organismos epibiontes.		

### Grupos funcionales

Para la ictiofauna (peces arrecifales) y vegetación marina (macroalgas y pastos marinos) se realizó un análisis de grupos funcionales. Para ello se consideró el tipo de alimentación en los peces para definir su grupo trófico, y el tipo de pigmento fotosintético presente en las algas, de acuerdo al Phylum al que pertenecen taxonómicamente, según las categorías que se especifican a continuación.

Se realizó un análisis de la distribución de frecuencias por grupo biológico de acuerdo con los grupos tróficos para los peces y los grupos taxonómicos para

las algas. Las categorías se presentan en la tabla siguiente. El análisis se presenta como histograma de frecuencias relativas de categorías de grupos funcionales.

Categorías de grupos funcionales para peces arrecifales y para la vegetación marina.

Ictiofauna (peces arrecifales)		Vegetación marina (macroalgas y pastos marinos)	
Categoría	Grupo trófico	Categoría	Grupo taxonómico
Bento	Bentófago	Vcar	Clorofitas (verde) carnosas
Herbi	Herbívoro	Vcal	Clorofitas (verde) calcáreas
Ictio	Ictiófago	Roja	Rodofitas
Omni	Omnívoro	Café	Feofitas
Planc	Planctófago	Cian	Cianofita
		Pasto	Pastos marinos

Las categorías tróficas para agrupar a los peces arrecifales de acuerdo con sus hábitos alimenticios se definen de la siguiente manera:

- Bentófago: Se alimenta de cangrejos, camarones, anélidos, gasterópodos, estomatópodos, peces.
- Herbívoro: Dieta a base de algas y pastos marinos.
- Ictiófago: Se alimentan de peces.
- Omnívoro: Consumen algas, anélidos, peces, copépodos, gasterópodos, antozoos, tunicados, cangrejos, esponjas, equinodermos.
- Planctófago: Se alimentan de cangrejos, camarones, estomatópodos, zoantarios y huevos de peces que forman el plancton.

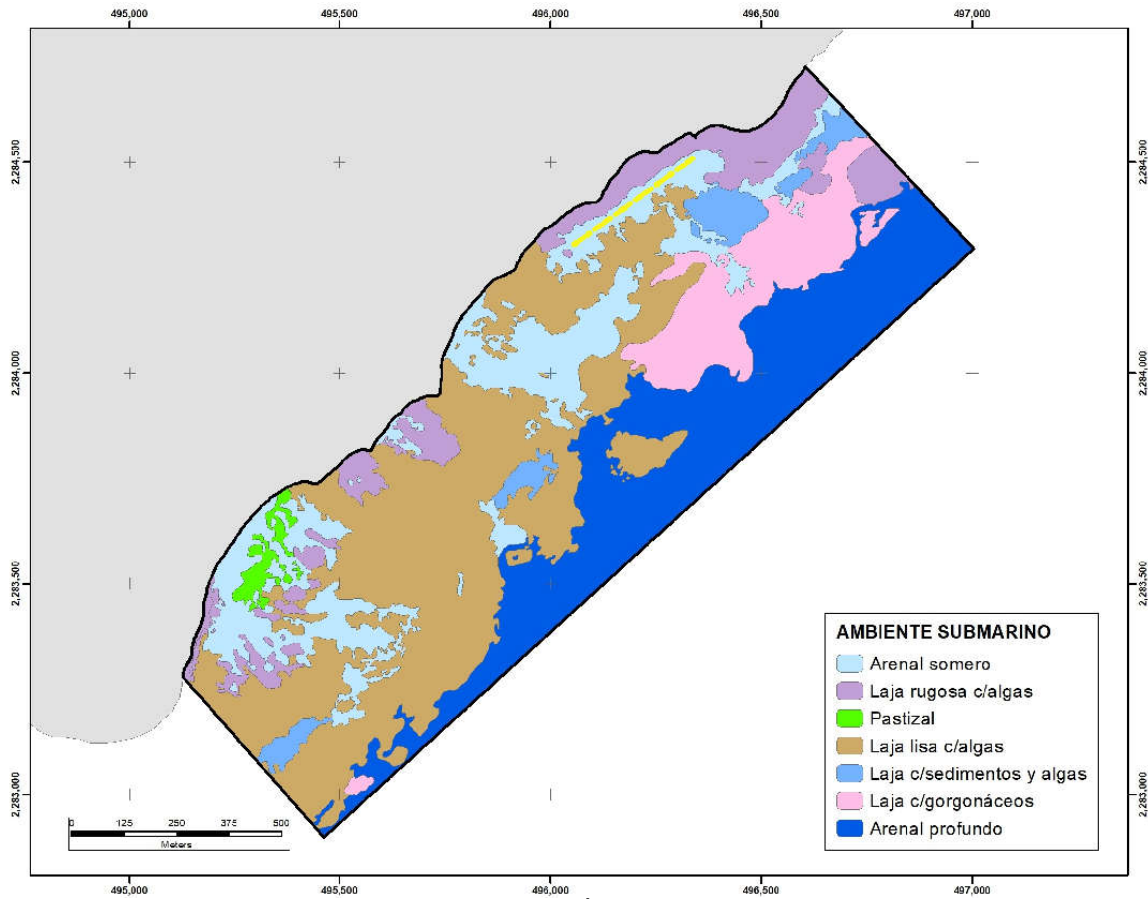
## Resultados

En el Área de Estudio se reconocieron siete tipos de ambientes, de acuerdo con sus características de tipo de sustrato, profundidad, topografía del lugar, así como de la biota marina dominante. Dichos ambientes son: 1) arenal somero, 2) laja rugosa con algas, 3) pastizal, 4) laja lisa con algas, 5) laja con sedimentos y algas, 6) laja con gorgonáceos y 7) arenal profundo. En la siguiente tabla se muestran los tipos de ambientes identificados para el Área de Estudio, así como la superficie y el porcentaje que ocupa cada uno.

Tipo de ambiente identificado en el Área de Estudio, así como superficie (ha) y porcentaje (%) de cada uno de ellos.

Tipo de ambiente	Abreviatura	Ha	%
Laja rugosa con algas	L-rug/a	13.57	10.12
Laja con sedimento y algas	L-sed/a	4.65	3.47
Laja lisa con algas	L-lis/a	48.96	36.50
Laja con gorgonáceos	L-gor	12.40	9.25
Pastizal	Past	1.42	1.06
Arenal somero	Ar-som	21.02	15.67
Arenal profundo	Ar-pro	32.12	23.94
Total		134.14	100.00

A continuación, se muestra el mapa de los tipos de ambientes identificados en el Área de Estudio y la ubicación del proyecto (el cual se marca en amarillo) con respecto a estos.



Tipos de ambientes identificados en el Área de Estudio y proyecto en amarillo

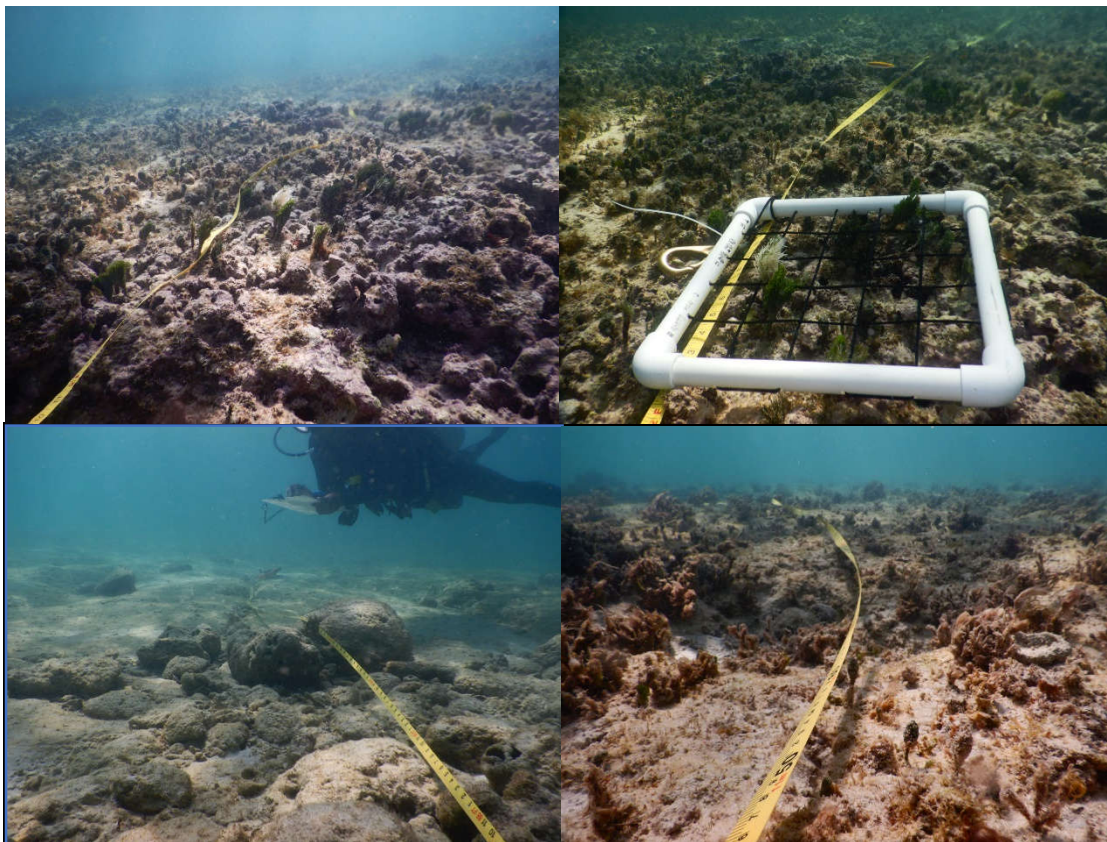
Del análisis comparativo entre el mapa de ambientes de Cerdeira-Estrada *et al.*(2018) se observa que evidentemente existe una similitud genérica en la distribución de los ambientes, pero con ciertas diferencias que permiten que el mapa que se presenta en este estudio sea de mayor utilidad para los fines del proyecto. Bajo estas consideraciones, el mapa de ambientes que se presenta como herramienta para el presente estudio tiene definidos siete tipos de ambientes dentro del SA del proyecto. A continuación, se describe de manera general, cada tipo de ambiente reconocido en el SA dejando visto que el proyecto se ubicará exclusivamente sobre el arenal somero.

### **Laja rugosa con algas (L-rug/a)**

El ambiente denominado Laja rugosa con algas (L-rug/a) es un área somera, contigua a la línea de costa, que forma una franja continua, de aproximadamente 30 metros, que se presenta contigua a la línea de costa en la parte norte del SA, en parches de tamaño medio en la parte central y en manchones dispersos en la

parte sur. Este ambiente cubre una extensión total de 13.57 ha, que representa 10.12% del SA.

Se caracteriza porque el sustrato está formado por una laja rugosa de poco relieve cubierta por una gran cantidad de algas calcáreas. Los gorgonáceos están ausentes, con poca presencia de peces en general, pero con mayor abundancia en los sitios de mayor relieve; aquí son comunes los erizos de tamaño pequeño de la especie *Equinometra lucunter*. Se encontraron pocas especies de peces, aunque su abundancia fue la más elevada en este tipo de ambiente por las rugosidades del terreno. La profundidad en estos sitios varía de 0-3 metros. En las siguientes fotos se muestra la condición de este tipo de ambiente.

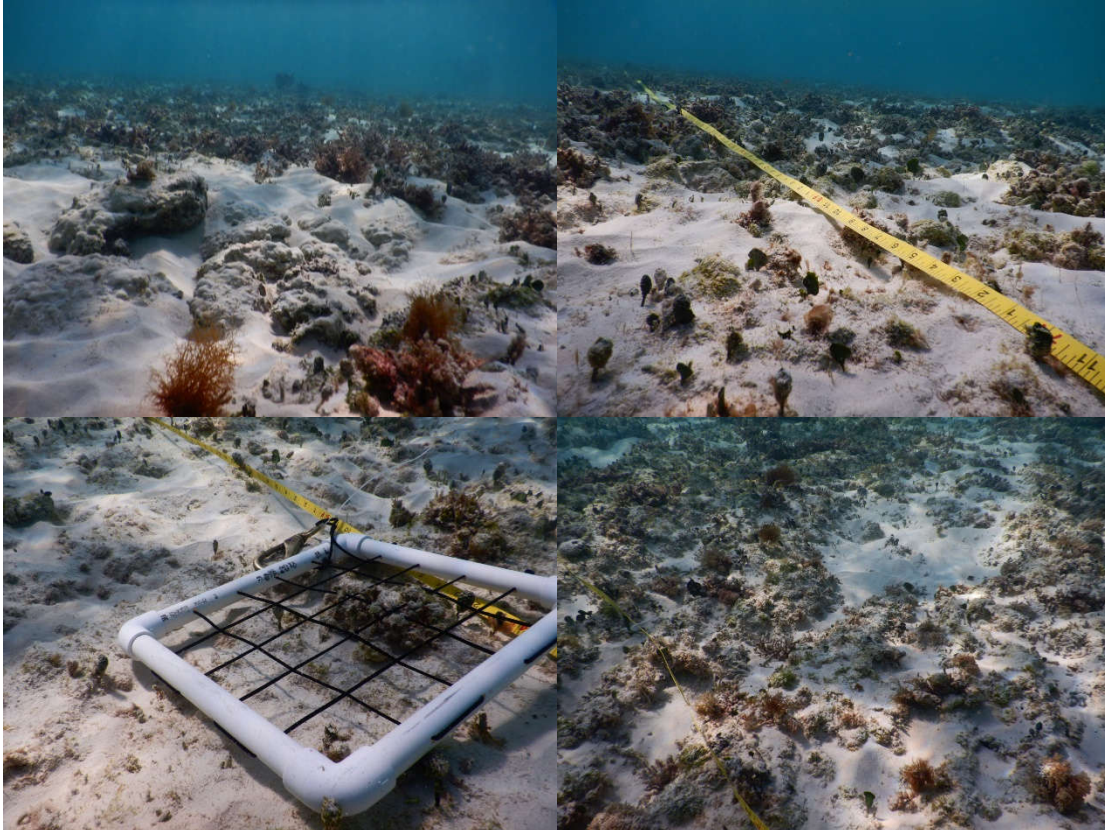


Ambiente laja rugosa con algas

### ***Laja con sedimentos y algas (L-sed/a)***

El tipo de ambiente denominado Laja con sedimentos y algas (L-sed/a) es un área poco extensa que se encuentra en una franja de profundidad media muy discontinua, siendo un esbozo del canal de arena que se forma de manera paralela a la línea de costa en otras partes del arrecife en donde divide la zona de la Cresta de la del Arrecife Frontal. Este ambiente abarca una extensión total de 4.65 ha, lo que representa 3.47% del área total del SA.

Este ambiente se caracteriza por una alta presencia de sedimentos de arena fina sobre una laja calcárea, presentando parches de algas de diferentes composiciones y porcentajes de cobertura. La mayoría de las algas presentes son del tipo verde calcáreas, siendo abundantes los géneros *Penicillus* y *Rhipocephalus*. Los corales son escasos y poco diversos, representados por colonias de tamaño pequeño y con muestras de afectación por sedimentación. Pulpos y peces lenguados fueron abundantes. La profundidad en este ambiente varía alrededor de 2 metros. A continuación se presentan fotos tomadas de este ambiente durante los trabajos de campo.

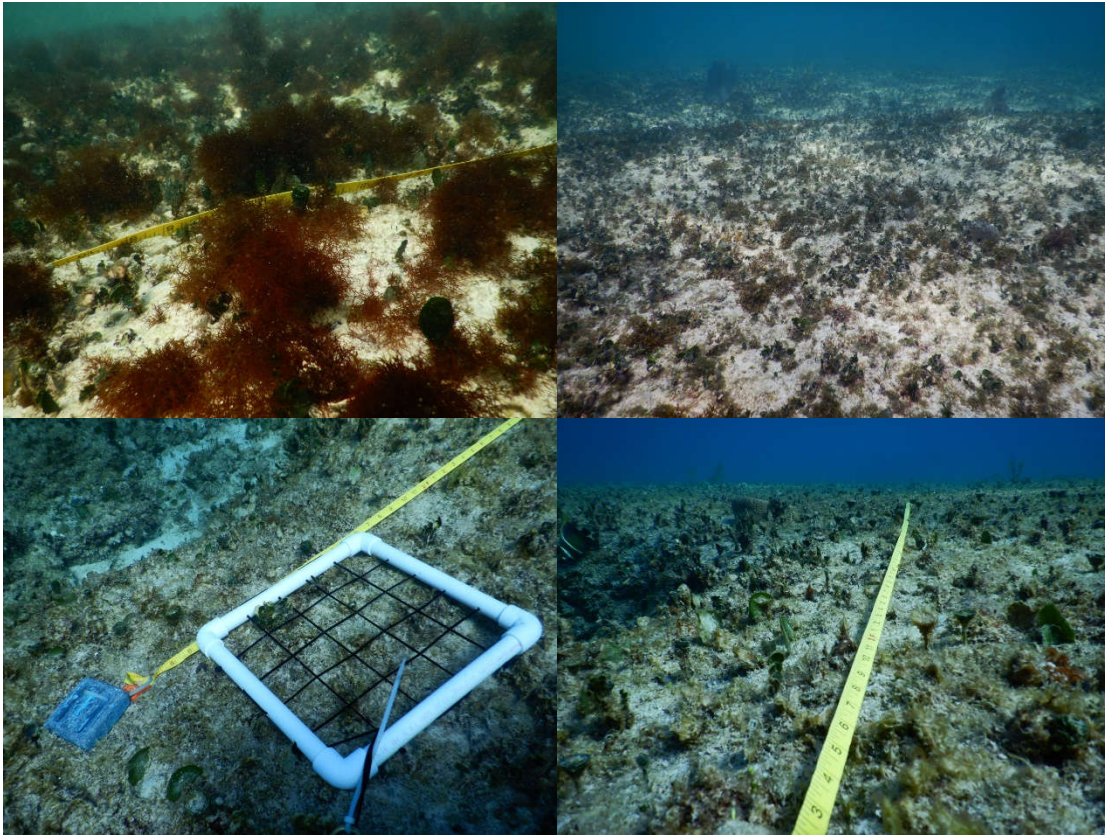


Ambiente de laja con sedimento y algas

### ***Laja lisa con algas (L-lis/a)***

El ambiente denominado Laja lisa con algas (L-lis/a) es el más extenso en el SA de este proyecto. Abarca 48.96 ha, lo que representa 36.50% del polígono del SA. El sustrato en este tipo de ambiente se caracteriza por ser una laja plana sin relieve con una capa de sedimento muy delgada y presencia de algas verdes calcáreas en su mayoría. La presencia de corales es baja y su cobertura es menor al 1%. En este tipo de ambiente también se observaron erizos, aunque en menor abundancia. Los peces en este tipo de ambiente presentaron una alta variedad, así como una abundancia importante. La profundidad en estos sitios va de 1.7 m en su parte más somera a 6.4 m en las partes más alejadas de la

costa. En las siguientes fotos se muestra la condición de este tipo de ambiente durante el monitoreo realizado.

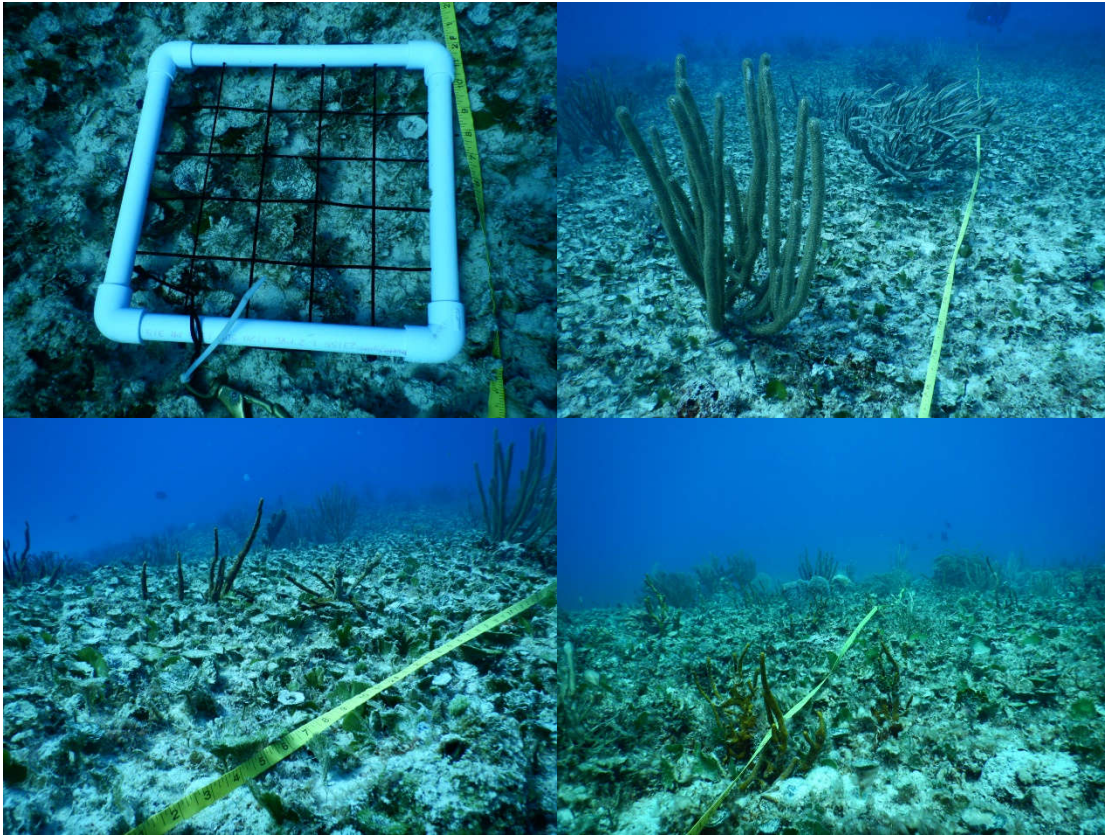


Ambiente de laja lisa con algas

### ***Laja con gorgonáceos (L-gor)***

El ambiente que se denominó Laja con gorgonáceos (L-gor) es un área que se encuentra en la parte norte a una profundidad intermedia. Abarca 12.4 ha, lo que representa 9.25% del polígono del SA. Este ambiente representa la parte más desarrollada del arrecife, sobre todo en la parte que colinda con el Arenal profundo, en donde la laja presenta un desnivel o escalón y suele encontrarse mayor abundancia y diversidad de especies de todos los grupos taxonómicos. Este ambiente se caracteriza por la presencia de gorgonáceos, los cuales pueden ser en forma de abanico, candelabro o ramificados; siendo los más abundantes los de las especies *Pterogorgia anceps*, *Eunicea tourneforti* y *Muriceopsis flavida*. La presencia de corales escleractinios es común, aunque la cobertura que alcanza es baja, generalmente menor al 1%; teniendo como especies comunes *Agarica agaricites*, *Siderastrea siderea*, *Montastraea cavernosa* y *Pseudodiplora clivosa*. Esta laja presenta una capa delgada de sedimentos finos, y algas que varían en cobertura alrededor del 40%, y algunos parches de sedimento. Los peces son abundantes, sobre todo en la parte del desnivel que se forma en la parte profunda. La profundidad de este ambiente va

desde los 3 metros en su parte somera, hasta los 10 metros de profundidad en donde termina la laja sobre el arenal profundo (ver fotos siguientes obtenidas durante los trabajos de campo).



Ambiente de laja con gorgonaceos

### ***Pastizal (Past)***

El ambiente de Pastizal (Past) es un área muy pequeña, que se encuentra en la parte somera de la sección sur del polígono del SA; abarca 1.42 ha, lo que representa 1.06% del SA. Debido a que en el área de estudio no existe una Laguna Arrecifal bien desarrollada, la presencia de este tipo de ambiente es escasa. Este ambiente de Pastizal es una comunidad de pastizal mixto, con presencia de las 3 especies de pastos marinos, encontrando parches de *Halodule wrightii* hacia la parte más somera, parches extensos de *Syringodium filiforme*, y otras partes en donde la comunidad de pastos marinos está principalmente compuesta de *Thalassia testudinum* y algas verdes calcáreas de crecimiento erecto como las de los géneros *Penicillus*. El sustrato es principalmente de arena fina, y el sitio se encontró con alta turbiedad, por efecto de la presencia de Sargazo en la línea de costa. La profundidad del sitio oscila entre 2.5 y 3 metros.



Ambiente de pastizal

### ***Arenal somero (Ar-som)***

El ambiente que se denominó Arenal somero (Ar-som) se encuentra distribuido de manera dispersa a través de todo el polígono del SA. En este ambiente se ubica la totalidad del proyecto y dicho arenal se refiere a todas aquellas superficies en donde no se observa un sustrato de laja de manera superficial ya que está cubierta por una capa de sedimento. Este ambiente en total abarca una superficie de 21.02 ha, lo que representa 15.67% del polígono del SA. Se caracteriza por presentar un sustrato de sedimento arenoso, en donde no se observa biota sésil marina; solamente algunas piedras con algas ocasionales, así como la presencia de algas sueltas flotantes, sobre todo de Sargazo en las partes someras, lo que afecta notoriamente la turbiedad del agua. Hacia las partes más profundas, los arenales se observan limpios y con arena blanca. La profundidad de estos sitios varía de 1 a 3 metros.

En las siguientes imágenes se observa este tipo de ambiente durante los levantamientos realizados.





Ambiente de Arenal somero

### ***Arenal profundo (Ar-pro)***

El ambiente denominado Arenal profundo (Ar-pro) abarca una extensión amplia del SA formando una franja a lo largo de la parte profunda del polígono. Abarca una superficie de 32.10 ha, lo que corresponde al 23.94% del SA. El Arenal profundo tiene un sustrato de Arena fina que varía bastante en la composición de especies presentes, teniendo sitios en donde se observa un arenal limpio sin presencia de biota marina, grandes extensiones con presencia escasa de algas creciendo entre la arena, parches de pasto marino y algas, hasta áreas pequeñas donde hay sustrato duro cubierto de sedimento en donde crece una comunidad de gorgonáceos donde predominan las especies de los géneros *Pseudopterogorgia* y *Gorgonia*. La profundidad de la capa de sedimento también es muy variable, encontrando sitios donde tiene solamente 5 cm de grosor sobre el sustrato de laja, hasta sitios en donde hay más de 20 cm de grosor en la capa de sedimento. La profundidad a la que se encuentra este ambiente varía de los 12 metros en su parte más somera hasta los 20 metros en el límite este del polígono del SA. Algunas fotos de este ambiente se muestran a continuación.



Ambiente de arenal profundo

#### IV.2.2.3 Caracterización biológica en el SA

A continuación, se presenta el análisis de los parámetros comunitarios de los cinco grupos biológicos en el SA por tipo de ambiente. Los resultados corresponden a los muestreos realizados durante dos épocas del año tal como se indicó líneas arriba.

##### Escleractinios (corales duros)

###### *Distribución y composición de especies*

Durante la época de lluvias se registraron un total de 12 especies, distribuidas en ocho géneros y siete familias. Solo en tres ambientes se registraron colonias coralinas dentro del área de muestreo. L-rug/a fue común *Siderastrea radians*. La especie *Poritesastreoides* registró una dominancia en los ambientes L-lis/a; *Siderastrearadians* y *Poritesporites* fueron escasas; en L-lis/a registró también una dominancia de *Milleporaalcicornis*. En el ambiente L-gor las especies dominantes fueron *Agariciaagaricites* y *Siderastreasideraea*, siendo abundantes *Montastreacavernosa* y *Milleporacomplanata*. En los ambientes L-sed/a y Ar-pro se observaron colonias coralinas fuera del área de muestreo.

Lista de especies y abundancia relativa de corales escleractinios para el SA, muestreo época de lluvias. D=Dominante (>20%), A=Abundante (10-20%), C=Común (5-10%), E=Escaso (1-5%),R=Raro (<1%).

\* Especies observadas en el sitio fuera del transecto de muestreo.

Familia	Género	Especie	L-rug/a	L-sed/a	L-lis/a	L-gor	Past	Ar-som	Ar-pro
Agariciidae	<i>Agaricia</i>	<i>agaricites</i>			E	D			
Faviidae	<i>Pseudodiploria</i>	<i>clivosa</i>			*				
		<i>strigosa</i>				*			
	<i>Montastraea</i>	<i>cavernosa</i>				A			
Meandrinidae	<i>Dichocoenia</i>	<i>stokesii</i>				*			
Pocilloporidae	<i>Madracis</i>	<i>deactis</i>			*				
Poritidae	<i>Porites</i>	<i>astreoides</i>			D				
		<i>porites</i>		*	E				
Siderastreidae	<i>Siderastrea</i>	<i>radians</i>			E	E			
		<i>sideraea</i>	C	*	*	D			
<b>Hidrocorales</b>									
Milleporidae	<i>Millepora</i>	<i>alcicornis</i>			D	E			*
		<i>complanata</i>			C	A			
<b>Total</b>			<b>4</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

**Tipos de ambientes:** L-rug/a = Laja rugosa con algas; L-sed/a = Laja con sedimentos y algas; L-lis/a = Laja lisa con algas; L-gor = Laja con gorgonáceos; Past = Pastizal; Ar-som = Arenal somero; Ar-pro = Arenal profundo.

En la época de secas se registraron 12 especies, distribuidas en ocho géneros y seis familias; de estas 12 especies, cinco fueron observadas fuera del transecto de muestreo. La especie con mayor distribución fue *Poritesporites*, registrándose en cuatro de los siete ambientes de muestreo, siendo dominante casi en todos ellos. En el ambiente L-rug/a abundó la especie *Siderastrearadians*. En los ambientes L-lis/a y Past dominaron, junto con *P.,porites*, las especies *Poritesastreoides* y *Siderastrearadians* y las especies *Isophylliasinuosa*, *Pseudodiploriastrigosa*, *Dichocoeniastokessi*, *Milleporaalcicornis*.

Lista de especies y abundancia relativa de corales escleractinios para el SA, muestreo de la época de secas. D=Dominante (>20%), A=Abundante (10-20%), C=Común (5-10%), E=Escaso (1-5%), R=Raro (<1%).

\* Especies observadas en el sitio fuera del transecto de muestreo.

Familia	Género	Especie	L-rug/a	L-sed/a	L-lis/a	L-gor	Past	Ar-som	Ar-pro
Agariciidae	<i>Agaricia</i>	<i>agaricites</i>			*	A			
Faviidae	<i>Isophyllia</i>	<i>sinuosa</i>				*			
		<i>Montastraea</i>	<i>cavernosa</i>			D			
	<i>Pseudodiploria</i>	<i>clivosa</i>			*	*			
		<i>strigosa</i>				*			
Meandrinidae	<i>Dichocoenia</i>	<i>stokesii</i>			*	*			
Poritidae	<i>Porites</i>	<i>astreoides</i>			D		D		
		<i>porites</i>		D	D	*	D		*
Siderastreidae	<i>Siderastrea</i>	<i>radians</i>	A	*	D	A	D		*
		<i>sideraea</i>	*			D			
<b>HIDROCORALES</b>									
Milleporidae	<i>Millepora</i>	<i>alcicornis</i>			*	*			*
		<i>complanata</i>			*				
<b>Total</b>			<b>4</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>3</b>		

**Tipos de ambientes:** L-rug/a = Laja rugosa con algas; L-sed/a = Laja con sedimentos y algas; L-lis/a = Laja lisa con algas; L-gor = Laja con gorgonáceos; Past = Pastizal; Ar-som = Arenal somero; Ar-pro = Arenal profundo.

### Abundancia y riqueza específica

Durante la época de lluvias, la mayor cobertura de tejido coralino se registró en el ambiente L-rug/a con 0.4%, sin embargo, la riqueza fue la más baja para esta zona son solo cuatro especies registradas; los sitios L-lis/a y L-gor registraron una riqueza de siete especies coralinas, con una cobertura de 0.2% y 0.3% respectivamente.

En la época de secas, la mayor cobertura se registró en el ambiente Past con 0.8% de tejido coralino vivo y una riqueza de tres especies; en ambiente L-rug/a se observó una cobertura del 0.6% con una riqueza de cuatro especies de corales; seguido por el ambiente L-gor con una cobertura de tejido coralino del 0.3% aportado por cuatro especies coralinas. Los valores más bajos de estas variables fueron registrados en el ambiente L-sed/a con una cobertura del 0.06% y una sola especie. Los ambientes Ar-som y Ar-pro no registraron colonias coralinas dentro del transecto de muestreo.

### *Diversidad y equitabilidad*

En época de lluvias, el valor más alto de diversidad se encontró en el ambiente L-gor con una  $H' = 1.5533$  y una equitabilidad de  $J' = 0.8669$ ; el mayor valor de equitabilidad se obtuvo en el ambiente L-rug/a con un valor de  $J' = 0.8859$  y una diversidad de  $H' = 1.2282$ ; finalmente el ambiente L-lis/a obtuvo valores de diversidad  $H' = 1.3395$  y equitabilidad  $J' = 0.7475$ .

En la época de secas, los valores más altos de estos índices, se registraron en el ambiente L-gor con una diversidad de  $H' = 1.3315$  y una equitabilidad de  $J' = 0.9605$  y en L-lis/a con una equitabilidad de  $J' = 0.9695$  con una diversidad de  $H' = 1.065$ . El ambiente L-rug/a registró el valor más bajo de equitabilidad con una  $J' = 0.9329$  y una diversidad de  $H' = 1.2932$ ; mientras que el ambiente Past presentó el menor valor de diversidad con una  $H' = 1.0601$  y una equitabilidad de  $J' = 0.9649$ .

### *Estructura de tallas*

En la época de lluvias, se registraron cinco categorías de tamaños, donde el ambiente L-lis/a presentó el mayor número de categorías con cuatro, dominando los corales pequeños categoría I y II con un aporte del 40% de frecuencia por igual y las colonias de mayor tamaño categoría IV y V registraron un 10% de frecuencia cada una. En el ambiente L-rug/a dominaron las colonias pequeñas categoría I con más del 58% de frecuencia, las colonias categoría II obtuvieron 33.3% de frecuencia y las colonias categoría III aportaron el 8.3%. En el ambiente L-rug las colonias dominantes fueron las pertenecientes a la categoría III, aportando una frecuencia del 50%, las colonias, seguido por las colonias categoría II con un 37.5% y finalmente las colonias más pequeñas con una frecuencia del 12.5%.

En la época de secas, se registraron tres categorías de tamaños de colonias coralinas, registrándose el espectro completo en los ambientes L-rug/a, L-gor y Past, dominando las colonias pequeñas categoría I, en el ambiente L-rug con un 69.2%; en el ambiente L-gor compartieron dominancia las colonias categoría II y III, ambas con un aporte del 42.9% de frecuencia; mientras que en el ambiente Past las tres categorías aportaron 33.3% cada una. En el ambiente L-lis/a solo se registraron colonias pequeñas de la categoría I y II, dominando las primeras con una frecuencia de registro del 66.7% y finalmente el ambiente L-sed/a solo registró colonias de la categoría II.

### *Formas de crecimiento*

En la época de lluvias, se registraron cuatro formas de crecimiento, siendo L-lis/a el único ambiente donde se observó el espectro completo, presentando una mayor frecuencia los corales con crecimiento ramificado con un 45.5%; siguiendo los corales masivos con un aporte del 36.4% y los corales con crecimiento digitiforme y crecimiento incrustante aportaron cada uno 9.1% de frecuencia. En el ambiente L-rug los corales incrustantes fueron los que aportaron la mayor frecuencia de registro con 66.7%, seguido por los corales digitiformes con 25% de frecuencia y los corales masivos con una frecuencia de 8.3%; finalmente en el ambiente L-gor, los corales con crecimiento masivo fueron los que dominaron, de acuerdo a la frecuencia registrada, aportando 50%; mientras que los corales digitiformes y ramificados aportaron 25% cada tipo de crecimiento.

En época de secas, se observaron solo dos formas de crecimiento coralino, digitiformes y masivos. En el ambiente L-rug dominaron los corales de forma digitiforme con una frecuencia de observación del 57.7%; en el ambiente L-lis/a la dominancia la presentaron los corales masivos, con un aporte del 66.6% de frecuencia; en el ambiente Past, ambas formas aportaron un 50% de frecuencia de registro; mientras que en los ambientes L-sed/a y L.gor, solo se observaron corales con una forma de crecimiento, digitiformes para el primer ambiente mencionado y corales masivos par L.gor.

### *Condición del organismo*

No se registraron colonias afectadas por algún tipo de enfermedad, las afectaciones que se observaron fueron de mortalidad parcial, sedimento sobre el tejido, y presencia de epibiontes. Aproximadamente 75% de las colonias se encuentran sin afectaciones.

En la época de secas, tampoco se registraron enfermedades. Las afectaciones fueron principalmente por mortalidad parcial, seguidas de sedimento, y pocas afectadas por epibiontes. Un 70% de las colonias se encuentran sin afectación.

## Comparación en las dos épocas del año

La comunidad de corales es muy pobre en la zona de estudio, encontrando valores muy bajos, tanto de riqueza de especies como de abundancia en ambas épocas de muestreo. No se observa ningún patrón que pudiera alertar sobre algún cambio temporal importante. En cuanto a la dominancia de especies se observa una consistencia con la abundancia de *Porites astreoides* en la mayoría de los ambientes en ambas épocas del año; siendo una especie que se considera pionera en el proceso de sucesión ecológica.

Comparación de los valores de la riqueza específica, abundancia y especies dominantes para corales escleractinios por tipo de ambiente en 2 épocas: Lluvias y secas.

Ambiente	Riqueza específica (#sp)		Abundancia (% cob)		Especies dominantes	
	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas
L-rug/a	4	4	0.40	0.61	Past, Srad	Pcliv, Ppor
L-sed/a	0	1	0.00	0.06	-	Ppor
L-lis/a	6	3	0.19	0.18	Past, Mcom	Past, Ppor, Srad
L-gor	6	4	0.27	0.30	Aaga, Ssid	Mcav, Ssid
Past	0	3	0.00	0.76	-	Past, Ppor, Srad
Ar-som	0	0	0.00	0.00	-	-
Ar-pro	0	0	0.00	0.00	-	-

## Gorgonáceos (corales blandos)

### Distribución y composición de especies

En el muestreo de la época de lluvias, en el área de estudio se registró un total de 19 especies de gorgonáceos, pertenecientes a 10 géneros y tres familias. La especie dominante en el área fue *Pterogorgia anceps*, la cual se encontró distribuida en varios de los ambientes del área de estudio, en donde había disponible sustrato duro para su fijación. En el listado de especies se muestra la importancia de cada una de las especies, de acuerdo a una categorización basada en rangos de abundancia relativa.

Lista de especies y abundancia relativa de gorgonáceos para el SA en la época de lluvias. D = Dominante (>20%), A = Abundante (10-20%), C = Común (5-10%), E = Escaso (1-5%), R = Raro (<1%).

Familia	Género	Especie	L-rug/a	L-sed/a	L-lis/a	L-gor	Past	Ar-som	Ar-pro
Briareidae	<i>Briareum</i>	<i>asbestinum</i>				E			
Gorgoniidae	<i>Gorgonia</i>	<i>flabellum</i>			D	A			D
		<i>mariae</i>							
	<i>Pseudoptero-gorgia</i>	<i>acerosa</i>			E	E			A
		<i>americana</i>			A	E			C
	<i>Pterogorgia</i>	<i>anceps</i>	D	D	C	E			A
		<i>citrina</i>			D				E
<i>guadalupensis</i>			D	E					
Plexauridae	<i>Eunicea</i>	<i>calyculata</i>				E			C
		<i>fusca</i>			R				
		<i>mammosa</i>			A	D			C
		<i>tourneforti</i>			E	C			E
	<i>Muricea</i>	<i>muricata</i>			R	E			
		<i>Muriceopsis</i>			E	C			E
	<i>Plexaura</i>	<i>flexuosa</i>			C	A			E
		<i>homomalla</i>				E			
	<i>Plexaurella</i>	<i>dichotoma</i>							E
		<i>nutans</i>				E			C

Familia	Género	Especie	L-rug/a	L-sed/a	L-lis/a	L-gor	Past	Ar-som	Ar-pro
	<i>Pseudoplexaura</i>	<i>porosa</i>				R			E
<b>Total</b>			<b>2</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>13</b>

**Tipos de ambientes:** L-rug/a = Laja rugosa con algas; L-sed/a = Laja con sedimentos y algas; L-lis/a = Laja lisa con algas; L-gor = Laja con gorgonáceos; Past = Pastizal; Ar-som = Arenal somero; Ar-pro = Arenal profundo.

En el muestreo de la época de secas, en el área de estudio se registró un total de 19 especies de gorgonáceos, pertenecientes a 10 géneros y 2 familias. Se muestrearon un total de 259 individuos en los 7 ambientes de monitoreo establecidas para el proyecto. La especie dominante en el área fue *Pterogorgia anceps*, la cual se encontró distribuida en varios de los ambientes del área de estudio, en donde había disponible sustrato duro para su fijación. En el listado de especies se muestra la importancia de cada una de las especies, de acuerdo a una categorización basada en rangos de abundancia relativa.

Listado de especies y abundancia relativa de gorgonáceos para el SA, muestreo de la época de secas. D=Dominante (>20%), A=Abundante (10-20%), C=Común (5-10%), E=Escaso (1-5%), R=Raro (<1%).

Familia	Género	Especie	L-rug/a	L-sed/a	L-lis/a	L-gor	Past	Ar-som	Ar-pro
Gorgoniidae	<i>Gorgonia</i>	<i>flabellum</i>			D	A			
		<i>mariae</i>				R			
	<i>Pseudoptero</i> <i>gorgia</i>	<i>americana</i>				C			
	<i>Pseudoptero</i> <i>gorgia</i>	<i>acerosa</i>			E				
		<i>americana</i>			E	E		D	
	<i>Pterogorgia</i>	<i>acerosa</i>			E				
		<i>anceps</i>			A	E			D
<i>citrina</i>				D	E				
		<i>guadalupensis</i>				R			
Plexauridae	<i>Eunicea</i>	<i>calyculata</i>			E	C			
		<i>mammosa</i>			A	D			
		<i>tourneforti</i>			E	E			
	<i>Muricea</i>	<i>muricata</i>				R			
	<i>Muriceopsis</i>	<i>flavida</i>				R			
	<i>Plexaura</i>	<i>flexuosa</i>				A			
		<i>homomalla</i>				E			
	<i>Plexaurella</i>	<i>dichotoma</i>				R			
		<i>nutans</i>				E	E		
<i>Pseudoplexaura</i>	<i>porosa</i>			E	E				
<b>Total</b>			<b>0</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>17</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>1</b>

**Tipos de ambientes:** L-rug/a = Laja rugosa con algas; L-sed/a = Laja con sedimentos y algas; L-lis/a = Laja lisa con algas; L-gor = Laja con gorgonáceos; Past = Pastizal; Ar-som = Arenal somero; Ar-pro = Arenal profundo.

### Abundancia y riqueza específica

En la época de lluvias, la densidad más alta se encontró en el ambiente L-gor, con 1.9 ind/m<sup>2</sup>, mientras que los valores más bajos se ubicaron en las estaciones Past y Ar-som, en las cuales no hubo registros. En relación a la riqueza específica, también se observó la cifra más alta en el ambiente L-gor, con 14. Por el contrario, los números más bajos se obtuvieron en Past, debido a la ausencia de registros.

En la época de secas, la densidad más alta se encontró en el ambiente L-gor, con 1.16 ind/m<sup>2</sup>, mientras que los valores más bajos se ubicaron en las

estaciones L-rug/a, L-sed/a, Past y Ar-som, en las cuales no hubo registros. En relación a la riqueza específica, también se observó la cifra más alta en el ambiente L-gor, con 17. Por el contrario, como en el caso de la densidad, los números más bajos también se obtuvieron en los 4 ambientes en los que no hubo registros.

### *Diversidad y equitabilidad*

En la época de lluvias, la mayor diversidad se encontró en el ambiente Ar-pro, con un valor de 2.34. Los ambientes menos diversos fueron Past y Ar-som, sin registros de gorgonáceos. En términos de equitabilidad, el valor más alto se encontró en el ambiente L-lisa/a, con 0.97. Como en el caso de la diversidad, la cifra más baja se obtuvo en los ambientes Past y Ar-som, debido a que no hubo registros.

En la época de secas, la mayor diversidad se encontró en el ambiente L-gor, con un valor de 2.07. Los ambientes menos diversos fueron L-rug/a, L-sed/a, Past y Ar-som y Ar-pro, sin registros de gorgonáceos. En términos de equitabilidad, el valor más alto se encontró en el ambiente L-lis/a, con 0.83. Como en el caso de la diversidad, la cifra más baja se obtuvo en los ambientes L-rug/a, L-sed/a, Past y Ar-som y Ar-pro, debido a que no hubo registros.

### **Estructura de tallas**

En la época de lluvias se observó que en la mayoría de los ambientes con registros de gorgonáceos, las tallas con mayor frecuencia fueron las de los juveniles (L-rug/a, L-sed/a, L-lis/a, L-gor). Solamente fue diferente el caso de Ar-pro, donde la frecuencia de adultos resultó mayor. Se encontraron reclutas en los ambientes L-lis/a y L-gor, aunque en frecuencias muy inferiores a las demás tallas, menores al 3% del total. No hubo registros en los ambientes Past y Ar-som.

En la época de secas, los ambientes con registros de gorgonáceos fueron L-lis/a, Ar-pro y L-gor, teniendo mayor frecuencia la talla juvenil en los 2 primeros. En el ambiente L-gor la mayor frecuencia correspondió a la talla adulta. En los ambientes L-lis/a y Ar-pro se registraron también reclutas, aunque sus frecuencias fueron muy bajas en comparación con las otras tallas. No se realizaron registros en los ambientes L-rug/a, L-sed/a, Past y Ar-som.

### *Condiciones del organismo*

En la época de lluvias se encontraron colonias dañadas en 4 de los 7 ambientes, aunque con diferentes frecuencias. El ambiente L-rug/a fue donde se registró la mayor frecuencia de daño, con 28.5%. Los daños registrados fueron el sobrecrecimiento de algas y con menor frecuencia de coral de fuego, aunque las frecuencias fueron bajas en los demás ambientes.



En la época de secas se encontraron colonias dañadas en 3 de los 7 ambientes, aunque con diferentes frecuencias. El ambiente Ar-pro fue donde se registró la mayor frecuencia de daño, con 8%. Los daños registrados fueron el sobrecrecimiento de algas, siendo sus frecuencias más bajas en los demás ambientes.

### Comparación en las dos épocas del año

La comunidad de gorgonáceos es más abundante en los ambientes L-lis/a y L-gor, siendo los dos tipos de ambiente con mayor riqueza específica y abundancia, notando una ligera disminución de estos valores en el muestreo de secas. En cambio, en el ambiente Ar-pro la disminución de estos valores fue muy notoria; esta variación puede obedecer a que durante el muestreo de la época de lluvias el muestreo incluyó un parche de sustrato duro en la parte profunda con alta presencia de gorgonáceos, mientras que, en la época de secas, el registro incluye únicamente una sola especie *Pseudopterogorgia anceps* que es de ambientes más bien de sustrato arenoso.

Comparación de los valores de la riqueza específica, abundancia y especies dominantes para gorgonáceos por tipo de ambiente en dos épocas: lluvias y secas.

AMBIENTE	Riqueza específica (#sp)		Abundancia (ind/m <sup>2</sup> )		Especies dominantes	
	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas
L-rug/a	2	0	0.05	0.00	Gflab, Panc	-
L-sed/a	2	0	0.06	0.00	Panc, Pgua	-
L-lis/a	12	11	0.42	0.32	Gflab, Pcit	Gflab, Pcit
L-gor	14	17	1.91	1.93	Emam	Emam
Past	0	0	0.00	0.00	-	-
Ar-som	0	0	0.00	0.03	-	Pame, Panc, Pnut
Ar-pro	13	1	0.71	0.42	Gmar	Panc

### Ictiofauna (peces arrecifales)

#### Distribución y composición de especies

En época de lluvias, se registró un total de 50 especies distribuidas en 35 géneros y 24 familias. La especie *Canthigaster rostrata* fue la que presentó una mayor presencia en toda la zona de muestreo, registrándose en prácticamente todos los ambientes, con excepción de Ar-som, donde no se registraron especies de peces. Esta especie fue dominante en los ambientes Past y en el Ar-pro; en el último ambiente mencionado compartió dominancia con la especie *Stegastes partitus*. En los ambientes L-rug/a, L-sed/a y L-lis/a dominó la especie *Halichoeres bivittatus*, junto con *Thalassoma bifasciatum* en L-rug/a y L-lis/a. Cinco especies solo fueron observadas fuera del área de muestreo.

Lista de especies y abundancia relativa de peces arrecifales para el SA en época de lluvias. D = Dominante (>20%), A = Abundante (10-20%), C = Común (5-10%), E = Escaso (1-5%), R = Raro (<1%).

Familia	Género	Especie	L-rug/a	L-sed/a	L-lis/a	L-gor	Past	Ar-som	Ar-pro
Acanthuridae	<i>Acanthurus</i>	<i>chirurgus</i>		E	E	C			E

Familia	Género	Especie	L-rug/a	L-sed/a	L-lis/a	L-gor	Pas t	Ar-som	Ar-pro
		<i>coeruleus</i>		E	E	E			E
Aulostomidae	<i>Aulostomus</i>	<i>maculatus</i>							R
Bothidae	<i>Bothus</i>	<i>lunatus</i>		*					
Carangidae	<i>Caranx</i>	<i>ruber</i>	R		E	E			
Chaetodontidae	<i>Chaetodon</i>	<i>capistratus</i>		E	R	R			
		<i>ocellatus</i>			R	R			E
		<i>striatus</i>		E		R			E
Dasyatidae	<i>Dasyatis</i>	<i>americana</i>						*	
Gobiidae	<i>Ctenogobius</i>	<i>saepepallens</i>			R				
Haemulidae	<i>Anisotremus</i>	<i>surinamensis</i>				R			
	<i>Haemulon</i>	<i>flavolineatum</i>			E				
		<i>melanurum</i>			R				
		<i>plumieri</i>			R				*
Labridae	<i>Halichoeres</i>	<i>bivittatus</i>	D	D	D	C			
		<i>maculipinna</i>							E
		<i>poeyi</i>			R	E			R
		<i>radiatus</i>			E	E			
	<i>Thalassoma</i>	<i>bifasciatum</i>	D	C	D	D			E
Labrisomidae	<i>Malacoctenus</i>	<i>triangulatus</i>	R		R	R			
		<i>versicolor</i>	R						R
Lutjanidae	<i>Lutjanus</i>	<i>synagris</i>			R				
	<i>Ocyurus</i>	<i>chrysurus</i>				R			
Monacanthidae	<i>Cantherhines</i>	<i>pullus</i>			R				
Mullidae	<i>Pseudopeneus</i>	<i>maculatus</i>			E	E			
Muraenidae	<i>Gymnothorax</i>	<i>miliaris</i>			*				
Opistognathidae	<i>Opistognathus</i>	<i>aurifrons</i>							R
Pomacanthidae	<i>Holocanthus</i>	<i>tricolor</i>				*			*
	<i>Pomacanthus</i>	<i>arcuatus</i>			R	E			
		<i>paru</i>	E		R	R			
Pomacentridae	<i>Abudefduf</i>	<i>saxantilis</i>	D	A	E				
		<i>Chromis</i>	<i>cyanea</i>				E		
	<i>multilineata</i>						E		
	<i>Stegastes</i>	<i>diencaeus</i>	C	E	E				
		<i>partitus</i>	C	C	A	A			D
<i>variabilis</i>		R	E	R					
Scaridae	<i>Nicholsina</i>	<i>usta</i>	R		R	E			
	<i>Scarus</i>	<i>iserti</i>							E
	<i>Sparisoma</i>	<i>chrysopterygium</i>				R			
		<i>radians</i>	E	E	R	E			E
		<i>viride</i>		E	R				E
Scianidae	<i>Pareques</i>	<i>acuminatus</i>			E				
Scorpaenidae	<i>Pterois</i>	<i>volitans</i>			R	*			
	<i>Scorpaena</i>	<i>plumieri</i>							*
Serranidae	<i>Epinephelus</i>	<i>fulva</i>							R
	<i>Serranus</i>	<i>tigrinus</i>			*	E			
Sparidae	<i>Calamus</i>	<i>calamus</i>							*
Sphyraenidae	<i>Sphyraena</i>	<i>barracuda</i>				E			
Tetraodontidae	<i>Canthigaster</i>	<i>rostrata</i>	C	C	C	A	D		D
	<i>Sphoeroides</i>	<i>spengleri</i>							
<b>Total</b>			<b>13</b>	<b>13</b>	<b>30</b>	<b>24</b>	<b>1</b>		<b>16</b>

**Tipos de ambientes:** L-rug/a = Laja rugosa con algas; L-sed/a = Laja con sedimentos y algas; L-lis/a = Laja lisa con algas; L-gor = Laja con gorgonáceos; Past = Pastizal; Ar-som = Arenal somero; Ar-pro = Arenal profundo.

En el muestreo de la época de secas, se registraron un total de 47 especies de peces, distribuidas en 30 géneros y 24 familias. La especie con mayor representatividad, de acuerdo al número de ambientes donde fue observado, fue *Halichoeres bivittatus*, estando presente en cinco de los siete ambientes descritos; siendo dominante en Lrug/a, L-sed/a y Ar-som; abundante en L-lis/a y escaso en el ambiente L-gor. La especie *Thalassomabifasciatum* fue abundante en L-rug/a, L-lis/a y en Past; mientras que en L-gor presentó dominancia. Las especies con menos representatividad (solo registrados en un ambiente) y con un estatus de “raro” de acuerdo al bajo número de organismos observados fueron: *Serranustigrinus*; *Pomacanthus arcuatus*, *Holocanthustricolo*, *Diodonholocanthus*, *Chaetodonocellatus*, *Caranx ruber*, *Aulostomus maculatus*, *Apogonmaculatus*.

Lista de especies y abundancia relativa de peces arrecifales para el SA en época de secas. D = Dominante (>20%), A = Abundante (10-20%), C = Común (5-10%), E = Escaso (1-5%), R = Raro (<1%).

Familia	Género	Especie	L-rug/a	L-sed/a	L-lis/a	L-gor	Past	Ar-som	Ar-pro
Acanthuridae	<i>Acanthurus</i>	<i>chirurgus</i>	E		C				
		<i>coeruleus</i>	E	E	E	C			
Apogonidae	<i>Apogon</i>	<i>maculatus</i>				R			
Aulostomidae	<i>Aulostomus</i>	<i>maculatus</i>				R			
Bothidae	<i>Bothus</i>	<i>lunatus</i>							C
Carangidae	<i>Caranx</i>	<i>crysos</i>	E		E	*		*	
		<i>ruber</i>			R				
Chaetodontidae	<i>Chaetodon</i>	<i>capistratus</i>				E			
		<i>ocellatus</i>			R				
		<i>striatus</i>			R	E			
Dasyatidae	<i>Dasyatis</i>	<i>americana</i>					*		
Diodontidae	<i>Diodon</i>	<i>holocantus</i>	R						
Gerreidae	<i>Gerres</i>	<i>cinereus</i>					E		
Haemulidae	<i>Haemulon</i>	<i>carbonarium</i>	A		E				
		<i>chrysargyreum</i>							C
		<i>flavolineatum</i>	E		C				
Labridae	<i>Halichoeres</i>	<i>bivittatus</i>	D	D	A	E		D	
		<i>garnoti</i>				E			
		<i>poeyi</i>						A	
		<i>radiatus</i>			R			C	
	<i>Thalassoma</i>	<i>bifasciatum</i>	A		A	D	A		
Labrisomidae	<i>Malacoctenus</i>	<i>triangulatus</i>			R	E			
Lutjanidae	<i>Lutjanus</i>	<i>analisis</i>					E		C
		<i>apodus</i>					*		
	<i>Ocyurus</i>	<i>chrysurus</i>			E			D	
Mullidae	<i>Pseudopeneus</i>	<i>maculatus</i>	E		R		E		
Pomacanthidae	<i>Holocanthus</i>	<i>tricolor</i>				R			
	<i>Pomacanthus</i>	<i>arcuatus</i>				R			
		<i>paru</i>			R	*			
Pomacentridae	<i>Abudefduf</i>	<i>saxantilis</i>	A	D	E		D		
	<i>Stegastes</i>	<i>diencaeus</i>	E		E		D	A	

Familia	Género	Especie	L-rug/a	L-sed/a	L-lis/a	L-gor	Past	Ar-som	Ar-pro
		<i>fuscus</i>	E						
		<i>partitus</i>			E	E			
		<i>planifrons</i>			R				
		<i>variabilis</i>			R				
Priacanthidae	<i>Priacanthus</i>	<i>arenatus</i>			R				
Ptereleotridae	<i>Ptereleotris</i>	<i>helenae</i>							C
Scaridae	<i>Nicholsina</i>	<i>usta</i>			R		E		
	<i>Sparisoma</i>	<i>aurofrenatum</i>			R	R			
		<i>radians</i>	R			R			
		<i>viride</i>			R	R			
Scianidae	<i>Pareques</i>	<i>acuminatus</i>		E	E		A		
Scorpaenidae	<i>Pterois</i>	<i>volitans</i>				R			
Serranidae	<i>Epinephelus</i>	<i>fulvus</i>			E	R			
	<i>Serranus</i>	<i>tigrinus</i>				R			
Tetraodontidae	<i>Canthigaster</i>	<i>rostrata</i>	C		D	D			D
Urobatidae	<i>Urobatis</i>	<i>jamaicensis</i>				E			
<b>Total</b>			<b>14</b>	<b>4</b>	<b>27</b>	<b>20</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>6</b>

**Tipos de ambientes:** L-rug/a = Laja rugosa con algas; L-sed/a = Laja con sedimentos y algas; L-lis/a = Laja lisa con algas; L-gor = Laja con gorgonáceos; Past = Pastizal; Ar-som = Arenal somero; Ar-pro = Arenal profundo.

### Abundancia y riqueza específica

En época de lluvias, la mayor densidad de peces se registró en el ambiente L-rug/a con 2.2 org/m<sup>2</sup>; con una riqueza de 13 especies, misma riqueza que se observó en L-sed/a; mientras que la mayor riqueza se presentó en el ambiente L-lis/a con 30 especies de peces y una densidad de 1.8 org/m<sup>2</sup>, estando prácticamente con una densidad similar el ambiente L-gor con un total de 1.7 org/m<sup>2</sup>, registrando la segunda riqueza más alta para esta zona con 24 especies. El ambiente Ar-pro presentó una riqueza de 16 especies y una densidad de 1.4 org/m<sup>2</sup>.

En la época de secas, la mayor densidad y riqueza de peces se registró en el ambiente L-lis/a con un 2.0 ind/m<sup>2</sup> y 27 especies presentes; seguido por los ambientes L-gor y L-rug/a con unas densidades de 1.5 ind/m<sup>2</sup> y 1.1 ind/m<sup>2</sup>, y una riqueza de 20 y 14 especies respectivamente. Los ambientes de arenal, Ar-som y Ar-pro registraron las densidades más bajas con 0.07 ind/m<sup>2</sup> y 0.1 ind/m<sup>2</sup>; mientras que la menor riqueza se presentó en el ambiente L-sed/a con cuatro especies observadas.

### Diversidad y equitabilidad

En época de lluvias, la más alta diversidad se registró en el ambiente L-lis/a con un valor de H'=2.4166 y una equitabilidad de J'=0.7105; el ambiente L-gor presentó la segunda diversidad y equitabilidad más alta con H'=2.3897 y J'=0.7520. La mayor equitabilidad se presentó en L-sed/a con un valor de J'=0.7551 y una diversidad 1.9369; Ar-pro registró valores de H'=1.9120 y la

equitabilidad más baja para esta zona con  $J'=0.6896$ ; mientras que el ambiente L-rug/a obtuvo la diversidad más baja con un valor de  $H'=1.8293$  y una equitabilidad de  $J'=0.7132$ .

En la época de secas, el ambiente con mayor diversidad fue L-lis/a con un valor de  $H'=2.3076$  y una equitabilidad de  $J'=0.7001$ ; el ambiente L-rug/a registró una diversidad de  $H'=2.0203$  con una equitabilidad de  $J'=0.7655$ ; los ambientes L-gor y Past presentaron una diversidad de  $H'=1.6604$  y  $H'=1.4314$ , con una equitabilidad de  $J'=0.5542$  y  $J'=0.7358$  respectivamente, siendo el ambiente L-gor donde se observó el valor más bajo de equitabilidad; mientras que la menor diversidad se registró en el ambiente L-sed/a con una  $H'=0.8568$ .

### *Estructura de tallas*

En época de lluvias, se definieron seis categorías de tallas dominando en todos los ambientes los peces pequeños categoría I. El ambiente L-gor fue el único donde se observó el espectro completo de tallas, dominando de menor a mayor tamaño de acuerdo a la frecuencia de registro, donde los peces pequeños categoría I aportaron 70.6% de frecuencia; los peces categoría II aportaron 13.7% de frecuencia; los de categoría III registraron 9.5%; los peces de categoría IV aportaron 3.1%; y finalmente los peces grandes categoría V y VI aportaron 1.5% cada una. Los ambientes L-rug/a y L-lis/a registraron las primeras categorías de tamaños, dominando los peces pequeños categoría I con 80.0% y 74.7% respectivamente. El ambiente Ar-pro registro cuatro categorías, y al igual que en todos los ambientes, los peces de menor tamaño aportaron la mayor frecuencia con 79.2%. Los ambientes L-sed/a y Past fueron los que obtuvieron el menor espectro de tallas con tres y una categoría respectivamente.

En la época de secas también se registraron las 6 categorías de talla, siendo los ambientes L-lis/a y L-gor, fueron los que registraron un mayor espectro de tamaño de peces, estando representadas cinco de las seis categorías, donde dominaron los peces pequeños categoría I, con una frecuencia de 87.9% para L-lis/a y 86.2% para el ambiente L-gor. El ambiente L-rug/ registró cuatro categorías, dominando los peces pequeños categoría I con un 60.7% de frecuencia. Para los ambientes Past y Ar-pro fueron registradas tres categorías, y al igual que el resto de los ambientes, los peces pequeños fueron los que aportaron la mayor frecuencia de registro, con más del 80%. En los ambientes L-se/a y Ar-som solo se observaron peces pequeños categoría I y II, dominando la categoría I.

### *Grupos funcionales*

En época de lluvias, los ambientes L-gor y Ar-pro presentaron los cinco grupos tróficos definidos para este muestreo, dominando los peces bentófagos con una frecuencia de 45.4% en el primer ambiente mencionado, y los peces omnívoros en el ambiente Ar-pro. El ambiente L-lis/a registró cuatro grupos tróficos,

obteniendo la mayor frecuencia los peces bentófagos con 54.7% de frecuencia, siguiendo los peces omnívoros con 33.4%, mientras que los piscívoros aportaron solo 4.7%. Los ambientes L-sed/a y L-rug/a ambos presentaron tres grupos tróficos aportando la mayor frecuencia los peces bentófagos en los dos ambientes, con el 49.3% y el 51.4% respectivamente, siguiendo los peces Omnívoros con un aporte del 38.6% para el ambiente L-sed/a y con un 46.8% de frecuencia en el ambiente L-rug/a.

En la época de secas se registraron cinco grupos tróficos en toda la zona de estudio; ningún ambiente presentó el espectro completo. En los ambientes L-rug/a y L-lis/a se observaron cuatro grupos tróficos, dominando los peces bentófagos con una frecuencia de 71.5% y 45.4% respectivamente; en L-gor y Past, también se registraron cuatro grupos tróficos, sin embargo, aquí la dominancia la presentaron los peces omnívoros, con una frecuencia de 58.0% y 79.3% para cada ambiente. El ambiente Ar-som fue el que registró un menor espectro, con solo dos grupos tróficos representados, los peces bentófagos con un aporte del 75% y los peces omnívoros con el resto del porcentaje de observación.

#### *Comparación en las dos épocas del año*

La comunidad de peces presentó una cierta estabilidad en los parámetros comunitarios estimados entre los muestreos de la época de lluvias y secas. Los cambios más notorios se observan en 2 tipos de ambientes, L-sed/a y Ar-pro, con una disminución importante en los valores de riqueza específica y abundancia, aunque las especies dominantes son similares. También se observa incremento en los valores estimados para los ambientes del Past y del Ar-som y un cambio en las especies dominantes.

Comparación de los valores de la riqueza específica, abundancia y especies dominantes para peces arrecifales por tipo de ambiente en 2 épocas: lluvias y secas.

Ambiente	Riqueza específica (#sp)		Abundancia (ind/m <sup>2</sup> )		Especies dominantes	
	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas
L-rug/a	13	14	2.16	1.08	Hbiv, Tbif, Asax	Hbiv, Tbif, Asax
L-sed/a	13	4	1.50	0.38	Hbiv	Hbiv, Asax
L-lis/a	30	27	1.78	2.00	Tbif	Cros
L-gor	24	20	1.75	1.52	Tbif	Tbif, Cros
Past	1	7	0.04	0.24	Cros	Asax, Sdie
Ar-som	0	5	0.00	0.07	-	Hbiv
Ar-pro	16	6	1.41	0.15	Spar, Cros	Ocry, Cros

### **Vegetación marina (macroalgas y pastos marinos)**

#### *Distribución y composición de especies*

En época de lluvias, para la vegetación marina, se encontró una elevada riqueza específica, registrando un total de 49 especies pertenecientes a 29 géneros y 5 phyla, encontrando diferentes asociaciones de especies características para cada tipo de ambiente. Los ambientes de laja presentan una asociación de algas

rojas en la L-rug/a, algas verdes calcáreas en la L-lis/a y en la L-gor, y una combinación de ambas en la L-sed/a. En el ambiente de Pastizal, los pastos marinos son dominantes, encontrando las tres especies de pastos características del Caribe, *Thalassia testudinum*, *Syringodium filiforme* y *Halodule wrightii*. Finalmente, para las áreas del Arenal, las algas verdes calcáreas de crecimiento erecto fueron las más abundantes.

Lista de especies y abundancia relativa de la vegetación marina del SA en época de lluvias. D = Dominante (>20%), A = Abundante (10-20%), C = Común (5-10%), E = Escaso (1-5%), R = Raro (<1%).

División	Género	Especie	L-rug/a	L-sed/a	L-lis/a	L-gor	Past	Ar-som	Ar-pro
Chlorophyta	<i>Avrainvillea</i>	<i>asarifolia</i>	C	D	E	E			C
	<i>Caulerpa</i>	<i>cupressoides</i>			E				
		<i>paspalooides</i>	E		R				
		<i>prolifera</i>		E					
		<i>verticillata</i>			R				
	<i>Dasya</i>	<i>harveyi</i>							A
	<i>Dasycladus</i>	<i>vermicularis</i>				E			
	<i>Derbesia</i>	<i>marina</i>	E	C					
	<i>Halimeda</i>	<i>incrassata</i>	R		E				E
		<i>lacrimosa</i>				R			
		<i>opuntia</i>	E		C	E			
		<i>tuna</i>	E		D	C	E		
	<i>Neomeris</i>	<i>anulata</i>			R				
	<i>Penicillus</i>	<i>capitatus</i>	E	E		E			
		<i>dumetosus</i>	E	E	R	C	A		E
		<i>lamourouxii</i>		C			E		
	<i>Rhipocephalus</i>	<i>phoenix</i>	E	C	D	D	E		D
	<i>Udotea</i>	<i>cyathiformis</i>				E			
		<i>fibrosa</i>	R		E				E
		<i>flabellum</i>				C			
		<i>occidentalis</i>		E					
		<i>spinulosa</i>		E					E
		<i>wilsoni</i>	R						E
<i>Valonia</i>	<i>macrophysa</i>			R					
Phaeophyta	<i>Dictyota</i>	<i>bartayresiana</i>			R				
		<i>cavernosa</i>	R						
		<i>crenulata</i>			C	A		E	
		<i>menstrualis</i>				R			
		<i>pinnatifida</i>			R				
		<i>pulchella</i>	E		C				
	<i>Padina</i>	<i>sp.</i>	E						
	<i>Sargassum</i>	<i>fluitans</i>	E			E			A
		<i>natans</i>			R	E			
		<i>zonale</i>				E			
Rhodophyta	<i>Acanthophora</i>	<i>spicifera</i>		C	E	E			
	<i>Amphiroa</i>	<i>fragilissima</i>	A		E				
		<i>rigida</i>			R	E			
	<i>Bostrychia</i>	<i>tenella</i>	C	D					
	<i>Ceramium</i>	<i>nitens</i>			E				
	<i>Galaxaura</i>	<i>rugosa</i>				C			
	<i>Gracilaria</i>	<i>caudata</i>	E						
	<i>Heterosiphonia</i>	<i>gibbesi</i>	R						
	<i>Hydrolithon</i>	<i>boerguesenii</i>	E		E				
	<i>Laurencia</i>	<i>poiteaui</i>	E	E	R	A		A	
<i>Neogoniolithon</i>	<i>strictum</i>	D		E					
Cyanobacteria	<i>Lyngbya</i>	<i>sp.</i>	E	E		E			
Magnoliophyta	<i>Halodule</i>	<i>wrightii</i>					A	C	
	<i>Syringodium</i>	<i>filiforme</i>					D		
	<i>Thalassia</i>	<i>testudinum</i>					E		
<b>Total</b>			<b>23</b>	<b>13</b>	<b>24</b>	<b>20</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>12</b>

**Tipos de ambientes:** L-rug/a = Laja rugosa con algas; L-sed/a = Laja con sedimentos y algas; L-lis/a = Laja lisa con algas; L-gor = Laja con gorgonáceos; Past = Pastizal mixto; Ar-som = Arenal somero; Ar-pro = Arenal profundo.

En el muestreo de la época de secas se observó una reducción en la riqueza específica en general, teniendo un registro de 40 especies, 24 géneros y 5 phyla. Las especies más abundantes son las de los géneros *Halimeda*, *Penicillus* y *Rhipocephalus*, pero con mayor presencia de algas rojas que en el periodo de la época de lluvias. El ambiente de Pastizal parece no presentar cambios, al tener dominancia de las 3 especies de pastos características del Caribe, *Thalassia testudinum*, *Syringodium filiforme* y *Halodule wrightii*. Finalmente, para las áreas del Arenal las algas verdes calcáreas de crecimiento erecto siguieron siendo las más abundantes.

Lista de especies y abundancia relativa de la vegetación marina del SA en época de secas. D = Dominante (>20%), A = Abundante (10-20%), C = Común (5-10%), E = Escaso (1-5%), R = Raro (<1%).

División	Género	Especie	L-rug/a	L-sed/a	L-lis/a	L-gor	Past	Ar-som	Ar-pro	
Chlorophyta	<i>Avrainvillea</i>	<i>asarifolia</i>		A	C	C			E	
	<i>Caulerpa</i>	<i>cupressoides</i>				R	R			
		<i>paspaloides</i>				E		E		
		<i>prolifera</i>							D	
		<i>verticillata</i>				E	R			
	<i>Derbesia</i>	<i>marina</i>		C						
	<i>Halimeda</i>	<i>gracilis</i>								E
		<i>incrassata</i>						E		E
		<i>opuntia</i>	C			C		E		
		<i>scabra</i>				E				
	<i>Penicillus</i>	<i>tuna</i>	A			A	C	C		
		<i>capitatus</i>			C	E		E	A	
		<i>dumetosus</i>	A		C		E			
	<i>Rhipocephalus</i>	<i>pyriformis</i>	A			E	C	A	A	A
		<i>phoenix</i>	A	A		A	D			D
	<i>Udotea</i>	<i>cyathiformis</i>					R			
		<i>fibrosa</i>				E	C			A
		<i>flabellum</i>					E			
<i>wilsoni</i>						R				
<i>Valonia</i>	<i>macrophysa</i>							C		
Phaeophyta	<i>Dictyota</i>	<i>crenulata</i>	C	C	E					
		<i>crispata</i>			C					
		<i>pulchella</i>			E		E			
Rhodophyta	<i>Acanthophora</i>	<i>spicifera</i>	E	A	E		E		E	
	<i>Amphiroa</i>	<i>rigida</i>			R	R				
		<i>spicifera</i>							A	
	<i>Bostrychia</i>	<i>tenella</i>	C	D				C		
	<i>Galaxaura</i>	<i>sp.</i>				E				
	<i>Heterosiphonia</i>	<i>gibbesi</i>							E	
	<i>Hydrolithon</i>	<i>boerguesenii</i>	A		E					
	<i>Hypnea</i>	<i>cervicornis</i>		A	A			C		
	<i>Laurencia</i>	<i>papillosa</i>		A					E	
<i>poiteaui</i>					E		C			
<i>Liagora</i>	<i>sp.</i>			R			C			
Magnoliophyta	<i>Halodule</i>	<i>wrightii</i>							A	
	<i>Syringodium</i>	<i>filiforme</i>					D			
	<i>Thalassia</i>	<i>testudinum</i>					D			
Cyanobacteria	<i>Lyngbya</i>	<i>sp.</i>	A		C	A				
	<i>Styopodium</i>	<i>zonale</i>			R	E				
	<i>Symploca</i>	<i>sp.</i>				R				
<b>No. de especies</b>			<b>10</b>	<b>10</b>	<b>22</b>	<b>16</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	

**Tipos de ambientes:** L-rug/a = Laja rugosa con algas; L-sed/a = Laja con sedimentos y algas; L-lis/a = Laja lisa con algas; L-gor = Laja con gorgonáceos; Past =; Pmix = Pastizal mixto; Ar-som = Arenal somero; Ar-pro = Arenal profundo.



### *Abundancia y riqueza específica*

En época de lluvias, el ambiente de Pastizal (Past), es el que tiene el valor más alto de cobertura vegetal debido a que la comunidad de pastos marinos es muy densa. El resto de los ambientes presentan una cobertura de algas entre el 30 y 40%, lo cual representa valores bajos en comparación con otros sitios de la región; a excepción del Arenal somero (Ar-som) que no presentó vegetación.

En la época de secas la cobertura estuvo entre 19 y 43% en los ambientes de laja, del 36% para el Pastizal (Pas) y de 3% con algas para el Arenal somero (Ar-som) y 21% para el Arenal profundo (Ar-pro). En cuanto a la riqueza específica, el valor más alto se encontró en L-lis/a con 22 especies, seguido de la L-gor que tuvo 16, y el resto de los ambientes tienen entre 8 y 10 especies.

### *Diversidad y equitabilidad*

En época de lluvias, la diversidad de algas presentó valores más altos, alrededor de  $H' = 2.3$  y  $2.6$  en los cuatro ambientes de laja, con valores de equitabilidad entre  $J' = 0.7$  y  $0.9$ ; mientras que el Arenal profundo tuvo valores de  $H' = 2.0$  y  $J' = 0.8$ . Los valores más bajos fueron para el ambiente del Pastizal, con  $H' = 1.3$  y  $J' = 0.67$ , debido a la dominancia de los pastos marinos. En el Arenal somero no se encontraron especies de algas marinas.

En la época de secas la diversidad de algas fue muy similar en la mayoría de los ambientes, teniendo el valor más alto en el ambiente L-lis/a con un valor de 2.64, y el más bajo en el Pastizal con valor de 1.76; el resto de los ambientes tuvo valores entre 1.9 y 2.1. En cuanto a la equitabilidad se estimaron valores entre 0.84 y 0.95 en la mayoría de los ambientes, a excepción de L-gor que tuvo el valor más bajo de 0.7 y el Pastizal con un valor de 0.76.

### *Grupos funcionales*

Finalmente, el análisis de grupos funcionales para macroalgas, en época de lluvias, muestra una abundancia de algas verdes calcáreas en la mayoría de los ambientes, y una baja presencia de algas verdes carnosas. En el ambiente L-rug/a destaca la abundancia de algas rojas calcáreas, debido a la dominancia del alga de la especie *Bostrychia tenella*; y en el ambiente del Pastizal se denota la dominancia de pastos marinos. Las cianobacterias se encuentran en 3 tipos de ambientes, siendo un indicador de alta presencia de nutrientes en la zona.

En la época de secas el patrón de distribución de grupos funcionales para las algas mostró un patrón similar, con una abundancia de algas verdes calcáreas de los géneros *Halimeda*, *Penicillus*, *Rhipocephalus* y *Udotea* en la mayoría de los tipos de ambiente, y una abundancia de aproximadamente el 60% de pasto marino en el ambiente Pastizal. Las cianobacterias mostraron un incremento importante en las estaciones con sustrato de laja.

### Comparación en las dos épocas del año

En cuanto a la vegetación marina se observa en general un decremento en la riqueza específica y abundancia, aunque las especies dominantes permanecen similares en la mayoría de los casos. Se aprecia una disminución importante de estos parámetros para los ambientes L-rug/a; un incremento de los mismos en el Ar-som que en la época de lluvias no tuvo registro; mientras que en el ambiente del Past se registró un incremento de especies, pero una disminución importante de su cobertura. Estas variaciones pueden deberse a los cambios estacionales que de manera natural presenta la comunidad vegetal en los ambientes marinos, en función de la temperatura del agua.

Comparación de los valores de la riqueza específica, abundancia y especies dominantes para vegetación marina por tipo de ambiente en dos épocas: lluvias y secas

Ambiente	Riqueza específica (#sp)		Abundancia (% cob)		Especies dominantes	
	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas
L-rug/a	23	10	40.00	28.00	Nstri	Hboe
L-sed/a	13	10	40.67	19.00	Aasa, Bten	Bten
L-lis/a	24	22	28.53	32.00	Htun, Rpho,	Htun, Rph
L-gor	20	16	40.00	43.33	Rpho	Rpho
Past	7	10	85.33	36.50	Sfil	Sfil, Ttes
Ar-som	0	8	-	3.25	-	Cpro
Ar-pro	12	11	25.33	21.00	Rpho	Rpho

### Invertebrados

Adicionalmente, se realizó un registro de otro tipo de invertebrados presentes en los diferentes ambientes encontrados para el SA del proyecto.

#### *Distribución y composición de especies*

En el área de estudio, en la época de lluvias, se registraron un total de 30 especies de invertebrados, pertenecientes a 26 géneros y 24 familias. Se registraron organismos pertenecientes a 7 diferentes grupos, tales como anélidos, anémonas, coralimorfos, equinodermos, esponjas, moluscos y zoántidos. Se muestrearon un total de 401 individuos en los 7 ambientes en los que se dividió el área de estudio ya referida.

El ambiente donde se encontró el mayor número de especies fue L-lis/a, con 23, mientras que en los ambientes Past y Ar-som no se registró ninguna. En términos de abundancia relativa, la especie dominante fue el equinodermo *Echinometra viridis*, principalmente en las zonas de sustrato duro.

Lista de especies de invertebrados en el SA en la época de lluvias. D=Dominante; A = Abundante; C = Común; E = Escaso; R = Raro.

Grupo	Familia	Género	Especie	L-rug/a	L-sed/a	L-lis/a	L-gor	Past	Ar-som	Ar-pro	
Anélido	Sabellidae	<i>Bispira</i>	<i>brunnea</i>			E					
	Serpulidae	<i>Spirobranchus</i>	<i>giganteus</i>			E					
Anémona	Stichodactylidae	<i>Stichodactyla</i>	<i>helianthus</i>			E	E				
Coralimorfo	Ricordeidae	<i>Ricordea</i>	<i>florida</i>			E	E				
Equinodermo	Cidaridae	<i>Eucidaris</i>	<i>tribuloides</i>			E					
	Diadematidae	<i>Diadema</i>	<i>antillarum</i>			C	E				
	Echinometridae	<i>Echinometra</i>	<i>viridis</i>	D	D	A	A				
	Ophidiasteridae	<i>Linckia</i>	<i>gouldingii</i>				E				
	Ophionereididae	<i>Ophionereis</i>	<i>reticulata</i>		E						
	Oreasteridae	<i>Oreaster</i>	<i>reticulatus</i>			E					
Esponja	Aplysinidae	<i>Aplysina</i>	<i>cauliformis</i>			E				A	
			<i>fistularis</i>			E	C				
			<i>fulva</i>			E	D			C	
	Axinellidae	<i>Dragmacidon</i>	<i>sp</i>			E	C				
			<i>Ptilocaulis</i>	<i>sp</i>			E				
	Callyspongiidae	<i>Callyspongia</i>	<i>vaginalis</i>			E	A			C	
	Clathrinidae	<i>Clathrina</i>	<i>canariensis</i>							E	
	Clionaidae	<i>Anthosigmella</i>	<i>varians</i>			E					E
			<i>Cliona</i>	<i>caribbaea</i>	E	A	D	C			
	Dysideidae	<i>Dysidea</i>	<i>etheria</i>			E	C				
	Irciniidae	<i>Ircinia</i>	<i>campana</i>				E				E
			<i>felix</i>	E							E
			<i>strobilina</i>				D	E			
	Microcionidae	<i>Clathria</i>	<i>sp</i>			E					
Pseudoceratinidae	<i>Pseudoceratina</i>	<i>crassa</i>			E				E		
Thorectidae	<i>Hyrtios</i>	<i>violaceus</i>	R								
Molusco	Octopodidae	<i>Octopus</i>	<i>sp</i>		E	E					
	Ovulidae	<i>Cyphoma</i>	<i>gibbosum</i>	R		E	E				
	Strombidae	<i>Strombus</i>	<i>gigas</i>				E				
Zoántido	Sphenopidae	<i>Palythoa</i>	<i>caribaeorum</i>			E	E				
<b>No de especies</b>				<b>5</b>	<b>4</b>	<b>23</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	

**Tipos de ambientes:** L-rug/a = Laja rugosa con algas; L-sed/a = Laja con sedimentos y algas; L-lis/a = Laja lisa con algas; L-gor = Laja con gorgonáceos; Past =; Pmix = Pastizal mixto; Ar-som = Arenal somero; Ar-pro = Arenal profundo.

En el muestreo de la época de secas, en el área de estudio se registró un total de 35 especies de invertebrados, pertenecientes a 30 géneros y 29 familias. Estos organismos se incluyeron 7 diferentes grupos, tales como anélidos, anémonas, coralimorfos, crustáceos, equinodermos, esponjas, moluscos, tunicados y zoántidos. Se muestrearon un total de 342 individuos en los 7 ambientes en los que se dividió el área de estudio ya referida. El ambiente donde se encontró el mayor número de especies fue L-lis/a, con 24, mientras que en el ambiente Past solamente se registró una. En términos de abundancia relativa, la especie dominante fue el equinodermo *Echinometra viridis*, principalmente en las zonas de sustrato duro.

Lista de especies de invertebrados en el SA en la época de secas. D = Dominante; A = Abundante; C = Común; E = Escaso; R = Raro.

Grupo	Familia	Género	Especie	L-rug/a	L-sed/a	L-lis/a	L-gor	Past	Ar-som	Ar-pro	
Anélido	Amphinomidae	<i>Hermodice</i>	<i>carunculata</i>			E			E		
	Serpulidae	<i>Spirobranchus</i>	<i>giganteus</i>			E	R		E		
Anémona	Actiniidae	<i>Condylactis</i>	<i>gigantea</i>			E					
	Stichodactylidae	<i>Stichodactyla</i>	<i>helianthus</i>				E				
Coralimorfo	Ricordeidae	<i>Ricordea</i>	<i>florida</i>			E					
Crustáceo	Diogenidae	<i>Paguristes</i>	<i>sp</i>	E							
	Inachidae	<i>Stenorhynchus</i>	<i>seticornis</i>				E			D	
	Palaemonidae	<i>Periclimenes</i>	<i>yucatanicus</i>				R				
Equinodermo	Cidaridae	<i>Eucidaris</i>	<i>tribuloides</i>			E					
	Diadematidae	<i>Diadema</i>	<i>antillarum</i>	E		E	R		E		
	Echinometridae	<i>Echinometra</i>	<i>viridis</i>	D	D	A			D		
	Mellitidae	<i>Mellita</i>	<i>quinquiesperforata</i>						E	D	
	Toxopneustidae	<i>Tripneustes</i>	<i>ventricosus</i>	E		E	R	D	E		
Esponja	Aplysinidae	<i>Aplysina</i>	<i>cauliformis</i>			E	E				
			<i>fistularis</i>	E		E					
			<i>fulva</i>			E	D		E		
	Axinellidae	<i>Ptilocaulis</i>	<i>sp</i>			E	R				
	Callyspongiidae	<i>Callyspongia</i>	<i>vaginalis</i>			E	E				
	Clionidae	<i>Anthosigmella</i>	<i>varians</i>			E	R				
			<i>Cliona</i>	<i>caribbaea</i>	E		A			E	
	Crambeidae	<i>Monanchora</i>	<i>sp</i>			E					
	Desmacididae	<i>Desmapsamma</i>	<i>anchorata</i>			C	R			D	
	Dysideidae	<i>Dysidea</i>	<i>etheria</i>			A	E				
	Irciniidae	<i>Ircinia</i>	<i>campana</i>				E				
			<i>felix</i>				E				
			<i>strobilina</i>	D	D	A	E				
	Niphatidae	<i>Niphates</i>	<i>digitalis</i>				E				
	Petrosiidae	<i>Xestospongia</i>	<i>muta</i>				E				
Pseudoceratinidae	<i>Pseudoceratina</i>	<i>crassa</i>			E	E					
Tetillidae	<i>Cinachyra</i>	<i>sp</i>				R					
Molusco	Ranellidae	<i>Charonia</i>	<i>variegata</i>			E	R				
	Strombidae	<i>Strombus</i>	<i>costatus</i>		C				E	D	
			<i>gigas</i>	E							
Tunicado	Didemnidae	<i>Trididemnum</i>	<i>solidum</i>	E							
Zoántido	Sphenopidae	<i>Palythoa</i>	<i>caribaeorum</i>	E		E	R				
<b>No de especies</b>				<b>10</b>	<b>3</b>	<b>24</b>	<b>20</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	

**Tipos de ambientes:** L-rug/a = Laja rugosa con algas; L-sed/a = Laja con sedimentos y algas; L-lis/a = Laja lisa con algas; L-gor = Laja con gorgonáceos; Past =; Pmix = Pastizal mixto; Ar-som = Arenal somero; Ar-pro = Arenal profundo.

### Abundancia y riqueza específica

En la época de lluvias, la mayor densidad de invertebrados se registró en el ambiente L-rug/a, con 1.17 ind/m<sup>2</sup>. Hubo dos ambientes en los que no se registró ninguna especie de invertebrados, siendo estos Past y Ar-som. En cuanto a la riqueza específica, el ambiente donde se registraron los valores más altos fue L-lis/a, con 23. De igual forma que en el caso de la densidad, los ambientes en los cuales no hubo registros fueron los mismos.

En la época de secas, la mayor densidad de invertebrados se registró en el ambiente L-gor, con 1.35 ind/m<sup>2</sup>. Por el contrario, el ambiente con la menor densidad resultó ser Past, con un valor de 0.01 ind/m<sup>2</sup>. En cuanto a la riqueza

específica, el ambiente donde se registraron los valores más altos fue L-lis/a, con 24 especies. De igual manera que en el caso de la densidad, el ambiente en con la menor riqueza fue Past, con una especie registrada.

### *Comparación en las dos épocas del año*

Los invertebrados son un grupo que presenta algunas diferencias importantes entre los muestreos de la época de lluvias y secas, sobre todo en los ambientes con mayor complejidad estructural que provee refugio para este tipo de organismos. Siendo así, el ambiente de L-rug/a presenta una disminución de la riqueza específica, pero una abundancia y dominancia de especies similar. El ambiente A-som mostró un incremento de los valores debido a que no se obtuvieron registros de invertebrados en el muestreo de la época de lluvias; y en el Ar-pro también se observó un decremento en los valores de estos parámetros, debido a que en el muestreo de la época de secas cayó un parche de sustrato duro en los transectos.

Comparación de los valores de la riqueza específica, abundancia y especies dominantes para invertebrados por tipo de ambiente en dos épocas: lluvias y secas.

Ambiente	Riqueza específica (#sp)		Abundancia (ind/m <sup>2</sup> )		Especies dominantes	
	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas
L-rug/a	5	10	1.17	1.10	Evir	Evir, Istro
L-sed/a	4	3	0.42	0.47	Evir	Evir, Istro
L-lis/a	23	24	0.58	0.58	Ccar	Evir, Istro
L-gor	16	20	0.43	1.36	Aful	Aful
Past	0	1	0.00	0.02	-	Tven
Ar-som	0	9	0.00	0.40	-	Evir, Istro
Ar-pro	8	4	0.72	0.07	Acau	Sset, Mqui, Danc

### **Discusión**

El SAdel proyecto presenta un sistema arrecifal con poco desarrollo en su estructura, por lo que carece de la zonación típica de los arrecifes coralinos del Caribe Mexicano. De esta manera, las zonas estructurales características de Laguna Arrecifal, Cresta Arrecifal y Arrecife Frontal, con 2 a 3 subzonas para cada una (*sensu* Gutiérrez *et al.* 1993), no están presentes. En consecuencia, la ausencia de una barrera arrecifal genera ambientes marinos muy homogéneos, poco diversos y con escasa biota marina asociada. La parte somera está conformada por una planicie de laja calcárea cubierta de sedimento y macroalgas, en donde la heterogeneidad ambiental es muy baja, con presencia escasa y dispersa de colonias de coral de tamaño pequeño. Estas condiciones se asocian a una baja diversidad biológica, en donde los corales como principales constructores arrecifales se encuentran pobremente representados. Del mismo modo, en esta parte somera no existe una laguna arrecifal, por lo que la presencia de praderas de pasto marino es muy escasa y sólo se da en una pequeña porción al Sur del SA. En la parte profunda, la ausencia de un arrecife frontal con sistema de macizos y canales provoca que solamente se encuentren algunos parches de gorgonáceos, que en algunos sitios forma un escalón al

inicio de la laja calcárea sobre el canal de arena, siendo a menudo los sitios con mayor abundancia de biota marina.

En cuanto al grado de conservación que se presenta, la baja presencia de corales escleractinios, como principal elemento biótico por su papel como constructor arrecifal, provoca que el ambiente marino tenga escasa complejidad de ambientes, lo que se asocia con una biota marina poco diversa. En cuanto al hecho de que la estructura comunitaria de los corales escleractinios es muy pobre para el área de estudio aplica, no solo por la escasa cobertura de tejido vivo y bajo número de especies que presenta como se ha discutido anteriormente, sino también por la composición de especies presente en las distintas áreas arrecifales, ya que es notoria la marcada dominancia de la especie de coralmostaza (*Porites astreoides*), seguida de las especies de coral estrella masiva (*Siderastrea siderea*) en algunos sitios, y de coral lechuga delgada (*Agaricia tenuifolia*) en otros. Cabe destacar que estas especies son consideradas pioneras o ruderales en los procesos de sucesión biológica (*sensu* Grime y Pierce 2012), ya que estos corales son resistentes a la sedimentación y abrasión generada por la arena (Torres y Morelock 2002), formando una capa de mucus para retirar el sedimento (Cofforth 1985). Sin embargo, por el tamaño que alcanzan estas colonias y por su forma de crecimiento, estas especies tienen un reducido aporte a la acreción arrecifal y un papel ecológico poco relevante en los procesos biogénicos de la construcción arrecifal. En cambio, aquellas especies consideradas como las principales constructoras arrecifales, como son las del género *Acropora* en las partes someras y el coral de estrella rocoso (*Orbicella annularis*) en las intermedias y profundas, no se registraron en los muestreos de este estudio.

Por otra parte, en el SA, se observó que la cobertura vegetal en el muestreo de la época de lluvias fue del 40% en promedio, y hasta del 80% en las praderas de pasto marino, con una disminución considerable en la época de secas, con un 25% de cobertura vegetal y 40% en el ambiente de pastos marinos. En general se considera que estos valores de abundancia no están asociados con altos índices de eutroficación del agua, lo cual puede ser un indicio de que no existe gran contaminación del agua proveniente de tierra por esta vía. Así mismo, las variaciones estacionales ocurren de manera natural en la comunidad vegetal, en función de la temperatura del agua.

Para la comunidad de peces se han realizado varios estudios que apuntan a que diversos factores son los que regulan la distribución y abundancia de peces en el arrecife (Hixon y James 1989). La complejidad estructural en los ecosistemas genera diferentes tipos de micro hábitats, con lo cual se espera que promueva una alta diversidad y abundancia de organismo que ocupen estos nuevos nichos (Crowder y Cooper 1982), de modo que la complejidad arrecifal muestra una relación directa con la abundancia y ensamble de peces arrecifales (Graham y Nash 2013). La complejidad en un arrecife y/o ambiente marino, esta conferido tanto por elementos abióticos, como son rocas y relieve del sustrato, así como

elementos bióticos como son colonias de coral, praderas de algas y pastos marinos. Algunos investigadores señalan que, además de la disponibilidad de refugio, también intervienen el hábitat como sitio de desove y reclutamiento (Shulman and Ogden 1987). Esto puede explicar la alta frecuencia observada de peces pequeños (categoría I), aunado a que la mayor densidad de peces se registró en el ambiente L-Rug/a (Laja rugosa con algas), donde se observó un mayor relieve que proporcionan sitios de refugio para la fauna marina. Los ambientes de Ar-som (Arenal somero) y Past (Pastizal), fueron los ambientes con nulo o bajos registro de peces, en el primer ambiente mencionado, se debe a que no existe ningún tipo de estructuras o elementos que confieran un refugio para estos organismos; mientras que en el ambiente de Pastizal proporciona un poco de relieve, sin embargo, los peces que habitan en este ambiente son de tallas pequeñas y difíciles de observar. También es de mencionarse que se presentó una cierta estabilidad en los parámetros comunitarios estimados para la comunidad de peces entre los muestreos de la época de lluvias y secas. Es importante comentar que, en los ambientes más cercanos a la costa, como el Ar-som, se encontró bajo la influencia de los efectos de la “marea café” causada por el arribazón masivo del alga marina (*Sargassum spp.*) y todas las repercusiones que ello conlleva.

Sin embargo, después del análisis de la condición que guardan los diferentes grupos taxonómicos, en términos generales, se puede decir que el área marina de SA, definido para este proyecto, se encuentra en un grado de deterioro similar al que afecta todo el Sistema Arrecifal Mesoamericano en donde más del 50% de los arrecifes se encuentran en condición pobre o crítica debido a un decremento de la cobertura coralina asociado a un incremento de la cobertura de algas carnosas y filamentosas (Healthy Reefs 2015).

Por otro lado, el área en la que se tiene programado instalar las estructuras presenta una comunidad biótica muy pobre ya que estarán sobre el arenal somero. Se observa que en estos sitios el arrastre de sedimentos es alto, dado que no hay o existen pocos obstáculos que los estabilicen. Lo anterior es una de las principales razones de la baja cobertura de colonias coralinas y una dominancia de especies resistentes a la sedimentación y abrasión en otros ambientes cercanos al arenal, como es el coral mostaza (*Poritesastreoides*) y del negro *Siderastrea* en contadas porciones del sustrato de laja, pues estas son especies que se considera colonizadoras de ambientes con disturbios tectodinámicos y de sedimentación (Cofforth 1985, Torres y Morelock 2002). Sin embargo, a pesar de la baja presencia de biota marina relevante, se advierte que previo al inicio de las acciones para la instalación de estas estructuras se implementará, de ser necesario, la reubicación de biota marina que incluya a todos los organismos sésiles o de lento desplazamiento.

También es importante resaltar la presencia de las especies que se encuentran listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, los cuales son: *Plexaura homomalla*

y *Plexaurella dichotoma* así como los pastos *Halodule wrightii*, *Syringodium filiforme* y *Thalassia testudinum*.

## **Conclusión**

En conclusión, la parte marina para el proyecto presenta un sistema arrecifal con poco desarrollo en su estructura, por lo que carece de la zonación típica de los arrecifes coralinos del Caribe Mexicano. La ausencia de una Cresta Arrecifal provoca que los ambientes en este sitio sean muy homogéneos y con baja diversidad biológica, en donde los corales que se caracterizan por ser los principales constructores arrecifales, se encuentran escasamente representados.

La estructura comunitaria de los corales escleractinios es muy pobre, no solo por la escasa cobertura de tejido y bajo número de especies; sino también por la composición de especies con marcada dominancia de especies ruderales como las del género *Porites* y *Siderastrea*; y nula presencia de especies constructoras como son las de los géneros *Acropora* y *Orbicella*.

El área de arenal destinada para la instalación de las estructuras presenta una comunidad biótica pobre.

Por lo que toca a la especies de importancia en el SA se registró la presencia de cinco especies que se encuentran listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 sin embargo estas quedan fuera de la zona en la que se colocarán las piezas que conformarán el arrecife artificial.

### **IV.2.3 Paisaje**

Para describir el paisaje del área de estudio del proyecto se consideran diferentes componentes del mismo tales como visibilidad, calidad paisajística y la fragilidad del paisaje. Cada uno de estos componentes se define y relaciona con el proyecto, para poder determinar de manera cualitativa y descriptiva los efectos que se anticipa manifestará cada componente por efecto del proyecto.

*Visibilidad:* Se entiende como el espacio del territorio que puede apreciarse desde un punto o zona determinada. Con base en esta definición, El proyecto no aportará al paisaje elementos visibles desde la superficie del mar o la costa aun y cuando este tipo de estructuras dentro del mar son comunes en la región centro y norte del estado. Como se ha expuesto, los arrecifes artificiales estarán bajo la superficie del agua y en donde por sus dimensiones se prevé que serán prácticamente imperceptibles, por lo que la calidad visual será, en su caso, mermada minimamente.

*Calidad paisajística:* Dentro de este componente se consideran las características intrínsecas del sitio basadas en su morfología, vegetación, cuerpos de agua, entre otros. La calidad visual del entorno inmediato, en el que



se aprecien ciertos valores como las formaciones vegetales, litología, entre otros y finalmente, la calidad del fondo escénico, es decir, el fondo visual del área donde se establece el proyecto. Los elementos indicados otorgan gran importancia a la adecuada apreciación de los componentes naturales presentes en el predio. Si bien el proyecto que se evalúa se situará bajo del mar, este no afectará en gran medida la calidad paisajística de la zona en virtud de que será poco visible y de que toda la franja costera corresponde a desarrollos turísticos en donde la vegetación natural es prácticamente nula. Las estructuras a colocar sólo interferirán inicialmente con el paisaje submarino al ser un elemento ajeno; no obstante al pasar del tiempo estas piezas brindarán hábitat a distintos tipos de organismos y serán cubiertas por esponjas, algas, peces, corales y otros organismos que ayudarán a que estas se mimeticen entre el fondo marino y a su vez reguarden gran cantidad de peces al ofrecerles protección.

*Fragilidad:* Se refiere a la calidad del paisaje para absorber los cambios que se produzcan en él. Considerando que el paisaje del SA en donde se inserta el proyecto tiene una vocación de uso del suelo turístico y que corresponde en su parte terrestre a una franja destinada al aprovechamiento turístico en donde existen actualmente hoteles en construcción y en operación; aunado a lo que en la zona marina se desarrollan también diversas actividades derivadas del turismo, se advierte que el proyecto no aprovechará ninguna superficie en la parte terrestre ni removerá vegetación alguna. Este se colocará dentro del mar a una distancia y profundidad a la que será prácticamente invisible para las personas que visitan la playa. Si bien como se comentó líneas arriba, bajo el agua si eran visibles desde algunos metros de distancia, esto ocurrirá sólo en un inicio, ya que al pasar de los meses las estructuras que conformarán el arrecife artificial serán colonizadas por diversos organismos que se verán beneficiados al encontrar un sustrato adecuado, hábitat y protección, por lo que una vez ocurrido esto el proyecto se insertará adecuadamente a su entorno submarino.

Considerando lo arriba descrito para cada uno de los criterios mencionados con respecto al desarrollo del proyecto en el sitio previsto, se puede afirmar que su instalación y mantenimiento no afectará la percepción actual del paisaje toda vez que se inserta en un paisaje modificado para el uso turístico, lejos de la costa, bajo el mar y sin alterar las pocas áreas verdes naturales de la zona costera ni áreas de pastizales submarinos o zonas de arrecifes de coral.

No obstante lo anterior, a fin de realizar una evaluación de las características de los componentes del paisaje se optó por utilizar la metodología de valor escénico o calidad visual de Bureau of Land Management (BLM, 1980) en donde se evalúan independiente los principales componentes biofísicos y arquitectónicos del paisaje y las cualidades intrínsecas del espacio visual, estableciendo tres niveles de calidad visual intrínseca conforme al siguiente cuadro:

Peso	Descripción
0	Sin importancia
1	Muy poco importante

Peso	Descripción
2	Poco importante
3	De cierta importancia
4	Importante
5	Muy importante

En virtud de lo expuesto, la ponderación o valorización para el sitio es la siguiente:

Elementos	Criterio	Puntuación
Relieve	Colinas suaves, pendiente plana, pocos o ningún detalle singular	0
Agua	Agua en movimiento en las colindancias del predio (mar caribe)	5
Vegetación	Variedad de tipos de vegetación, pero similar en todo el SA	2
Fauna	Escasa dentro del sitio del proyecto y de amplia distribución en el SA	2
Fondo escénico	El paisaje circundante incrementa moderadamente la calidad visual en el conjunto	3
Rareza	Los tipos de vegetación son comunes en el sistema ambiental	2
Actuación humana	Modificaciones intensas dadas las obras que se desarrollan en los alrededores	4
<b>Total</b>		<b>18</b>

Ahora bien, de acuerdo con el método elegido tenemos los siguientes niveles de calidad visual intrínseca:

- ✓ Alta calidad visual: áreas con rasgos singulares y sobresalientes (puntaje del 20 al 33).
- ✓ Media calidad visual: áreas cuyos rasgos poseen variedad en la forma, color, pero que resultan comunes en la región estudiada y no son excepcionales (puntaje del 12 al 19).
- ✓ Baja calidad visual: áreas con muy poca variedad de elementos, en la forma, color, línea (puntaje del 0 al 11).

De acuerdo a la evaluación y valoración del paisaje del área de estudio se tiene que el nivel de calidad visual es media toda vez que el relieve es relativamente plano; aunque el agua en movimiento y por tanto el fondo escénico son de cierto modo importantes, los ecosistemas aledaños y por tanto los patrones cromáticos que propician son muy comunes en el Sistema Ambiental debido a que no es raro encontrar esos tipos vegetales; la fauna en el sitio del proyecto es escasa dada la fuerte actividad humana y la escases de hábitat en el fondo marino.

Por su parte, la capacidad de absorción del paisaje para el proyecto se evaluó utilizando la metodología de Yeomans (1986), la cual asigna puntajes a un conjunto de factores del paisaje considerados determinantes de estas propiedades para posteriormente comparar el resultado con una escala de referencia (ver tabla siguiente).

**Escala de referencia**

Baja = < 15 Moderada = 15 y < 30 Alta = > 30

A continuación se presentan los factores considerados, las condiciones en que se presentan y los puntajes asignados a cada condición

Análisis de la calidad visual del paisaje				
Componente	Criterios	Puntaje		Observación
		Nominal	Numérico	
Pendiente (P)	Poco inclinado (0-25% de pendiente)	Alto	3	Toda vez que el sitio del proyecto tiene relieve relativamente plano en donde son ausentes las pendientes significativas.
	Inclinación suave (25-55% pendiente)	Moderado	2	
	Inclinado (pendiente >55%)	Bajo	1	
Estabilidad del suelo y erosionabilidad (E)	Poca restricción por riesgos bajos de erosión e inestabilidad y buena regeneración potencial.	Alto	3	La zona no es susceptible a erosiones considerables dadas las características del terreno
	Restricción moderada debido a ciertos riesgos de erosión e inestabilidad y regeneración potencial.	Moderado	2	
	Restricción alta derivada de riesgos altos de erosión e inestabilidad, pobre regeneración potencial.	Bajo	1	
Potencial estético (R)	Potencial bajo	Alto	1	El potencial estético es moderado debido a que las colindancias del sitio de proyecto se encuentran cubiertas principalmente por desarrollos turístico, residenciales, vialidades y escasa vegetación
	Potencial moderado	Moderado	2	
	Potencial alto	Bajo	3	
Diversidad de vegetación (D)	Vegetación escasa	Alto	3	Es posible apreciar más de dos tipos de vegetación
	Hasta dos tipos de vegetación	Moderado	2	
	Diversificada	Bajo	1	
Actuación antrópica (C)	Fuerte presencia antrópica	Alto	3	La presencia antrópica es de importante magnitud por los desarrollos turísticos que ahí operan y las actividades que se desarrollan en la zona marina
	Presencia moderada	Moderado	2	
	Casi imperceptible	Bajo	1	
Contrastes de color (V)	Elementos de bajo contraste	Alto	1	Si bien existe vegetación en las inmediaciones del sitio del proyecto, los elementos aportan un contraste visual moderado al observador
	Contraste visual moderado	Moderado	2	
	Contraste visual alto	Bajo	3	

Ahora bien, para la estimación de la capacidad de absorción del paisaje se utilizó la siguiente fórmula:

$$CAV = P \times (E + R + D + C + V)$$

Donde:

P = Pendiente  
E = Erosionabilidad  
R = Potencial  
D = Diversidad de la vegetación  
C = Contraste de color  
V = Actuación humana

Resultando en lo siguiente una vez asignados los valores:

$$CAV = 3 \times (2 + 2 + 1 + 3 + 2) = 30$$

De acuerdo con el resultado anterior el paisaje se clasifica con una capacidad alta de absorción visual ante las modificaciones antrópicas, por lo que se concluye que paisajísticamente el proyecto es viable toda vez que no se podrá en riesgo la calidad escénica con el desarrollo del proyecto, máxime considerando que se ubicará bajo el agua y lejana a la costa, dentro de una zona meramente turística tanto terrestre como marina.

#### **IV.2.4 Medio socioeconómico**

##### **Actividades productivas**

En la zona las actividades que se llevan a cabo son principalmente las actividades de usos agrícolas de temporal y actividades de uso de apicultura, caza, elaboración de carbón, crianza de borregos, leña, crianza de bovinos, artesanías y turismo; este último principalmente en toda su franja costera cuya zona federal se extiende a más de 80 km adyacente al mar caribe.

##### **Tenencia de la tierra**

La mayoría de la superficie del municipio se encuentra bajo el régimen ejidal. En la zona centro del municipio se localizan terrenos nacionales. En la zona turística el régimen de propiedad es privado y en la zona urbana de la zona poniente de Playa del Carmen, se encuentran predios ejidales pertenecientes al Ejido Playa del Carmen y terrenos de propiedad privada. También hay una pequeña proporción de predios de propiedad estatal. La propiedad federal está conformada por 166 has. del área nacional protegida Otoch Maáx Yetel Kooh, que se encuentran en el territorio del municipio y la zona federal marítimo terrestre.

##### **Vivienda**

De acuerdo con el anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo 2016, el municipio de Solidaridad contaba con 68,630 viviendas con 209 279 ocupantes distribuidas de la siguiente manera:

Municipio	Total	Clase de vivienda particular (Porcentaje)				
		Casa a/	Departamento en edificio	Vivienda en vecindad o cuartería	Otro tipo de vivienda b/	No especificado
Solidaridad	68 630	65.58	5.55	27.55	0.19	1.13

De lo anterior, el 60.67% son propias, el 28.16% son alquiladas y el resto prestadas o bajo otra situación.

Por lo que respecta a los ocupantes y viviendas que tienen acceso al agua, drenaje y energía eléctrica, se tiene los siguientes datos:

- ✓ El 97.7% de los ocupantes tienen acceso a agua entubada; mientras que el porcentaje restante adquieren el recurso hídrico por acarreo.
- ✓ El 98.8% de los ocupantes tienen disponible servicio de drenaje, ya sea a través de la red pública, fosas sépticas u otros
- ✓ El 98.9% de las viviendas cuentan con abastecimiento de energía eléctrica.

### Vialidad, comunicaciones y Transporte

La carretera federal 307 de Chetumal-Puerto Juárez atraviesa al Municipio de sur a norte, comunicando el litoral del Municipio. Es el principal soporte de la red regional de comunicaciones y cumple la función de conectar el norte y el sur del Municipio y del Estado mismo. Su función original es la de conducir flujos vehiculares en viajes interurbanos, es decir, entre las distintas localidades, por lo que su operación tiene características de vía regional (flujo continuo, alta velocidad, amplitud en diseño geométrico, y alta resistencia en superficie de rodamiento).

Carretera Federal 307. Distancia en kilómetros

	Aeropuerto de Cancún	Puerto Morelos	Playa del Carmen	Xcaret	Akumal	Xel-Ha	Tulum	Cobá	Sian Ka'an
Aeropuerto de Cancún		23	55	61	90	99	115	161	165
Playa del Carmen	55	32		6	35	44	60	106	110
Xcaret	61	38	6		29	38	54	100	104
Akumal	90	67	35	29		9	25	71	75

Todas las localidades mayores de 50 habitantes están comunicadas por vía terrestre.

### Transportación

En cuanto al rubro del transporte regional, en el Municipio se cuenta con la terminal de autobuses que mantiene comunicada a la población del Municipio con Cancún, Mérida y la ciudad de México. También existen unidades tipo Van

que realizan viajes cortos entre Playa del Carmen y Cancún y Playa del Carmen y Tulum; asimismo, debido a la relación estrecha existente entre Cancún y Playa del Carmen, hay un servicio de taxis continuo entre las dos ciudades.

Respecto a la comunicación marítima, existe una terminal en Playa del Carmen con un muelle para las embarcaciones de ruta a Cozumel y para el servicio de cruceros turísticos internacionales que llegan frecuentemente.

En Punta Venado, situado a 12 Km. de Playa del Carmen, se tiene una terminal para transbordadores que realiza la transportación de carga y pasajeros a Cozumel, además del servicio de exportación de materiales pétreos a los Estados Unidos por una empresa privada. Asimismo, la marina de Puerto Aventuras ofrece cobijo a barcos de calado pequeño y medio.

La transportación aérea se realiza con un aeródromo para aviones de corto alcance, que hacen el servicio entre Playa del Carmen y otros sitios cercanos. La mayor parte del turismo arriba a través del aeropuerto internacional de la ciudad de Cancún.

El servicio de telégrafos se presta en Playa del Carmen, cabecera municipal. Para el servicio postal operan administraciones de correos en Playa del Carmen y una sucursal en Puerto Aventuras.

El servicio de telefonía automática y telefonía celular opera en Playa del Carmen.

### **Abasto**

En Playa del Carmen se cuenta con mercado público, ubicado en la colonia Luis Donaldo Colosio. En la zona rural el abasto se realiza principalmente por 7 tiendas de Diconsa y pequeños comercios privados. El abasto proviene en su mayoría de la ciudad de Cancún. Existen dos rastros que operan de manera privada y permiten el abasto de las principales localidades.

### **Salud**

El municipio Solidaridad cuenta sólo con atención de primer nivel. Los pobladores que se encuentran afiliados a algún servicio de salud equivalen al 76.33% divididos de la forma en que se muestra en la tabla siguiente:

Municipio	Total	Condición de afiliación a/ (Porcentaje)								
		Afiliada b/							No afiliada	No especificado
		Total	IMSS	ISSSTE e estatal	PEMEX, Defensa o Marina	Seguro Popular o para una Nueva Generación c/	Institución Privada	Otra Institución d/		
Estado	150 1562	80.83	49.78	8.10	0.76	40.71	3.14	0.81	18.81	0.36
Bacalar	3 9111	91.70	3.52	7.79	0.35	90.59	0.13	0.07	8.11	0.19
Benito Juárez	74 3626	77.40	67.66	4.72	0.20	24.04	4.61	1.09	22.21	0.39
Cozumel	8 6415	84.15	51.27	11.03	2.06	31.72	4.23	1.06	15.55	0.30
Felipe Carrillo Puerto	8 1742	90.93	7.82	8.22	0.09	86.91	0.22	0.06	9.02	0.05
Isla Mujeres	1 9495	84.44	27.17	7.73	2.84	66.35	2.17	0.40	15.21	0.34
José María Morelos	3 7502	91.14	2.04	7.83	0.05	91.15	0.08	0.05	8.75	0.11
Lázaro Cárdenas	2 7243	85.26	3.40	6.51	0.00	90.57	0.35	0.01	14.61	0.13
Othón P. Blanco	22 4080	87.18	29.23	22.21	2.95	49.88	1.33	0.46	12.55	0.27
Solidaridad	20 9634	76.33	62.98	3.05	0.05	34.90	2.77	1.07	23.06	0.61
Tulum	3 2714	79.37	25.14	1.95	0.07	73.93	2.73	0.23	20.04	0.60

Para la atención de pacientes se cuenta con un total de 321 médicos que laboran dentro de las 9 instituciones del sector público de salud.

## Educación

En Solidaridad se cuenta con planteles en donde se imparte la educación pública desde el nivel básico hasta el nivel superior. La distribución de los alumnos inscritos en el municipio se encuentra tal como se muestra en la siguiente tabla:

Municipio	Nivel	Alumnos inscritos			Personal docente a/		
		Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
	Secundaria	12 970	6 615	6 355	862	466	396
	Bachillerato general	6 478	3 356	3 122	356	200	156
	Bachillerato tecnológico y niveles equivalentes	6 485	3 343	3 142	388	216	172
Solidaridad		50 189	25 185	25 004	2 084	768	1 316
	Preescolar	8 075	4 100	3 975	314	11	303
	Primaria	25 762	13 001	12 761	751	282	469
	Secundaria	10 397	5 192	5 205	636	291	345
	Bachillerato general	2 783	1 271	1 512	271	120	151
	Bachillerato tecnológico y niveles equivalentes	3 172	1 621	1 551	112	64	48

De la población municipal con edades de entre 6 y 14 años, el 84% es saben leer y escribir; mientras que de la población mayor a 3 años, sólo el 24% asiste a algún centro educativo a prepararse.

## Cultura

En el rubro de cultura se ubica la Casa de la Cultura en la colonia Centro, dos bibliotecas públicas, así como un teatro al aire libre en la colonia Centro.

Aunado a esto se encuentran las instalaciones del Centro Cultural de Playa del Carmen, así como el Centro Cultural La Ceiba, lugares donde se presentan exposiciones pictóricas, esculturales y artesanales, se realizan talleres y cursos de literatura, pintura, música danza, teatro, entre otras para toda la población.

## Recreación y deporte

Existen 4 unidades deportivas: Unidad Mario Villanueva, Unidad de la Riviera Maya, Unidad Playa del Carmen (antes Poliforum) y la Unidad Luis Donaldo Colosio.

También se cuenta con canchas de usos múltiples en las siguientes ubicaciones: Gonzalo Guerrero, Zazil-Ha, Colosio, Nicté-Ha, Guadalupeana, Misión Villamar, Nueva Creación, Galaxia, Bosque Real, Ejido y Bella vista.

La infraestructura municipal deportiva seleccionada y registrada en la Comisión para la Juventud y el Deporte de Quintana Roo se muestra en la siguiente tabla.

Municipio	Albercas	Campos de beisbol	Campos de futbol	Canchas de basquetbol	Canchas de voleibol	Centros y unidades deportivas	Gimnasios	Pistas de atletismo
Estado	5	88	269	399	26	231	22	7
Bacalar	0	1	20	17	2	7	0	0
Benito Juárez	1	6	79	120	13	70	6	1
Cozumel	1	4	24	40	4	3	4	1
Felipe Carrillo Puerto	0	5	26	29	1	4	1	1
Isla Mujeres	0	2	3	10	1	2	0	0
José María Morelos	0	46	22	31	0	67	4	1
Lázaro Cárdenas	0	3	12	24	3	0	0	0
Othón P. Blanco	2	8	51	68	1	53	1	3
Solidaridad	1	5	18	22	1	18	2	0
Tulum	0	8	14	29	0	7	4	0

Fuente: Comisión para la Juventud y el Deporte de Quintana Roo. Departamento de Secretaría Técnica; Departamento de Planeación y Evaluación.

Además, en el Municipio se cuenta con los Centros de Atención a la Mujer del sistema municipal para el desarrollo integral de la familia (DIF); así como también tres centros dedicados a la atención de adultos mayores.

## Servicios Urbanos

Bomberos: La estación de bomberos se encuentra ubicada sobre la carretera Federal.

Ministerio Público: La oficina del ministerio público se encuentra en la Colonia Centro.

Estación de Policía: Existen seis casetas de policía en la ciudad de Playa del Carmen y cuatro vigilancias estacionarias.

Hacienda: Hay dos oficinas de Hacienda y se localizan en la col. Aviación y sobre la Av. 30.



Comisión Federal de Electricidad: La comisión Federal de Electricidad se encuentra ubicada sobre la Carretera Federal en la Col. Ejidal.

CAPA: Las oficinas de la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado se encuentran sobre la Av. 10 y la calle 6 Norte; y en la Col. Luis Donaldo Colosio.

Cementerio: predio usado como cementerio se localiza en la Col. Luis Donaldo Colosio.

### Relleno Sanitario

Para el destino de relleno sanitario se cuenta con un predio que se encuentra al Poniente del Ejido de Playa del Carmen, 16 kilómetros de la carretera federal y de uso compatible para equipamiento urbano. Este predio está ubicado a casi 20 km de la aeropista de la ciudad de Playa del Carmen y a 8 km de la población más cercana.

## **Actividades económicas en el Municipio**

El Estado de Quintana Roo ha presentado un desarrollo importante en los últimos años gracias a la actividad turística, constituyéndose como uno de los principales destinos reconocidos en el ámbito internacional; este crecimiento se ha dado de manera focal en las ciudades como Playa de Carmen.

## **Sectores económicos en el Municipio**

El sector primario comprende las actividades de agricultura, ganadería, apicultura, silvicultura y pesca. El sector secundario comprende a la industria, que se refiere a las actividades que implican transformación de alimentos y materias primas a través de los más variados procesos productivos. Finalmente, el sector terciario involucra actividades referentes al trabajo humano que se requiere para atender las demandas de transporte, comunicaciones, actividades financieras y actividades comerciales como el turismo y el comercio.

### El sector primario

De la entidad, el municipio que se dedica en menor porcentaje a este sector es Solidaridad con aproximadamente un 2% de su PEA.

El sector primario de Quintana Roo cada vez se está debilitando más, debido a la insuficiencia de recursos monetarios para sostener al campo, además de otros problemas estructurales.

La agricultura de este municipio está orientada principalmente a cultivos básicos como maíz y frijol con cultivos intercalados de calabaza, tomate y chile.

La ganadería que se desempeña es extensiva con praderas de temporal en su mayoría de propiedad ejidal, que consta de ganado bovino, porcino y ovino; la producción se orienta principalmente al autoconsumo y la cría de aves se realiza a nivel doméstico.

La apicultura es una actividad complementaria que ha sido afectada por factores hidrometeorológicos y la presencia de la abeja africana, pero existe un buen potencial para su explotación.

Otra de las actividades de este municipio es la actividad forestal, la cual cuenta con maderas duras tropicales; también se explota, aunque en menor escala, la resina del chicozapote para la producción del chicle.

#### El sector secundario

En general este sector no se ha desarrollado plenamente en la zona.

La industria manufacturera es muy incipiente, limitándose a talleres, tortillerías y otros establecimientos localizados en el área urbana.

#### El sector terciario

El Estado de Quintana Roo es reconocido a nivel internacional como un destino turístico, sin embargo el turismo que se maneja en esta zona es masivo. Sus principales atractivos son las playas, discotecas, bares y centros comerciales.

La zona cuenta con características que adecuadamente aprovechadas pueden fungir como atractivos que intensifiquen el turismo de aventura o cultural principalmente.

El turismo en este municipio constituye la principal actividad y se desarrolla, casi en su totalidad, a lo largo de toda la costa conocida como la Riviera Maya; siendo el punto más importante la ciudad de Playa del Carmen. De acuerdo a los datos registrados Solidaridad es el municipio que se dedica en mayor porcentaje al sector terciario, con más de un 75% de su PEA.

#### **IV.2.5 Diagnóstico ambiental**

El sistema ambiental constituye en su parte terrestre a una zona destinada al uso de suelo turístico a través de la construcción y operación de hoteles y residencias de playa fomentando la conservación del manglar y otras áreas naturales; por ende, parte de la vegetación selvática ha sido removida para dar paso a las obras y otra se mantiene en cumplimiento a las restricciones de aprovechamiento dictadas por el ordenamiento ecológico de la zona. En tanto a la parte marina del SA el uso de esta zona es meramente recreativo para bañistas; sin embargo se desarrollan también actividades turísticas náuticas

con vehículos motorizados y no motorizados que se derivan de las actividades que ofrecen los hoteles contiguos.

Si bien dentro de la zona muchos de los CUSTF, actividades, obras y demás infraestructura hotelera se encuentran al margen de la ley, otra gran parte de los predios no lo están y sus obras y actividades carecen de regulación alguna propiciando pérdidas importantes en la cobertura vegetal, erosión del suelo y la playa, así como un manejo inadecuado de residuos sólidos y líquidos que propician la contaminación del medio terrestre y marino.

Si bien dentro del SA no existen ecosistemas con alto grado de conservación debido a la fuerte actividad antrópica que se desarrolla en esta zona. Aquellos con alto valor ecológico como el manglar han quedado reducidos a relictos que en ocasiones se conforman sólo por algunos individuos; esto mismo ocurre para todos los ecosistemas vegetales que se desarrollan en la franja costera como lo es también el caso de la vegetación de duna costera y la formación de duna por sí misma que de tiempo atrás han y siguen siendo sustituidos por edificaciones, obras de concreto y jardinerías que frecuentemente albergan sólo especies ornamentales. En la parte marina por su parte, los arrecifes coralinos son inexistentes y los pastizales marinos son reducidos también por la morfología del suelo marino que impide en parte su desarrollo. No obstante el deterioro no es tan notable a simple vista y parece ser menor, pero en el fondo también tienen repercusión las acciones humanas de todos estos desarrollos costeros, así como el desarrollo de aquellas actividades que se desarrollan dentro del agua, mismas que se han sumado a las fuertes afecciones que desde los últimos años han resultado a consecuencia de la llegada y estancamiento masivo de sargazo a las playas del SA y el estado en general.

Si bien como ya fue expuesto en el SA no existen ecosistemas relevantes por su buen estado de conservación, en el SA sí hay especies de importancia como lo son aquellas listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 mismas que serán cuidadas en todo momento durante la ejecución del proyecto.

En tanto a la calidad ambiental de la zona, el proyecto no involucra más allá que lograr la estabilización de la playa para reducir su erosión; esto en coherencia con los instrumentos normativos aplicables a la zona.

Una vez contando con las todas autorizaciones necesarias y, previo a la puesta en marcha del proyecto, se establecerá un seguimiento ambiental y capacitará a todo el personal de obra para prevenir cualquier tipo de afectación al medio ambiente tanto en la zona marina del SA como en su parte terrestre. No se omite reiterar que la colocación de los arrecifes se llevarán a cabo sin afectar la vegetación colindante ni la fauna local.

En cuanto a las tendencias del sistema ambiental, éste claramente se encamina hacia un incremento en el impacto de la actividad humana en la zona; sobre todo

en los pocos predios que aún se conservan áreas naturales en la zona costera; mientras que en la parte marina no se vislumbran afectaciones mayores a las que seguirá trayendo consigo la llegada masiva del sargazo durante los próximos años aunado a los cambios de temperatura del agua por el calentamiento global.

Este aspecto de desarrollo de la franja costera no es necesariamente negativo, pues los desarrollos turísticos que se construyen y operan en el sistema ambiental al margen de la ley, brindan bienestar a miles de familias de la región y gran parte de ellos establecen medidas mitigantes y compensatorias que permiten dar continuidad a los procesos biológicos de la zona; como por ejemplo de ellos son la protección y manejo de tortugas marinas, la conservación del manglar, restauración de superficies afectadas que no serán aprovechadas, conservación de zonas con vegetación natural, protección de la duna, áreas de protección y monitoreos de áreas marinas, entre muchas otras.

No se omite mencionar que el proyecto que nos ocupa considera todas y cada una de las medidas preventivas necesarias para no atentar contra los elementos bióticos y físicos del SA, cuidando en todo momento que el proyecto sea funcional en forma y ubicación, respetando los organismos bentónicos marinos al situarse en una zona de arenal.

### **IV.3 Referencias**

- Alcolado, P., A. Corvea y A. González. 1980. Variaciones morfológicas internas y externas de los abanicos de mar (*Gorgonia* spp) y su valor adaptativo. *Ciencias Biológicas* 5.
- Alcerreca, J. C., R. Silva y E. Mendoza. 2013. Simple settling velocity formula for calcareous sand. *Journal of hydraulic research*, 51: 215-219.
- Alcolado, P. M. 1981. Zonación de los gorgonáceos someros de Cuba y su posible uso como indicadores comparativos de tensión hidrodinámica sobre los organismos del bento. Informe Científico-técnico Instituto Oceanológico Academia de Ciencias de Cuba, 187: 1-43.
- Alexandrakis, G. y S. E. Poulos. 2014. An holistic approach to beach erosion vulnerability assessment. *Scientific reports*, 4: 6078.
- Anfuso, G. 2004. Caracterización de celdas litorales en un tramo costero aparentemente homogéneo del litoral de Cádiz (sur de España). *Revista Cuaternario y Geomorfología*, 18: 25-36.
- Bautista, F. 2011. Vulnerabilidad y riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en la Península de Yucatán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13: 7-8.
- Bayer, F. M. 1961. *The shallow water octocorallia of the west Indian Region*. Martinus Nijhoff. The Hague, 373 pp.
- Bayer, F. M., M. Grasshoff y J. Verseveldt (Eds). 1983. *Illustrated trilingual glossary of morphological and anatomical terms applied to octocorallia*. E. J. Brill/Dr. W. Backhuys. Leiden. 75 pp.
- Botero, L. 1987. Zonación de octocorales en el área de Santa Marta y Parque Nacional Tayrona, Costa Caribe Colombiano. *An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín*, 17: 61-80.
- Botero, L. 1990. Observations on the size, predators and tumor-like outgrowths of gorgonian octocoral colonies in the area of Santa Marta, Caribbean coast of Colombia. *NORTHEAST GULF SCI*. Vol. 11, no. 1, pp. 1-10.
- Cairns, S. 1977. *Guide to the commoner shallow-water gorgonians (Sea whips, sea feathers and sea fans) of Florida, The Gulf of Mexico and the Caribbean Region*. Sea Grant Field Guide Series number 6. University of Miami. Sea Grant Program. 74 pp.

- Carrillo Bribiezca, L. E. 2008. Calidad de agua y dispersión de contaminantes en la zona costera de la Riviera Maya (Playa del Carmen, Quintana Roo). Informe técnico final proyecto CNA-2004-C02-3. Fondo Sectorial CNA-CONACyT. El Colegio de la Frontera Sur.
- Castañares, L., Soto, L. 1982. Estudios sobre los corales escleractinios hermatípicos de la costa noreste de la península de Yucatán, México. I. Sinopsis taxonómica de 38 especies (Cnidaria:Anthozoa:Scleractinia). An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México. 9:295-344.
- Cerdeira-Estrada, S., L.O. Rosique-De La Cruz, P. Blanchon, A. Uribe-Martínez, R. Martell-Dubois, M.I. Martínez-Clorio, M.I. Cruz-López, R. Ressler. 2018. 'Relieve Submarino de los Ecosistemas Marinos del Caribe Mexicano: Cabo Catoche - Xcalak. 2018', escala: 1:8000. edición: 1. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad; Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Cerdeira-Estrada, S., M.I. Martínez-Clorio, L.O. Rosique-De La Cruz, M. Kolb, A.M. Gonzales-Posada, A. Uribe-Martínez, R. Martell-Dubois, J.R. Garza-Pérez, L. Alvarez-Filip, M.I. Cruz-López, R. Ressler, (28/06/2018). 2018. 'Cobertura Bentónica de los Ecosistemas Marinos del Caribe Mexicano: Cabo Catoche - Xcalak. 2018', escala: 1:8000. edición: 2. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad; Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Chandler CR, Sanders RM Jr, Landry AM Jr. 1985. Effects of three substrate variables on two artificial reef fish communities. Bull Mar Sci 37: 129—142.
- Chaplin, Ch. C. G. 1972. Fishwatchers guide to west-Atlantic coral reefs. Harrowood Books, Pennsylvania. 65 pp.
- Cofforth, M. A. 1985. Mucous sheet formation on poritid corals: effects of altered salinity and sedimentation. Proceedings of the Fifth International Coral Reef Congress. Vol. 4:165-170.
- Colin, P. I. 1988. Marine invertebrates and plants of the living reef. T.F.H. Publications, Inc. Ltd. 512 pp.
- Comisión Colombiana del Océano (CCO). 2016. El océano en las Ciencias Naturales y Sociales. Tercera edición. Editorial Entrelibros e-book solutions. Bogotá, 2016. 326 Pp.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2007. Estadísticas del agua en México, Conagua, México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Península de Yucatán (3105), Estado de Yucatán. Diario Oficial de la Federación, 20 de abril de 2015. 23 p.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). S/F. Especies, Reptiles, Tortugas. Disponible en: <[https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/gran\\_familia/animales/reptiles/menuTortugas.html](https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/gran_familia/animales/reptiles/menuTortugas.html)>.
- Crowder LB y W. E. Cooper. 1982. Habitat structural complexity and the interaction between bluegills and their prey. Ecology 63: 1802–1813.
- Cuevas Flores, E., B. González Garza, A. Segovia Castillo y J. Sosa-Escalante. 2010. Tortugas marinas: poblaciones y hábitat críticos. Pp. 262-264. En: Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán (R. Durán y M. Méndez, eds.). CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. México. 508 páginas.
- Doodson, A. T. 1921. The harmonic development of the tide-generating potential. Proc. R. Soc. Lond. A, The Royal Society.
- Etter, A., 1990. Ecología del Paisaje: un marco de integración para los levantamientos rurales. IGAC, Bogotá.
- Ferrer, L. M. 1985. Spatial patterns of three Caribbean scleractinians: *Porites astreoides*, *Montastrea annularis*, and *Montastrea cavernosa*. Department of Marine Sciences, University of Puerto Rico. Mayaguez. Puerto Rico. Thesis.
- García, E. 1998. Climas, escala 1: 1 000 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. Disponible en: <<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>>.
- Gardner, T. A., Cote, I. M., Gill, J. A., Grant, A., & Watkinson, A. R. 2005. Hurricanes and Caribbean coral reefs: impacts, recovery patterns, and role in long-term decline. Ecology, 86(1), 174-184.
- Gondwe, B. R. N. 2010. Exploration, Modelling and Management of Ground-Calidad de agua en el acuífero de Puerto Morelos, Quintana Roo, México water-Dependent Ecosystems in Karst-The

Sian Ka'an Case Study, Yucatan, Mexico (Tesis de doctorado). Technical University of Denmark, Department of Environmental Engineering.

González, R., I. Sánchez, A. Cervantes y J. Osorio. 2018. Calidad de agua en el acuífero de Puerto Morelos, Quintana Roo, México. *Teoría y Praxis*, 25: 69-89.

Graham NAJ, Nash KL (2013) The importance of structural complexity in coral reef ecosystems. *Coral Reefs* 32: 315–326

Greenberg, J. e I. Greenberg. 1977. Guide to corals and fishes of Florida. The Bahamas and The Caribbean. Seahawk Press. Miami. Florida, 64 pp.

Grime, J. P. y Pierce, S. 2012. The evolutionary strategies that shape ecosystems. Wiley-Blackwell. 240 p. [www.wiley.com/go/grime/evolutionarystrategies](http://www.wiley.com/go/grime/evolutionarystrategies).

Grossman GD, Jones GP, Seaman WJ Jr. 1997. Do artificial reefs increase regional fish production? A review of existing data. *Fish Manag* 22:17–23

Grupo Tortuguero de las Californias (GTC). 2012. Reunión Anual, multiplicando esfuerzos de conservación. Disponible en: <https://www.guerreronegro.org/reportajes/caguamas.html>.

Guido, P., A. Ramírez, L. Godínez, S. Cruz y A. Juárez. 2009. Estudio de la erosión costera en Cancún y la rívera Maya, México. *Avances en Recursos Hidráulicos*, 20: 41-56.

Gutiérrez, D., García, C., Lara, M., Padilla, C., Pizaña, J., y R. Macías. 1993. Caracterización de los arrecifes coralinos de la reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Q. Roo. México. Sian ka'an Serie Documentos No. 1: 1-47.

Gutiérrez, D., Lara, M., Padilla, C., Pizaña, J., García, G., Loreto, R., Camarena, T. 1995. Caracterización de los arrecifes coralinos en el corredor "Cancún-Tulum", Quintana Roo, México. Sian ka'an Serie Documentos No. 4. 3-39.

Healthy Reefs. 2015. Report Card. Mesoamerican Reef. An evaluation of Ecosystem health. (<http://www.healthyreefs.org/cms/wp-content/uploads/2015/05/MAR-EN-small.pdf>).

Hixon, M. A., and J. P. Beets. 1989. Shelter characteristics and Caribbean fish assemblages: experiments with artificial reefs. *Bull. Mar. Sci.* 44:666-680.

Honorable Ayuntamiento de Solidaridad (HAS). 2016. Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Quintana Roo. Disponible en: <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM23quintanaroo/municipios/23008a.html>.

Hughes, R. N. 1989. A functional biology of clonal animals. Chapman and Hall, New York. 331 pp.

Hughes, T. P. 1984. Population dynamics based on individual size rather than age: a general model with a reef coral example. *American Naturalist*, 123:728-795.

Humman, P. 1989. Reef fish identification. New World Pubs. Inc. Jacksonville, Fla. 267 pp.

Humman, P. 1993a. Reef coral identification. New World Pubs. Inc. Jacksonville, Fla. 239 pp.

Humman, P. 1993b. Reef creature identification. New World Pubs. Inc. Jacksonville, Fla. 320 pp.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2000. Diccionario de datos climáticos escalas 1: 250 000 y 1: 1 000 000 (vectorial). 57 p. Disponible en: [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/clima/doc/dd\\_climaticos\\_1m\\_250k.pdf](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/clima/doc/dd_climaticos_1m_250k.pdf).

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2002. Estudio Hidrológico de Quinta Roo. Gobierno del Estado de Quintana Roo. 49 p.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. Principales resultados por localidad.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2015. Principales resultados de la Encuesta Intercensal 2015. Quintana Roo. México. 103 p.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2018. Banco de indicadores. Quintana Roo. Solidaridad. Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/indicadores/?ind=1002000026&vind=metadato#>>.

Jones, G. y McCormick. 2002. Numerical and energetic processes in the ecology of coral reef fishes. Pages 221-242 in P. Sale, editor. *Coral Reef Fishes*. Academic Press.

Juárez, E. y A. Rico. 2002. Mecánica de suelos: fundamentos de la mecánica de suelos. Editorial Limusa. México.

Knowlton, N. 2001. Sea urchin recovery from mass mortality: New hope for Caribbean coral reefs? *Proc. Natl. Acad. Sci.* 98.9: 4822-4824.

Kramer P, McField M, Álvarez-Filip L, Drysdale I, Rueda-Flores M, Giro A y Pott R. 2015. Reporte de la Salud Ecológica del Arrecife Mesoamericano 2015. Iniciativa Arrecifes Saludables ([www.arrecifessaludables.org](http://www.arrecifessaludables.org)).

Lara, M., Padilla, C., Pizaña, J., Urquiza, R., Nava, T. 1994a. Caracterización de 4 áreas arrecifales de la costa de Quintana Roo. Desarrollo arrecifal y Estructura de la comunidad. Reporte final.

Lara, M., Padilla, C., Pizaña, J., Urquiza, R., Nava, T. 1994b. Caracterización de la circulación marina, transporte litoral y procesos costeros en 4 áreas arrecifales de la costa de Quintana Roo. Reporte final.

Lessios, H.A., Kessing, B.D. y Pearse, J.S. 2001. Population structure and speciation in tropical seas: global phylogeography of the sea urchin *Diadema*. *Evolution* 55: 955–975.

Lirman, D. 2003. A simulation model of the population dynamics of the branching coral *Acropora palmata* Effects of storm intensity and frequency. *Ecological modelling*, 161(3), 169-182.

Littler, D. M., Littler, K., Buchery J. Norris. 1989. *Marine Plants of the Caribbean. A field guide from Florida to Brazil*. Smithsonian Institution Press. Washington, D. C. 263 pp.

Loya, Y. 1972. Community structure and species diversity of hermatypic corals at Eilat, Red Sea. *Mar. Biol.* 13:100-23

Luckhurst, B. E., Luckhurst, K. 1978. Analysis of the influence of substrate variables on coral fish communities. *Mar. Biol.* 49: 317.

Lugo-Hubp, José., Córdova, Carlos-Fernández, Arteaga. 1990. 'Geomorfología Marina'. Obtenido de Geomorfología 1. IV.3.3., Atlas Nacional de México, Vol. II, Escala 1:4000000, Instituto de Geografía, UNAM. México.

Magurran, A. E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing, Oxford, RU. 256 pp.

Merino, M. y L. Otero. 1986. Atlas Ambiental Costero. Puerto Morelos - Quintana Roo. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Investigaciones de Quintana Roo. 80 p.

Morales, J. J. 2004. El joven mar caribe. *Ciencias*, 76: 34-41.

Morlans, M. C. 2005. Introducción a la ecología del paisaje. Editorial Científica Universitaria, Universidad Nacional de Catamarca.

Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Vol. 1. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe de UNESCO y Sociedad Entomológica Aragonesa. Serie Manuales y Tesis SEA. 84 p.

Padilla, C., Gutiérrez, D., Lara, M. y C. García. 1994. Coral Reefs of the Biosphere Reserve of Sian Ka'an, Quintana Roo, Mexico. *Proc. 7th. Int. Coral Reef. Symp. Guam*, 2:986-992.

Padilla-Souza, A. C. 2016. Programa interdisciplinario de restauración activa par compensar daños antropogénicos en arrecifes coralinos del caribe mexicano. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de la Pesca. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. JA009. Ciudad de México.

Porter, J. W. 1972. Patterns of species diversity in Caribbean reef corals. *Ecology*. 53:745-748.

Real Academia Española (RAE). 2019. Significado de paisaje. Disponible en: <<https://dle.rae.es/?id=RT6QMkS>>.

Reyes, M. A. 2005. El sistema circulatorio del planeta azul. *Avance y perspectiva*, 24: 71-75.

Román-Sierra, J., M. Navarro-Pons, G. Gómez-Pina y J.J. Muñoz-Pérez. 2013. Optimización del análisis del tamaño de grano de arenas costeras.

Rosengaus, M., M. Jiménez y M. Vázquez. 2014. Atlas climatológico de ciclones tropicales en México. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). 106 p. Disponible en: <<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/37.pdf>>

Sanders, I. M. and Ruiz, I. 2007. The impact of artificial reefs on fish diversity and community composition in Isla Ratones, western Puerto Rico. *Proceeding of 60th Gulf Caribbean Fish Institute*, 407-411

Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL). 2013. Catálogo de Localidades del municipio de Solidaridad, Quintana Roo. Disponible en: <<http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/LocdeMun.aspx?tipo=clave&campo=loc&ent=23&mun=008>>.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). S/F. Guía para la elaboración de la manifestación del impacto ambiental modalidad regional. México, D.F.

Secretaria Pro Tempore de la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CIT). 2006. Amenazas a las Tortugas Marinas y Posibles Soluciones. San José, Costa Rica.

Shulman and J. C. Ogden. 1987. What controls tropical reef fish populations: recruitment or benthic mortality? An example in the Caribbean reef fish *Haemulon flavolineatum*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 39: 233-242

Silva, R., M. Villatoro, F. Ramos, D. Pedroza, M. Ortiz, E. Mendoza, M. Delgadillo, M. Escudero. 2014. Caracterización de la zona costera y planteamiento de elementos técnicos para la elaboración de criterios de regulación y manejo sustentable. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) 118.

Silva, R., Martínez, M.L., Moreno-Casasola, P., Mendoza, E., López-Portillo, J., Lithgow, D., Vázquez, G., Martínez-Martínez, R.E., Monroy-Ibarra, R., Cáceres-Puig, J.I., Ramírez-Hernández, A., BoyTamborell, M. 2017. Aspectos generales de la zona costera. UNAM; INECOL. 54pp.

Smith, F. G. W. 1972. Atlantic reef corals. A handbook of common reef and shallow-water corals of Bermuda, The Bahamas, Florida, The West Indies and Brazil. University of Miami Press. 14 pp.

Stokes, F. J. 1984. Divers and snorkelers guide to the fishes and sea life of the Caribbean, Florida, Bahamas and Bermuda. The Academy of Natural Sciences of Philadelphia Publisher. 160 p.

Suárez, E. y E. Rivera. 1998. Zooplancton e hidrodinámica en zonas litorales y arrecifales de Quintana Roo, México. *Sistema Estatal de Información y Documentación Científica y Tecnológica*, 8: 19-32.

Tolman, H. L. 2009. User manual and system documentation of WAVEWATCH III TM version 3.14. Technical note, MMAB Contribution, 276: 220.

Torres, J. and Morelock, J. 2002. Effect of Terrigenous Sediment Influx on Coral Cover and Rates of Three Caribbean Massive Coral Species. *J. Caribbean Sci.*, 1(38), 222-229.

Universidad de Sonora (INISON). 2005. Sedimentación Carbonatada Reciente. Departamento de Geología. Universidad de Sonora. Disponible en: <<http://gaia.geologia.uson.mx/academicos/olivia/carbonatadas/sedimentacioncarbonatadarecient e.htm>>.

Wen, K., Hsu, C., Chen, K., Liao, M., Chen, C., Chen, C., 2007. Unexpected coral diversity on the breakwaters: potential refuges for depleting coral reefs. *Coral Reefs* 26, 127.

Zavala, J., O. Salmerón, V. Aguilar, S. Cerdeira y M. Kolb. 2005. Caracterización y regionalización de los procesos oceanográficos de los mares mexicanos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Disponible en: <[http://www.conabio.gob.mx/gap/index.php/Procesos\\_oceanogr%C3%A1ficos](http://www.conabio.gob.mx/gap/index.php/Procesos_oceanogr%C3%A1ficos)>.



## V. IDENTIFICACION, CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

Si bien la instalación del arrecife artificial ayudará a conservar la playa, su ejecución provocará también algunos efectos sobre el ambiente. Es así que a continuación se presenta la evaluación de los posibles impactos ambientales que pudieran manifestarse.

Los indicadores seleccionados para la valoración de los posibles impactos ambientales que el proyecto puede ocasionar son los siguientes:

### **Lista indicativa de indicadores de impacto.**

Considerando la información de los capítulos anteriores se seleccionaron las siguientes variables.

- Agua marina

Indicador de impacto: Calidad del agua

Se refiere a la modificación de las características físico-químicas por la posible contaminación o resuspensión de sedimento. El indicador será cualitativo a través del tipo de desechos que serán generados, las características del sedimento y el área afectada además de la susceptibilidad de la zona.

- Fondo marino

Indicador de impacto: Cantidad

Se refiere a la modificación de la cantidad de sedimento por las acciones que serán llevadas a cabo. Este indicador será valorado a través del tipo de sedimento presente y las condiciones del sitio.

- Dinámica marina

Indicador de impacto: Transporte Litoral

Contempla la alteración del transporte de sedimento natural que se presenta en la zona marina por la instalación de los arrecifes artificiales en el medio marino.

Indicador de impacto: Perfil de playa

Considerará los cambios en la morfología de las playas por la alteración del transporte de sedimentos debido a la instalación de los arrecifes artificiales.

- Biota marina

Indicador de impacto: Cobertura

Contempla el grado de afectación de las especies presentes que habitan la zona disminuyendo la superficie de ocupación. Será determinada a través del área que será perturbada directamente por el proyecto.

Indicador de impacto: Hábitat

Se refiere a las modificaciones ocasionadas en el hábitat de las especies. El cambio será determinado, considerando la superficie afectada

Indicador de impacto: Movilidad

Considerará la afectación del libre paso de las especies por la zona debido a la instalación de los arrecifes artificiales. Este indicador será valorado de acuerdo al diseño y área que será ocupada por las estructuras, además de la especies afectadas.

- Especies bentónicas enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010

Indicador de impacto: Cobertura

Afectación de individuos de las especies presentes que habitan la zona disminuyendo la superficie de ocupación. Será determinada a través del área que será perturbada directamente por las acciones contempladas en el proyecto

- Tortuga marina

Indicador de impacto: Acceso a las áreas de anidación y regreso al mar

Afectación del libre paso de las especies de tortugas marinas a las áreas de anidación y su regreso al mar por la instalación de los arrecifes artificiales. Este indicador será valorado de acuerdo a la importancia como zonas de anidación para estas especies y al área que será ocupada por las estructuras.

Indicador de impacto: Paso de las crías hacia el mar

Refiere al libre paso de las crías en su nado hacia mar abierto por la instalación de los arrecifes artificiales. Será valorado considerando la estructura de los arrecifes artificiales y el número de crías que nacen en la playa de acuerdo a la importancia de la playa para la nidación de las tortugas.

- Paisaje

*Indicador de impacto: Incidencia visual*

Refiere al cambio ocurrido en el paisaje por el desarrollo del proyecto y se determinará a través de la superficie que será afectada por la modificación del entorno.

### **Criterios y metodologías de evaluación.**

Con la finalidad de llevar a cabo la evaluación del posible impacto de las actividades involucradas en el proyecto se consideró lo siguiente:

- La línea base. Esto es las características y condiciones previo al proyecto.

- Las características que el área puede presentar con el desarrollo del proyecto.
- Los impactos específicos en las fases del proyecto: construcción (instalación) y operación toda vez que no existe preparación del sitio.

### **Metodologías de evaluación y justificación de la metodología seleccionada**

Se utilizó la metodología propuesta por Gómez-Orea (1999, 2007); esta se realiza a partir de la creación de una matriz o tabla de doble entrada, en la cual se disponen como columnas las acciones del proyecto, y como filas los factores ambientales; arreglándolos en forma arborescente y desagregando el proyecto en niveles: fase, elemento y acción, y el ambiente en: medio, factor y subfactor.

A partir de esta matriz, se identifican los posibles impactos definiendo las interacciones de las acciones o actividades que se llevarán a cabo en las diferentes fases del proyecto con los factores/subfactores ambientales, marcando dichas interacciones, cuando existan, en la celda de cruce, obteniendo de esta forma una matriz de interacción.

Una vez identificadas las interacciones, se lleva cabo la valoración cuantitativa de los impactos ambientales, con base en la incidencia o importancia de los impactos ambientales, (severidad y forma de alteración) y su magnitud (cantidad y calidad del factor modificado por la acción), siguiendo los pasos que se describen a continuación:

1. Cálculo del índice de incidencia estandarizado entre 0 y 1.
2. Cálculo del índice de magnitud, a través de:
  - a) Determinación de la magnitud en unidades distintas, heterogéneas, inconmensurables para cada impacto.
  - b) Transformación de las unidades heterogéneas a unidades homogéneas, comparables adimensionales. Estandarización del valor de la magnitud entre 0 y 1.
3. Cálculo del valor de cada impacto a partir de la magnitud y la incidencia antes obtenidas.
4. Cribado de impactos ambientales relevantes a partir de los valores obtenidos para cada impacto con base en valores de juicio.

#### *Cálculo del índice de Incidencia estandarizado ( $I_{std}$ )*

El cálculo del índice de incidencia inicia con la caracterización de cada uno de los impactos identificados en la matriz de interacción, por medio de 10 atributos que se describen a continuación.

1. **Signo.** Se refiere al carácter del impacto (positivo o negativo).

2. **Inmediatez.** Describe el tiempo de repercusión sobre el ambiente. Se puede presentar un efecto directo si la repercusión es inmediata en algún factor ambiental o un efecto indirecto si la repercusión deriva de un efecto primario.
3. **Acumulación.** Define el carácter del impacto si éste es acumulativo, cuando se presenta un incremento continuo de la gravedad cuando se prolonga la acción que lo genera, o simple cuando impacto se manifiesta en un solo componente ambiental.
4. **Sinergia.** Se refiere al reforzamiento de efectos simples, que se produce cuando la coexistencia de varios efectos simples produce un efecto superior a su suma simple.
5. **Momento.** Se refiere al lapso de tiempo que transcurre entre la acción y la aparición del efecto. Corto (anual), medio (antes de 5 años), largo (mayor de 5 años).
6. **Persistencia.** Se define por el tiempo de permanencia del efecto desde su aparición. Puede considerarse como permanente si sucede por tiempo indefinido, mientras el temporal permanece por un tiempo determinado.
7. **Reversibilidad.** Se define como reversible si el efecto es asimilado por el ambiente, de tal manera que se recuperen las condiciones iniciales una vez producido el efecto, o irreversible cuando el efecto no puede ser asimilado por el ambiente o lo es, después de mucho tiempo.
8. **Recuperabilidad.** Un impacto se determina como recuperable cuando existe la posibilidad de reconstruir el factor afectado por medio de la intervención humana o natural, mientras no lo es el irrecuperable.
9. **Periodicidad.** Frecuencia de manifestación del impacto y se define como periódico, cuando se presenta de forma cíclica o recurrente, e irregular cuando se manifiesta de forma impredecible en el tiempo.
10. **Continuidad.** Se define al impacto continuo cuando produce una alteración constante en el tiempo, mientras el discontinuo se manifiesta de forma intermitente o irregular.

A cada uno de estos atributos se les asigna un valor conforme se expone en la siguiente tabla:

Atributos para la caracterización de los impactos ambientales identificados en la matriz de interacción. (Tomado de Gómez-Orea, 1999).

Atributo	Tipos	Código
Signo		(+)
		(-)
Inmediatez (I)	Directo	3
	Indirecto	1
Acumulación (A)	Acumulativo	3
	Simple	1
Sinergia (S)	Fuerte	3
	Media	2
	Leve	1
Momento (M)	Corto	3
	Medio	2
	Largo	1
Persistencia (P)	Permanente	3
	Temporal	1



Por lo anterior la valoración de los impactos ambientales se hizo en base a los siguientes valores de juicio (Tomada de Gómez-Orea, 2007).

VALORES DE JUICIO	
CRITICO (C)	0.66 – 1
SEVERO (S)	0.37 - 0.65
MODERADO (M)	0.16 - 0.36
COMPATIBLE (Cm)	0 - 0.15

El carácter del impacto se definió conforme a los criterios de cada clase de conformidad con Gómez-Orea, 2007 (ver tabla siguiente)

Carácter del I	Definición
Compatible (Cm)	Si el impacto tiene poco efecto, recuperándose el medio por sí mismo sin medidas correctoras e inmediatamente tras el cese de la acción.
Moderado (M)	Si la recuperación, sin medidas correctoras intensivas, implica un periodo considerable.
Severo (S)	Si la recuperación exige un tiempo prolongado, incluso con la actuación de medidas correctoras.
Crítico (C)	Si se produce una pérdida permanente de las condiciones ambientales sin posible recuperación, incluso con la adopción de prácticas o medidas correctoras.

### Identificación de Impactos Ambientales

Previo al unicio de este apartado es de señalarse que si bien el proyecto será realizado en el medio marino, también se llevarán a cabo acciones en tierra tales como el traslado y maniobras de las piezas que conformarán el arrecife artificial previo a su ingreso al mar. Este movimiento de piezas se realizará ingresando hacia la playa a través de una validad del hotel vecino quien ha otorgado su permiso; así, antes de llegar a la zona federal, se descargará pieza por pieza e irán trasladando de la misma forma ya sea de manera manual entre tres personas o con un pequeño bobcat que llevará la pieza directo al agua; por lo que las piezas no serán almacenadas en la zofemat. Los impactos ambientales para el medio terrestre se presentan como sigue (ver tabla), no sin antes mencionar que el proyecto contempla una serie de medidas para evitarlos y/o minimizarlos

Acciones generadoras de impacto	Factor ambiental	Impacto ambiental
Transporte de piezas	Aire	A1: Alteración de la calidad del aire por circulación de vehículos automotores. A2:Alteración del confort sonoro por uso de de vehículos automotores.
	Fauna	F1. Mortandad o daño por atropellamiento durante el transporte de las estructuras hacia la playa.

Por lo que toca a la parte marina se anticipa que al colocar las piezas en el fondo marino podría ocasionarse una minima resuspensión del sedimento afectando de manera directa la calidad del fondo marino por la escasa pérdida de algunas particulas de sedimento y del agua al incrementar la turbidez. Asimismo, de no realizar la vigilancia y contar con el cuidado suficiente, podría afectarse la bióta marina provocando daños en algún organismo bentónico, mienas que para la

fauna de la columna de agua no se advierten daños toda vez que será ahuyentada por la misma actividad del sitio.

Otro efecto sobre la biota es el asociado a la resuspensión de sedimento, pues una vez que el sedimento se encuentra en la columna de agua es transportado por las corrientes para después precipitarse de nuevo al fondo en otras zonas. Este sedimento entonces puede ocasionar efectos en la biota.

Una vez instalados los módulos, pudiera darse el caso de que estos representen en algunos casos como una barrera paralela que limite la llegada de algunos organismos como tortugas marinas hacia la playa y viceversa.

Para llevar a cabo la instalación de las estructuras será necesaria la presencia de personal y de ser necesario se usará sólo una balsa no motorizada. Esto podría generar impactos ambientales derivados de la producción de residuos provenientes del consumo de alimentos por el personal de la embarcación alterando las características físico-químicas del agua y del fondo marino si los desechos se precipitan al fondo, impactando en el hábitat y con ello la biota que habita en la zona; además de los impactos previstos por daño directo persona-organismos al intentar pescar, coleccionar o pisar algún ejemplar.

La instalación de los arrecifes artificiales tendrá efectos en la dinámica costera ya que estas estructuras serán colocadas con el fin de minimizar la fuerza de las olas que ingresan a la playa y que ocasionan su pérdida por erosión. Al colocar las estructuras y disminuir la fuerza del oleaje, recuperando a lo largo del tiempo la playa perdida. Asimismo, aunque en menor proporción, la colocación de las piezas alterará levemente el paisaje submarino en razón que estas corresponden a un elemento ajeno al ecosistema marino.

### **Acciones susceptibles de generar impactos y factores ambientales potencialmente afectados.**

Con base en la información obtenida en capítulos previos se advierten las actividades susceptibles de generar efectos en el ambiente así como aquellos componentes ambientales que pueden verse alterados por el desarrollo del proyecto.

Durante la etapa de instalación (construcción), se identificaron las siguientes actividades:

- Transporte de estructuras en medio marino
- Colocación de estructuras
- Presencia de personal
- Generación de residuos

Mientras que para la etapa de operación y mantenimiento las siguientes:

- Presencia de estructuras
- Posible reacondicionamiento de estructuras

Por su parte, los componentes o factores ambientales que pueden sufrir algún efecto por la ejecución del proyecto serían los siguientes:

Factores ambientales susceptibles de sufrir un impacto ambiental.		
Medio	Factor	Subfactor
Abiótico	Agua marina	Calidad
	Fondo marino	Calidad
	Dinámica costera	Perfil de playa
Dinámica litoral		
Biótico	Biota marina	Hábitat
		Cobertura (bentónica)
		Movilidad
	Especies bentónicas enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010	Cobertura
	Tortugas marinas	Acceso a las zonas de anidación y regreso al mar.
	Tortugas marinas (crías)	Libre paso de crías hacia el mar.
Perceptual	Paisaje	incidencia visual
	Económico	Nivel de empleo
Socio-económico	Social	Recreación

A continuación se presenta la **matriz de interacción:**

Elemento					Arrecifes Artificiales (Estructuras de protección)							
					Fase				Operación y mantenimiento			
					Construcción de estructuras		Operación y mantenimiento		Operación y mantenimiento			
Sistema	Subsistema	Medio	Factor	Subfactor	Transporte de estructuras en medio marino a través de barcaza	Colocación de estructuras	Presencia de personal	Generación de residuos	Presencia de estructuras	Posible reacondicionamiento de estructuras		
SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL	FISICO-NATURAL	Abiótico marino	Agua	Calidad	X	X		X				
			Fondo marino	Calidad		X		X				
			Dinámica costera	Perfil de playa		X					X	
				Dinámica litoral		X					X	
		Biota marina	Hábitat		X	X	X				X	
			Cobertura		X		X					
			Movilidad	X	X					X		
		Biótico marino	Especies bentónicas enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010	Cobertura		X						
			Tortuga marina (hembras)	Acceso a zonas de anidación y regreso al mar		X					X	
			Tortuga marina (crías)	Libre paso de crías hacia el mar		X					X	
			<i>Lobatus gigas</i> y <i>L. costatus</i>	Movilidad		X					X	
			Perceptual	Paisaje	Incidencia visual						X	
		socio-económico	Socio-Económico	Nivel de empleo		X	X	X	X	X	X	



Derivado del análisis de la matriz de interacción se obtuvieron un total de 32 interacciones de las cuales 26 son perjudiciales y 6 benéficas.

Es importante mencionar que la ejecución de este proyecto traerá consigo, además de impactos ambientales negativos, beneficios sociales en la comunidad. Por un lado, en el nivel de empleo, ya que con este proyecto se pretende contratar personal y empresas del municipio ayudando con ello a su economía, y por otro lado al nivel de recreación que podrán tener los bañistas, pues tal como se ha comentado a lo largo del estudio la playa ha estado sujeta a eventos meteorológicos adversos y se mantiene además sujeta a procesos de erosión constante que han ocasionado un retroceso en la línea de playa, por lo que con la instalación de los arrecifes artificiales se ayudará a conservar este sitio proveyendo así espacios de diversión y distracción para los paseantes y bañistas; máxime considerando que las estructuras, en poco tiempo lograrán funcionar como un nuevo hábitat para diferentes especies marinas; especialmente para peces corales y esponjas al igual que en otros proyectos de la zona. No obstante o anterior, para este capítulo únicamente se valoran únicamente los impactos ambientales perjudiciales por el desarrollo del proyecto.

### **Caracterización y valoración de los impactos ambientales.**

Una vez determinadas las posibles interacciones entre los factores ambientales y las actividades involucradas en la ejecución de las obras, se identificaron las posibles afectaciones ambientales, las cuales serán presentadas a continuación de manera breve y su efecto sobre los componentes ambientales será valorado de acuerdo al grado de afectación del mismo a través de la importancia y magnitud. Con base en la metodología descrita con anterioridad. Los efectos potenciales serán valorados para cada factor ambiental considerado. Con el fin de obtener la relevancia de los impactos identificados, se llevó a cabo el cálculo de los índices de incidencia ( $I_{std}$ ) y de magnitud ( $I_M$ ) por factor ambiental para determinar aquellos que serán significativos. Para ello los impactos se caracterizaron de acuerdo a los 10 atributos señalados con base en sus características. Posteriormente, se definieron los indicadores que pudieran reflejar la magnitud de éstos, medida en unidades heterogéneas. Los indicadores seleccionados fueron en la medida de lo posible cuantitativos. Cuando no fue posible, se llevó a cabo la valoración de la magnitud con la ayuda de indicadores cualitativos. A continuación, se presenta la identificación y valoración de los impactos ambientales que serán generados por la ejecución del proyecto:

#### **❖ Elemento: Arrecifes artificiales (estructuras)**

**Factor ambiental: agua marina**

**Fase: Construcción.**

Con la instalación de las nuevas estructuras, se ocasionará la resuspensión de sedimento incrementando la turbidez del agua (AMc1,  $I_{std}=0.38$ ). La magnitud de este impacto se determinó con base en el tipo de sedimento encontrado en el sitio y las corrientes que predominan en el área. Durante las acciones contempladas, el sedimento será liberado a la columna de agua creando una ligera pluma de turbidez y alterando con ellos las características físico-químicas del agua ya que puede viajar y permanecer en la columna incluso algunos minutos dependiendo de las condiciones del mar.

Sin embargo, la cantidad de sedimento que será suspendido no será considerable toda vez que se deberá trabajar en condiciones de mar tranquilo, siendo así un impacto de magnitud baja (0.4). Es importante mencionar que para evitar que el sedimento resuspendido se disperse a otras zonas e impacte en la calidad del agua del sitio, se colocará una malla geotextil la cual será removida una vez que se hayan terminado las acciones previstas y hasta que el sedimento se haya depositado en el fondo y el agua no presente turbidez. Para determinar esto se llevará a cabo la vigilancia del agua marina antes, durante y después de la ejecución de las obras con el fin observar los posibles cambios en la turbidez de la misma en las zonas aledañas a las geomallas textiles ubicadas en los puntos donde se realice la colocación de piezas para detectar cualquier fuga de sedimento que pueda afectar al agua y a la biota del sitio y establecer en su caso las medidas necesarias para evitar afectaciones mayores de ser el caso. La valoración del impacto al agua marina se presenta como sigue:

Factor ambiental: Agua marina														
Construcción de estructuras														
<b>AMc1.</b> Alteración de las características del agua debido a la resuspensión de sedimento derivado de la instalación de los arrecifes artificiales.														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	1	1	3	1	2	2	1	1	16	0.38	0.4	0.15	Cm
<b>AMc2.</b> Alteración de las características del agua debido a la posible contaminación de la misma por el mal manejo de residuos producidos en esta etapa.														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	2	2	3	3	3	3	1	1	21	0.66	0.2	0.13	Cm

Durante la etapa de instalación de las estructuras, la calidad del agua marina podría ser afectada por la producción de residuos (AMc2,  $I_{std}=0.66$ ) si no se realiza un buen manejo de los mismos. Los residuos producidos en esta etapa provendrán del personal que será contratado para ejecutar las acciones (envases, envolturas, etc.). No obstante los pocos residuos que en su caso pudieran generarse serán colectados en la balsano motorizada para posteriormente ser dispuestos en contenedores específicos y trasladados al sitio donde la autoridad municipal designe. Tomando en cuenta esto, la magnitud se determinó como 0.2 (muy baja).

**Factor ambiental: Fondo marino**  
**Fase: Construcción**

Un aspecto importante que puede modificar la calidad del fondo marino es la resuspensión de sedimento por la turbulencia asociada a las acciones de instalación de las estructuras (FMc1,  $I_{std}=0.6$ ). Este efecto es inevitable, no obstante, cabe mencionar que las áreas en las que se pretenden realizar estas acciones presentan un sustrato de con poco relieve, de laja, sobre la cual se forma una capa delgada de sedimentos finos que para este estudio se denominó como arenal; por lo que será un impacto menor, local y por ello de magnitud muy baja (0.2). Sin embargo, para evitar que el sedimento resuspendido se disperse a otras zonas e impacte en la calidad del agua del sitio, se colocará una malla geotextil tal como se indicó líneas arriba, la cual será removida una vez que se hayan terminado las acciones previstas y hasta que el sedimento se haya depositado en el fondo y el agua no presente turbidez. Para determinar esto se llevará a cabo la vigilancia del agua marina antes, durante y después de la ejecución de las obras con el fin de verificar que el agua presente las mismas condiciones de turbidez a las iniciales.

Los desechos generados en esta fase pueden resultar en la contaminación del fondo marino, sobre todo por los residuos sólidos provenientes del personal que pueden precipitarse al fondo (FMc2,  $I_{std}=0.71$ ) Al respecto para evitar cualquier afectación al fondo, todos los residuos generados en la embarcación serán colectados en la misma y serán dispuestos en las zonas adecuadas de manera posterior y de acuerdo al tipo de residuo. Aunado a esto, para evitar cualquier efecto en el fondo marino, la balsa no motorizada estará sujeta al mantenimiento de todas sus partes asegurando que se encuentre en buenas condiciones para su uso. No se omite mencionar que actualmente en el área se llevan a cabo actividades acuáticas y hay circulación continua de embarcaciones que sí funcionan con combustible. Tomando en cuenta esto, la magnitud se determinó como 0.2 (muy baja). Ver tabla siguiente.

Factor ambiental: Fondo marino															
Construcción															
<b>FMc1.</b> Modificación de la calidad de sedimento marino por la instalación de las estructuras lo cual ocasionará resuspensión de sedimento en zonas aledañas.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	2	2	3	1	3	3	1	1		19	0.6	0.2	0.12	Cm
<b>FMc2.</b> Alteración de las características físico-químicas del fondo marino debido a posible contaminación por el mal manejo de residuos producidos en esta etapa.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	3	3	3	3	3	1	1		23	0.71	0.2	0.14	Cm

**Factor ambiental: Biota marina**  
**Fase: Construcción de arrecife artificial y operación y mantenimiento**

En la zona marina, la biota será afectada directamente, pues se alterará su hábitat por la instalación de los arrecifes artificiales al ser elementos ajenos a su ambiente natural (BMc1,  $I_{std}= 0.78$ ) reduciendo el área natural que puede servir de su habitat. La magnitud de este impacto fue determinada con base en el área que será afectada por los módulos respecto al área total de SA.

Toda vez que porcentaje que será ocupado por los modulos que compondrán el arrecife artificiale es mínimo respecto al área total del SA (ver planos en anexos). Cabe mencionar que las estructuras que serán colocadas en el sitio podrán servir como sustrato para el reclutamiento de especies en el sitio, ya que, si bien representan elementos ajenos al ambiente, estos arrecifes artificiales serán conformados por piezas rugosas que al ser colocados brindan oquedades que servirán de refugio para los organismos y la porosidad necesaria para el establecimiento de comunidades sobre ellos. Se ha observado que los arrecifes artificiales pueden proveer hábitats favorables para productores primarios y secundarios y como zona de crianza para algunos peces, sin presentar impactos adversos en la distribución o abundancia de macrozoobentos o peces (Manny et. al.,1985). Considerando lo anterior la magnitud se determinó como baja (0.4).

Factor ambiental: Biota Marina															
Construcción															
<b>BMc1.</b> Pérdida de hábitat natural por instalación de estructuras															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	1	3	3	3	3	1	3		23	0.78	0.4	0.31	M
<b>BMc2.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres debido a la instalación de las estructuras disminuyendo su cobertura por daño directo.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	3	3	3	3	3	1	1		23	0.78	0.4	0.31	M
<b>BMc3.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres y a las enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, debido a la instalación de las estructuras disminuyendo su cobertura por resuspensión de sedimento.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	3	3	3	3	3	1	1		23	0.78	0.4	0.31	M
<b>BMc4.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres debido a la posible contaminación del agua por el mal manejo de residuos sólidos de tipo urbanos															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	1	3	3	3	2	1	3		21	0.66	0.2	0.13	Cm
<b>BMc5.</b> Mortandad o daño a la biota por la presencia de personal en el sitio.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	1	1	3	3	3	3	1	1		19	0.55	0.2	0.11	Cm
<b>BMc6.</b> Afectación al libre transito de la Tortuga marina hacia la playa para anidar y su regreso hacia mar abierto debido a las acciones contempladas para instalar las estructuras por presencia de personal y maniobras															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	3	3	3	3	3	1	1		23	0.78	0.4	0.31	M

Factor ambiental: Biota Marina														
Operación y mantenimiento.														
BMo7. Mortandad o daño a la biota por la presencia de visitantes en el sitio.														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	1	1	3	3	3	2	1	3	19	0.66	0.2	0.13	Cm
BMo8. Afectación al libre acceso de la Tortuga marina hacia la playa para anidar y su regreso hacia mar abierto debido a la instalación de las estructuras ya que podría limitarse su acceso.														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	3	3	3	3	3	1	3	25	0.88	0.4	0.35	M
BMo9. Afectación al libre paso de las crías de tortuga marina debido a la presencia de las estructuras limitando su llegada a mar abierto.														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	3	3	3	3	3	3	1	3	25	0.81	0.4	0.32	M
BMo10. Afectación a la movilidad de la especie <i>Lobatus gigas</i> y <i>L. costatus</i> que habitan la zona debido a la presencia de las estructuras limitando el libre paso en el área.														
Atributos										Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C	I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	2	3	3	3	3	3	1	3	24	0.83	0.4	0.27	M

Asimismo, la biota podría ser afectada disminuyendo su cobertura en el sitio ya sea de manera directa por la instalación de las estructuras ocasionando incluso la mortandad de algún organismo que se encuentren en el área al momento de la colocación (BMc2,  $I_{std} = 0.78$ ) o bien afectarlo levemente (en caso de algunos corales cercanos) por efecto la resuspensión de sedimento (BMc3,  $I_{std} = 0.78$ ), considerándose mayor en las especies que se encuentran en alguna categoría de riesgo de acuerdo con NOM-059-SEMARNAT-2010.

Con la instalación de los arrecifes artificiales en el sitio, la biota que se encuentre en el área de intervención directa podría ser impactada disminuyendo su cobertura o incluso número de individuos (BMc2,  $I_{std} = 0.78$ ). La magnitud de este impacto se determinó con base en las comunidades y especies existentes en la zona de afectación directa y contigua a los arrecifes artificiales.

Las características del ambiente y tipo de sustrato que existe donde se pretende colocar las estructuras corresponden al arenal somero; siendo este biotopo el de menor presencia de organismos marinos tal como se demostró en el estudio y por lo que la magnitud del impacto sobre la biota marina se determinó como baja (0.4).

Con el fin de minimizar el efecto que será ocasionado en la biota marina, se llevarán a cabo acciones de ahuyentamiento y en su caso rescate y reubicación de fauna marina que así lo requiera. Al respecto, los arrecifes artificiales podrían servir como sitios de reubicación de estos organismos, ya que serán sustrato libre para colonización y establecimiento de comunidades, pues se ha observado que éstos pueden proveer hábitats favorables para productores primarios y

secundarios y como zona de crianza para algunos peces, sin presentar impactos adversos en la distribución o abundancia de macrozoobentos o peces (Manny, B., *et. al.*, 1985).

La resuspensión de sedimentos por la turbulencia asociada a las acciones de instalación de las estructuras ( $BMc3$ ,  $I_{std}= 0.78$ ) puede afectar a la biota aledaña. La magnitud de este impacto se definió considerando el tipo de sedimento en la zona de afectación directa, la corriente en el sitio y los organismos que se encuentran en los ambientes.

Respecto al tipo de sedimento en la zona de afectación directa, las áreas en las que se pretenden realizar estas acciones presentan un sustrato de laja con poco relieve sobre la cual se forma una capa delgada de arena por lo que una vez resuspendido será trasladado por las corrientes tal como se señaló líneas arriba.

Considerando la caracterización marina realizada en el área, los ambientes que podrían ser afectados por la resuspensión de sedimento son laja lisa y rugosa con algas así como arenal somero. En estos ambientes como se muestra en el estudio existe una predominancia de algas, mientras que en el caso del arenal somero no se observó la presencia de biota sésil. Observando lo antes descrito, si bien en la zona existe biota que puede ser afectada por la resuspensión del sedimento, éstas se encuentran de manera escasa. Por lo antes expuesto, la magnitud del impacto  $BMc3$  se definió como baja (0.4). Sin embargo, para evitar que el sedimento resuspendido se disperse a otras zonas e impacte en la calidad del agua del sitio y con ello a la biota, se colocará una malla geotextil, la cual será removida una vez que se hayan terminado las acciones previstas y hasta que el sedimento se haya depositado en el fondo y el agua no presente turbidez. Para determinar esto, se llevará a cabo la vigilancia del agua marina antes, durante y después de la ejecución de las obras con el fin de verificar que el agua presente las mismas condiciones de turbidez a las iniciales y todas las actividades se realizarán preferentemente cuando el mar este en calma.

Los residuos provenientes del personal en general podrían afectar a la biota marina contaminando el área que habitan ( $BMc4$ ,  $I_{std}=0.66$ ). La magnitud de estos impactos se determinó con base en el tipo de residuos que serán generados y la biota existente en el sitio. De acuerdo con el estudio de caracterización marina mostrado en el capítulo IV, en este sitio se presentan ambientes con biota escasa compuesta principalmente por ambientes de laja con la presencia de algunas especies y en donde no se registraron especies en alguna categoría de riesgo según la NOM-059-SEMARNAT-2010. Los residuos que serán producidos provendrán principalmente del personal encargado de las obras de instalación de los módulos. Como se mencionó anteriormente, el área donde se pretende realizar el proyecto es una zona ya impactada donde actualmente se llevan a cabo actividades acuáticas y donde se presenta la circulación de embarcaciones motorizadas constantemente. No obstante, para evitar cualquier afectación por las acciones contempladas en el proyecto, la basa

será revisada previamente para verificar que se encuentre en buenas condiciones y que no existan residuos que hayan dejado los trabajadores. Además de ello, los residuos generados por el personal serán colectados en la embarcación en contenedores específicos para posteriormente ser retiradas y dispuestas en donde la autoridad municipal determine evitando así cualquier afectación a la fauna del SA o fuera de éste. No se omite mencionar que esto es poco probable toda vez que dentro de esta no podrán subirse alimentos ni bebidas. Es por lo antes expuesto que la magnitud se estableció como muy baja (0.2).

La presencia de personal en la zona durante la instalación de estructuras (BMc5,  $I_{std}=0.55$ ), además de la presencia de visitantes en la etapa de operación de las estructuras puede ser un agente de afectación para la biota del sitio al tratar de capturar o remover algún ejemplar del área o causar daño a los organismos de manera directa (BMo7,  $I_{std}=0.66$ ). La magnitud de estos impactos se determinó con base en los organismos presentes en la zona, la cantidad de personal que será contratado y su experiencia. La cantidad de personal que será contratado para llevar a cabo la construcción de los arrecifes artificiales será bajo, pues se requieren 6 personas para realizar este trabajo, de las cuales tres serán los buzos que se ocuparán de colocar las piezas y quienes estarán en contacto directo con la biota. Respecto a la etapa de operación, es difícil realizar un cálculo exacto pues depende de la fluctuación de turistas.

Considerando el estudio de caracterización realizado en la zona, se trata de un área con ambientes poco diversos con escasa biota tanto silvestre como de las especies enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010. No obstante lo anterior, se prevé la implementación de Rescate y Reubicación de Fauna Marina cuando así sea necesario. Aunado a esto, previo al inicio de las actividades se señalarán reglas de operación para el personal en donde se les hará saber las pautas a seguir y las sanciones que deriven de su incumplimiento. Asimismo, se hará del conocimiento de los visitantes y personal que está prohibido cazar, capturar o alimentar a la fauna del sitio así como extraer cualquier tipo de material biogénico del mismo. Tomando en cuenta esto, la magnitud se determinó como muy baja para ambos impactos (0.2).

En playas de la zona se ha registrado arribazón de tortugas marinas. Dado que las estructuras serán colocadas en la parte marina frente, éstas podrían llegar a fungir como obstáculos para el libre paso de estos organismos hacia las playas de anidación y su regreso a la playa durante el proceso de instalación (BMc6,  $I_{std}=0.78$ ) y aún más en la etapa de operación de los arrecifes artificiales (BMo8,  $I_{std}=0.88$ ). De acuerdo con la información obtenida, en el SA del proyecto se registra el arribo de algunos individuos de las especies de tortugas marinas Caguama (*Caretta caretta*), y Verde (*Chelonia mydas*). La magnitud de los impactos BMc6 y BMo8, se determinó considerando el área que será ocupada por las estructuras respecto al SA, la situación actual de la playa respecto a la anidación de tortugas, las principales playas de anidación de tortugas que han

sido identificadas cercanas a la zona y el estatus de riesgo en el que se encuentran las tortugas además del efecto que las acciones que se realizarán significarán para las playas de anidación. Actualmente, los principales registros y estudio de las poblaciones de tortugas marinas que anidan en Quintana Roo son ajenos al frente de playa de nuestro interés, mismo que no está considerado en los listados de playas de importancia en virtud de que no cuenta con registros históricos con densidades importantes. Es importante señalar que en la zona de playa de interés no observaron rastros de nidos ni camas durante los trabajos de campo ni en la temporada reciente.

Los arrecifes artificiales podrían ser una barrera, no obstante, con base en la información obtenida con los hoteles y propietarios vecinos, el arribo de tortugas es escaso pues en suma se han registrado entre 8 y 11 nidos por temporada en esa zona. Asimismo, se ha observado que la zona en la que las tortugas arriban para anidar preferentemente es la playa que se encuentra colindante con el predio situado al extremo Sur del Hotel Royal Haciendas Resort Playa del Carmen la cual es una zona libre de edificaciones y actividad turística, por lo que se trata de un área que no será obstaculizada directamente por los arrecifes artificiales. En virtud de lo anterior, la playa que usan las tortugas de manera preferencial para anidar no será obstaculizada de manera directa por las estructuras de protección por lo que el efecto en las hembras para acceder a la playa será menor. Cabe señalar que el área que será ocupada representa una mínima parte del área total de SA lo que implica un área pequeña de afectación además de que los arrecifes artificiales tendrán una separación entre módulos, por lo que esta discontinuidad permitirá el paso de las hembras anidadoras entre el proyecto. Aunado a lo anterior es importante señalar que las estructuras que se colocarán fueron elegidas en virtud de que estarán totalmente sumergidas dejando un espacio suficiente en la columna de agua entre la cresta de cada pieza y el nivel del agua; lo que permitirá seguramente el libre tránsito de los organismos.

En otras playas con estructuras segmentadas a base de tubos de geotextil rellenos con arena en el área marina, el crecimiento de la playa se ha visto favorecido ya que estas estructuras generan zonas de calma relativa que permiten que el material vertido no se pierda, como en el caso del Hotel Bahía Príncipe Tulum o el Hotel Luxury Bahía Akumal con la presencia de bolsacretos y en cuya playa la anidación de tortugas en las fechas del inicio del proyecto en el año 2000 registró un número menor a 100 nidos de tortugas. Para el año 2015 se reportó un incremento en la cantidad de nidadas; con el registro más alto de los últimos 20 años: 1,864 nidos protegidos con 146,096 crías liberadas (Nota tomada de la Fundación Ecológica Akumal para el año 2015 (<https://sipse.com/novedades>)). Esto muestra que en esta zona los quelonios pueden evadir o cruzar las estructuras como arrecifes artificiales. Con la estabilización de la playa se espera que el arribo de tortugas se vea favorecido, ya que estos organismos prefieren playas anchas que les permitan hacer nidos protegidos del oleaje (Hendrickson, 1982, Abella, 2010). La morfología de la



playa juega un papel determinante en el patrón temporal de distribución de nidos (Hendrickson, 1982.), pues se ha registrado un mayor número de nidos en playas de mayor extensión que en cortas y expuestas al oleaje al existir más espacio útil para la creación de nidos (Abella, 2010). Muchas de las especies de tortugas marinas seleccionan preferentemente playas anchas, libres de obstáculos para anidar pues las pérdidas debido a la erosión e inundación por agua salada, ocurren con menor probabilidad a los nidos situados en la parte alta de la playa (Abella, 2010). La pérdida de playas arenosas no sólo reduce el éxito reproductivo de las tortugas marinas, sino que también pone en peligro la operatividad de las propiedades frente a la playa. Tomando en consideración lo antes señalado, se determinó la magnitud de los impactos BMc6 y BMo8 sobre la tortuga marina como baja (0.4). Con la finalidad de observar que no exista algún efecto negativo en las tortugas por la instalación de los arrecifes artificiales, se llevará a cabo el registro de anidación de tortugas informando de forma inmediata a la autoridad municipal para su atención.

Además del impacto potencial sobre las hembras de tortuga marina, de presentarse el caso, estas estructuras podrían también generar efectos en las crías recién eclosionadas en su viaje hacia mar abierto, pues representarían barreras en su nado ocasionando que cambien de dirección en busca de paso libre, incrementando con ello, el tiempo en aguas someras lo que a su vez aumenta la probabilidad de ser depredadas y no tener éxito para alcanzar mar abierto (BMo9,  $I_{std}=0.81$ ). La magnitud de este impacto en las crías se determinó como baja (0.4) considerando la importancia de la playa en el arribo de las tortugas, la cantidad de crías que eclosionan y la ubicación de los arrecifes artificiales.

El sistema de orientación de las crías debe ser capaz de dirigir las desde cualquier tipo de playa hacia mar abierto. Las crías emplean dos sistemas independientes de orientación de manera secuencial usando diferentes señales. En tierra buscan alejarse de zonas iluminadas y dirigirse a horizontes amplios. Cuando el contacto visual con la tierra es perdido, las crías mantienen su orientación en el mar a un ángulo fijo relativo a las olas (Lohman y Wykenen, 1990) y después al campo magnético (el vector de dirección es determinado durante su paso por la playa a través de la elevación del horizonte y las olas de aguas someras refractadas por lo que se alejan de siluetas elevadas y nadan hacia las olas cercanas a la playa) (Salmo y Weneken, 1994, Fuxjager, et. al. 2011). La dirección de la propagación de las olas son señales de orientación a mar abierto para las crías y nadan hacia ellas más allá de 18 km siendo capaces de cambiar la dirección para rodear obstáculos pequeños (Lohman y Wykenen, 1990). Al tocar el mar se orientan perpendicularmente hacia las olas y su dispersión está determinada por los patrones de circulación para reducir el riesgo de depredación y mantenimiento de energía (Hamanna, et al., 2011).

Dado que se orientan por las olas, las supuestas crías podrían encontrarse con los arrecifes artificiales en su nado y en el peor de los casos podría incrementar

el tiempo de nado en aguas someras en su búsqueda de paso libre hacia mar abierto. Whelan y Wyneken (2007) registraron un incremento en la depredación de las crías (5% cada 15 min) si permanecen mucho tiempo en aguas someras ( $3 \pm 1.1$  m). Sin embargo, señalan que en arrecifes artificiales sumergidos la depredación es prácticamente nula (Glenn, 1996). La depredación disminuye una vez que están a profundidades mayores a 10 m. Una vez en el agua la circulación del agua y el nado de las crías controla la dispersión de las mismas.

Por otro lado, también se ha observado que olas grandes y corrientes oceánicas frecuentemente impiden a las crías en su nado inicial, escapar a mar abierto (Whelan y Wyneken, 2007). Tomando en consideración lo anterior, la instalación de los arrecifes artificiales en esta zona tiene como objetivo disminuir la fuerza de las olas que ingresan a la playa para reducir la erosión que existe en el área y con ello el retroceso de la línea de costa que se ha observado a lo largo de los años. Esta disipación de energía de las olas podría favorecer el nado de las crías hacia mar abierto de encontrarse en estas zonas al disminuir la fuerza de las olas.

Otro punto es que dentro del SA se registró la presencia de *Lobatus gigas* (caracol rosado) y *L. costatus*, ambos organismos se encuentran citados en la NOM-059-SEMARNAT-2010, por lo que la presencia de las piezas que conformará los módulos podría interferir su libre desplazamiento (BMo10,  $I_{std}=83$ ). La magnitud de este impacto sobre las poblaciones de estas especies se determinó con base en la importancia de la zona para las especies, así como su biología y ecología y la superficie que será intervenida por la instalación de las piezas. *Lobatus gigas*, se encuentra en un rango de profundidad que va desde zonas muy someras (menos de 2 m, Alcolado, P., 1976) hasta 73 m (Rodríguez- Sevilla, et al., 2009) aunque usualmente se encuentran a 30 m (Prent, P., 2009). Existe además una distribución de los organismos respecto a la profundidad, observándose que los juveniles se encuentran en zonas someras entre 2 y 3 m (Alcolado, 1976), mientras que los adultos de 6 a poco más de 70 m (Rodríguez- Sevilla, et al., 2009). Pero es posible encontrarlos en toda la zona marina en la que penetra la luz (Alcolado 1976; De Jesús Navarrete 1999).

Se ha observado que el caracol rosa elige su sitio de forma estacional para reproducirse, preferentemente a más de 10 m de profundidad (Appeldoorn 1997) y prefiere arena media a gruesa para el desove.

La literatura muestra que si bien los juveniles tienden a cubrir distancias menores y que se ubican en zonas más someras que los adultos, éstos en su crecimiento y como adultos pueden desplazarse grandes distancias ya sea por alimento o por reproducción (Glazer et al. (2003) determinaron que el rango hogareño de caracoles adultos es en promedio de  $59,800 \text{ m}^2$ ). Los arrecifes artificiales, al ser elementos lineales que serán colocados casi paralelos a la costa podrían representar un pequeño obstáculo para estos organismos, sin embargo podrían escalarlo e incluso usarlos como área de protección. Aun así,

estos arrecifes artificiales no serán continuos y contarán con una separación entre ellos, permitiendo su desplazamiento entre diferentes profundidades.

Tal como se ha expuesto, se sabe que estos organismos pueden trepar en superficies verticales de concreto (Hesse 1980), por lo que estos animales podrían pasar los arrecifes artificiales. Estos caracoles tienen un ámbito natural de varios kilómetros (Hesse 1979) y pueden utilizar diferentes hábitats para alimentarse (lechos de pastos marinos) por lo que la presencia de estos arrecifes artificiales no significaría un efecto fuerte en estos animales.

La pesca de caracol rosado reinició en el año 2017, tras una veda decretada de cinco años que tuvo como propósito la recuperación natural del recurso. A partir de este año (2018) se encuentra en veda en dos periodos: todo el mes de febrero y del 1 de mayo al 30 de noviembre, aplicando en Banco Chinchorro y desde punta Herrero hasta Majahual y Bacalar el chico en los límites con Belice (DOF: 19/07/2017). Desde ese tiempo y actualmente se han detectado como áreas importantes para esta especie las zonas antes mencionadas especialmente banco Chinchorro (Rodríguez Duarte, Velázquez-Abunader, 2016; de Jesús-Navarrete 1999, Stoner et al., 1997) así como la Punta norte de la Isla Cozumel en el área de protección de flora y fauna, Caleta de Xel-Ha (Alcolado, 1976) y el Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos, especialmente en la parte norte de la laguna (Chávez Villegas et al., 2012; Chávez Villegas et al., 2014). Considerando esta información cabe mencionar que la zona del proyecto no se ubica en ninguna de estas zonas de importancia para la reproducción y reclutamiento de *L. gigas*, por lo que el impacto en esta especie se aminora.

Un efecto indirecto que podría ocasionarse por la instalación de los arrecifes artificiales podría presentarse en el reclutamiento, ya que para *L. gigas*, la hidrodinámica y patrones de corrientes marinas, remolinos y giros favorecen el transporte y dispersión de sus larvas (geiawf.semarnat.gob.mx.).

El proyecto no representará un efecto adverso en el reclutamiento de *L. gigas*, pues la circulación en el SA no será modificada por la instalación de los arrecifes artificiales ya que el efecto de éstos se limitará únicamente al área cercana y frontal a la cual serán dispuestos y su función será únicamente la dispersión de energía de las olas que ingresan a la playa, por lo que no se presentará un efecto en la dispersión de larvas de esta especie y no se impactará con ello a las poblaciones locales que sirven de suministro a otras áreas.

Por lo que toca al caracol blanco (*L. costatus*), éste sólo fue registrada en época de secas siendo común en el ambiente de laja con algas y sedimento y en el arenal profundo. Existe poca información sobre esta especie. En Quintana Roo, se ha visto la coexistencia de *L. costatus* con *L. gigas* en praderas de pastos marinos, y pedaceras de coral, hecho que se ha descrito en otras áreas del Caribe, encontrándose también en camas de algas y arenales (Tewfik et al. 2003), donde posiblemente encuentren alimento suficiente para desarrollarse,

aunque también puede existir competencia entre ellos (Tewfik y Guzmán 2003) por lo que el solapamiento de las especies es bajo (Tewfik y Guzmán 2003) ya que *L. costatus* tiende a agregarse en zonas distintas a las de *L. gigas*.

La distribución de *L. costatus* está ligada con la profundidad (Alcolado 1976; Pérez Pérez y Aldana Aranda 2000). Esta especie habita en un rango de profundidad de los 2 m a los 55 m (Leal 2003, Rosenberg 2009) con zonas preferentes de 7 m de profundidad. Los caracoles adultos de esta especie tienen una distribución batimétrica más amplia, formando grupos a 40 m de profundidad y su distribución horizontal parece estar limitada a la zona donde el agua presenta determinadas características físico-químicas marinas y donde el sustrato no sea fangoso (Alcolado, 1976). Aunque esta especie tiende a presentar una disposición espacial agregada (Tagliafico, A., et. al., 2012), esta especie, al igual que *L. gigas*, tiende a migrar hacia parches de arena cerca o rodeados de pastizal de *Thalassia testudinum* cuando el fotoperiodo y la temperatura son adecuadas para la reproducción. (Brownell 1977, Robertson 1959, D'Asaro 1986, Davis et al. 1993, citados en Shawl, A. 2001). La cópula se presenta regularmente a una profundidad entre 6 y 16 metros y a una temperatura de 27 a 29 °C (Stoner et.al. 1992, Davis 1984, Brownell 1977, citados en Shawl 2001). Las larvas de esta especie también dependen de las corrientes marinas para su distribución (geiawf.semarnat.gob.mx.). Considerando esta información, es altamente probable que el efecto sobre esta especie sea muy bajo tanto en adultos como en larvas como en *L. costatus*, ya que el efecto de los arrecifes artificiales se limitará al sitio en el que estarán colocados dejando espacios libres para el paso de estos organismos sin afectar otras zonas ni los patrones de circulación dentro del SA. Con base en lo anterior la magnitud se determinó como baja (0.4). En conclusión debe comprenderse que del área total del SA, el proyecto representa un área muy pequeña y que éste traerá consigo beneficios para la recuperación de la playa y representará un sustrato para la fijación y protección de organismos sésiles y móviles tal como se ha observado en con otros proyectos similares en las costas de Quintana Roo.

#### **Factor ambiental: Dinámica costera**

#### **Fase: operación y mantenimiento de estructuras**

Las estructuras que se instalarán para ayudar a estabilizar la playa, representan barreras artificiales que ocasionan escasos cambios en la dinámica costera. Uno de los impactos asociados a estas estructuras es la modificación del transporte litoral (DCo1, DCo2,  $I_{std}=0.66$ ) lo que implica un cambio en el aporte de sedimentos a la playa y con ello la morfología del perfil de playa pues el balance de aporte y transporte de sedimentos se altera, aún y cuando estas estructuras tienen la finalidad de ayudar a la conservación de la playa en la zona. La magnitud de los impactos asociados a la instalación de los arrecifes artificiales en la dinámica costera se determinó con base en el efecto que tendrán en el SA y en la zona de afectación directa. De acuerdo con el estudio de modelación de la dinámica costera en la celda litoral es posible observar que el efecto principal

que estas estructuras tendrán al ser instaladas, es la disminución de la fuerza del oleaje sin afectar el transporte litoral, ya que son estructuras paralelas que permitirán el paso del agua.

Factor ambiental: Dinámica costera															
Operación y mantenimiento															
DCo1. Modificación del transporte litoral debido a la presencia de las estructuras pues éstas disminuirán la fuerza del oleaje en la zona.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	1	1	3	3	3	1	1	3		18	0.66	0.2	0.13	Cm
DCo2. Alteración del perfil de playa por la presencia de las estructuras pues éstas disminuirán la fuerza del oleaje ayudando a conservar el sedimento en la zona.															
Atributos											Índice		Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C		I	Istd	M	Istd*M	
(-)	3	1	1	3	3	3	1	1	3		19	0.55	0.2	0.13	Cm

Tomando en consideración los estudios realizados se observa que el efecto que tendrán los arrecifes artificiales será la disipación de la energía de las olas únicamente en el área en la que estarán colocados sin afectar la circulación dentro de la celda litoral, por lo que el sedimento podrá mantenerse en el sitio ayudando a la recuperación de la playa y si bien el perfil será modificado, éste se espera recupere el área perdida. Además, el agua podrá seguir circulando y con ello el transporte litoral continuará ya que se trata de estructuras separadas entre sí. Los resultados obtenidos en nuestro estudio son corroborados con estudios previos en otras zonas. De acuerdo con Aminti, y Billi (1984), las características del sedimento en las playas protegidas por los arrecifes artificiales son de la misma calidad del sedimento que prevalece en playas sin este tipo de protecciones. Kubowicz-Grajewska (2015) menciona que los arrecifes artificiales sumergidos tienen un impacto menor en la modificación de la morfología y litodinámica de la costa, limitándose estos cambios a los alrededores inmediatos de la construcción y calificando a los impactos generados por los arrecifes artificiales como neutros. Su efecto como se muestra en el estudio se manifestará únicamente en el área en la que estas estructuras serán colocadas sin ocasionar efectos en predios aledaños ni en el SA, por lo que la magnitud se determinó como con un valor de 0.2.

### Factor ambiental: Paisaje

Con la instalación de las estructuras el paisaje será modificado mínimamente, lo cual será un impacto permanente ( $Po1$ ,  $I_{std}=0.78$ ). Sin embargo, es importante señalar que la zona en la que se pretende llevar a cabo el proyecto se encuentra previamente impactada por actividades marinas que se realizan en el área. Aunado a esto, las estructuras estarán cubiertas por el agua sin causar un impacto visual relevante. Considerando lo anterior y el porcentaje de área afectada por las estructuras respecto al SA, la magnitud se determinó como muy baja (0.2).

Valoración de los impactos ambientales para el factor ambiental PAISAJE.

Factor ambiental: Paisaje														
Operación y mantenimiento														
Po1. Alteración de la incidencia visual en el paisaje de la zona debido a la presencia de estructuras artificiales.														
Atributos										Índice	Magnitud	Valor del impacto	Valor de juicio	
Signo	I	A	S	M	P	Rv	R	Pd	C					I
(-)	3	3	1	3	3	3	3	1	3	23	0.78	0.2	0.16	Cm

## V.5 Descripción de los impactos ambientales.

Después del análisis realizado anteriormente en donde se describieron y evaluaron los impactos potenciales derivados de la ejecución del proyecto se valoraron un total de 17 impactos. La biota marina es el factor ambiental que será afectada en mayor medida. Con base en esto se presenta a continuación la descripción de los impactos valorados como moderados, ya que son éstos los que implican un efecto mayor sobre el ambiente.

Impactos ambientales de mayor valor.
<b>Factor ambiental: BIOTA MARINA</b>
<b>BMc1.</b> Pérdida de hábitat debido a la instalación de las estructuras lo que disminuye el área natural en la zona en la que pueden establecerse los organismos.
Valor del impacto: 0.31 Moderado
<b>Descripción.</b> El proyecto pretende la instalación de módulos de arrecifes artificiales. Para la construcción de los arrecifes artificiales, se colocarán piezas que ocuparán área natural en el fondo marino en el que actualmente se distribuye biota marina. La ocupación total de los módulos es poca en relación al SA; aun cuando cada pieza que conformará el arrecife artificial ocuparán un área natural, estas piezas podrán servir como sustrato y protección para el reclutamiento de especies en el sitio, que, aunque representan elementos ajenos al ambiente, estos arrecifes artificiales serán conformados por piezas rugosas que al ser colocadas podrán mantener oquedades que servirán de refugio para los organismos y la porosidad necesaria para el establecimiento de comunidades sobre ellos. Se ha observado que los arrecifes artificiales pueden proveer hábitats favorables para productores primarios y secundarios y como zona de crianza para algunos peces, sin presentar impactos adversos en la distribución o abundancia de macrozoobentos o peces (Manny, et al., 1985).
<b>BMc2.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres debido a la instalación de las estructuras disminuyendo su cobertura por daño directo.
Valor del impacto: 0.31 Moderado
<b>Descripción.</b> Las características del ambiente y tipo de sustrato que existe donde se pretende colocar las estructuras es con baja presencia y desidad de organismos caracteriada por ser arenal somero
<b>BMc3.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres debido a la instalación de las estructuras disminuyendo su cobertura por resuspensión de sedimento.
Valor del impacto: 0.31 Moderado
<b>Descripción.</b> Considerando la caracterización marina realizada en el área, los ambientes que podrían ser afectados por la resuspensión de sedimento que se mueven por la columna de agua son laja lisa y rugosa con algas así como el arenal somero que es donde se colocará el proyecto; sin embargo en estos ambientes como se señala en la caracterización marina existe una predominancia de algas, mientras que en el caso del arenal somero no se observó la presencia de biota sésil
<b>BMc6.</b> Afectación al libre acceso de la Tortuga marina hacia la playa para anidar y su regreso hacia mar

Impactos ambientales de mayor valor.
abierto debido a las acciones contempladas para instalar las estructuras
Valor del impacto: 0.31 Moderado
<b>BMo8.</b> Afectación al libre acceso de la Tortuga marina hacia la playa para anidar y su regreso hacia mar abierto debido a la presencia de las estructuras
Valor del impacto: 0.35 Moderado
<p><b>Descripción</b></p> <p>En las playas aledañas se ha registrado arribazón de tortugas marinas. Dado que estas estructuras serán colocadas frente a la costa, éstas podrían fungir como obstáculos para el libre paso de estos organismos hacia las playas de anidación y su regreso a la playa durante el proceso de instalación y aún más en la etapa de operación de los arrecifes artificiales. De acuerdo con la información obtenida, en el área cercana al proyecto se registró el arribo de algunos individuos de ciertas especies de tortugas marinas para anidar.</p> <p>De acuerdo con la asociación civil Flora, Fauna y Cultura de México, A.C., son 13 las playas de mayor densidad de nidos en el litoral costero de Quintana Roo, y ninguna de estas corresponde a la playa comprendida en el área de estudio.</p> <p>Como se ha señalado en diversas ocasiones, el proyecto pretende la instalación módulos de arrecifes artificiales paralelos a la costa, con el fin de minimizar la fuerza de las olas y con ello recuperar la playa que se ha perdido por el proceso de erosión que ha sufrido. Las estructuras que serán instaladas, podrían representar una barrera para las hembras en su paso hacia las áreas de anidación y en su regreso a mar abierto. No obstante se reitera que por representar una pequeña porción del SA, estas sumergidos bajo el agua y además contar con una separación, no se anticipa que representen un obstáculo mayor y por tanto podrán ser esquivados por las tortugas e incluso pasar entre las piezas.</p>
<b>BMo9.</b> Afectación al libre paso de las crías de tortuga marina debido a la presencia de las estructuras impidiendo su llegada a mar abierto
Valor del impacto: 0.32 Moderado
<p><b>Descripción.</b></p> <p>Las estructuras podrían generar efectos en las crías recién eclosionadas en su viaje hacia mar abierto, pues representarían barreras en su nado ocasionando que cambien de dirección en busca de paso libre, incrementando con ello, el tiempo en aguas someras lo que a su vez aumenta la probabilidad de ser depredadas y no tener éxito para alcanzar mar abierto (BMo9, <math>I_{std}=0.81</math>). No se omite mencionar que la zona preferente de anidación no se encuentra en la playa de afectación directa de los arrecifes artificiales pues éstos se ubican al norte de esta zona.</p> <p>El sistema de orientación de las crías es capaz de dirigir las desde cualquier tipo de playa hacia mar abierto. Las crías emplean dos sistemas independientes de orientación de manera secuencial usando diferentes señales. En tierra buscan alejarse de zonas iluminadas y dirigirse a horizontes amplios. Cuando el contacto visual con la tierra es perdido, las crías mantienen su orientación en el mar a un ángulo fijo relativo a las olas (Lohman y Wykenen, 1990) y después al campo magnético (el vector de dirección es determinado durante su paso por la playa a través de la elevación del horizonte y las olas de aguas someras refractadas por lo que se alejan de siluetas elevadas y nadan hacia las olas cercanas a la playa) (Salmo, y Weneken, 1994; Fuxjager, et al. 2011). La dirección de la propagación de las olas son señales de orientación a mar abierto para las crías y nadan hacia ellas más allá de 18 km siendo capaces de cambiar la dirección para rodear obstáculos pequeños (Lohman, y Wykenen, 1990). Al tocar el mar se orientan perpendicularmente hacia las olas y su dispersión está determinada por los patrones de circulación para reducir el riesgo de depredación y mantenimiento de energía (Hamanna, et al., 2011).</p> <p>Dado que se orientan por las olas, las crías podrían encontrarse con los arrecifes artificiales en su nado sobre todo aquellas que eclosionen en la parte norte de la playa. Encontrarse con obstáculos como los arrecifes artificiales podría incrementar el tiempo de nado en aguas someras en su búsqueda de paso libre hacia mar abierto. Whelan y Wyneken, (2007) mostraron que la tasa de mortalidad incrementa mientras permanecen más tiempo cerca de aguas someras y se especula que el escape rápido de aguas someras podría ser un mecanismo genético de defensa (Whelan y Wyneken, 2007). Estos autores registraron un incremento en la depredación de las crías (5% cada 15 min) si permanecen mucho tiempo en aguas someras (<math>3 \pm 1.1</math> m). Sin embargo, se observa mayor depredación en zonas someras con sustratos duros naturales que sobre arena. En arrecifes artificiales sumergidos no hay depredación (Glenn, 1996). La depredación disminuye una vez que están a profundidades mayores a 10 m. Una vez en el agua la circulación del agua y el nado de los tortuguillos controla la dispersión de los mismos. Al respecto, como se mencionó anteriormente, la zona no representa una playa de alta densidad de nidos y el efecto en las crías sería menor dado que las crías que eclosionen en la parte norte correrían más</p>

### Impactos ambientales de mayor valor.

riesgo, sin embargo, los arrecifes artificiales no serán continuos ya que contarán con una separación de 40 m aprox. entre ellos lo que permitirá que las crías puedan dirigirse a mar abierto.

Por otro lado, también se ha observado que olas grandes y corrientes oceánicas frecuentemente impiden a las crías en su nado inicial, escapar a mar abierto (Whelan y Wyneken, 2007). Tomando en consideración lo anterior, la instalación de los arrecifes artificiales en esta zona tiene como objetivo disminuir la fuerza de las olas que ingresan a la playa para reducir la erosión que existe en el área y con ello el retroceso de la línea de costa que se ha observado a lo largo de los años. Esta disipación de energía de las olas podría favorecer el nado de las crías hacia mar abierto de encontrarse en estas zonas al disminuir la fuerza de las olas y no su dirección.

**BMo10.** Afectación a la movilidad de la especie *Lobatus gigas* y *L. costatus* que habitan la zona debido a la presencia de las estructuras impidiendo el libre paso en el área.

Valor del impacto: 0.32 Moderado

#### Descripción.

En el SA se registró la presencia de *Lobatus gigas* (caracol rosado) y *L. costatus*. Dado que estos organismos tienen patrones de migración de acuerdo a su etapa de desarrollo, la presencia de las estructuras podría impedir su libre desplazamiento. Respecto a *Lobatus gigas*, esta especie se encuentra en un rango de profundidad que va desde zonas muy someras (menos de 2 m, Alcolado, P., 1976) hasta 73 m (Rodríguez- Sevilla, et al., 2009) aunque usualmente se encuentran a 30 m (Prent, P., 2009). Existe además una distribución de los organismos respecto a la profundidad, observándose que los juveniles se encuentran en zonas someras entre 2 y 3 m (Alcolado, 1976), mientras que los adultos de 6 a poco más de 70 m (Rodríguez- Sevilla, et al., 2009). Pero es posible encontrarlos en toda la zona marina en la que penetra la luz (Alcolado 1976; De Jesús Navarrete 1999).

La información antes referida y la de apartados previos, muestra que, si bien los juveniles tienden a cubrir distancias menores y que se ubican en zonas más someras que los adultos, éstos en su crecimiento y como adultos pueden desplazarse grandes distancias ya sea por alimento o por reproducción. Los arrecifes artificiales, al ser elementos lineales que serán colocados casi paralelos a la costa podrían representar a ligera barrera para estos organismos. No obstante, estos arrecifes artificiales no serán continuos y contarán con una separación entre ellos, esta le permitirá a los individuos de esta especie desplazarse a zonas someras o profundas por reproducción o alimento. Además, se ha observado que los juveniles y adultos de *L. gigas* pueden trepar en superficies verticales de concreto (Hesse, 1980), lo que podría también a estos animales a pasar los arrecifes artificiales. Estos caracoles tienen un ámbito natural de varios kilómetros (Hesse, 1979) y pueden utilizar diferentes hábitats para alimentarse (lechos de pastos marinos) y para reproducirse (arenales) (Stoner y Sandt, 1992), por lo que la presencia de estos arrecifes artificiales no significaría un efecto fuerte en estos animales.

La pesca de caracol rosado reinició en el año 2017, tras una veda decretada de cinco años que tuvo como propósito la recuperación natural del recurso. A partir de este año (2018) se encuentra en veda en dos periodos: todo el mes de febrero y del 1 de mayo al 30 de noviembre, aplicando en Banco Chinchorro y desde punta Herrero hasta Majahual y Bacalar el chico en los límites con Belice (DOF: 19/07/2017). La zona del proyecto no se ubica directamente en ninguna de estas zonas de importancia para la reproducción y reclutamiento de *L. gigas*, por lo que el impacto en esta especie será menor. Un efecto indirecto que podría ocasionarse por la instalación de los arrecifes artificiales podría presentarse en el reclutamiento, ya que para *L. gigas*, la hidrodinámica y patrones de corrientes marinas, remolinos y giros favorecen el transporte y dispersión de sus larvas (geiawf.semarnat.gob.mx.). Corral, y Ogawa, (1987) señalaron que en las costas mexicanas la reproducción es continua, lo que se reflejaría en un patrón constante de reclutamiento, aunque en la zona de Quintana Roo, se encontró que en julio el reclutamiento fue nulo y que el primer período importante es de noviembre a febrero, sobreponiéndose con el segundo pico, que es el de mayor intensidad y se presenta de enero a mayo (De Jesús-Navarrete, et al., 2000).

La distribución de *L. gigas* en su fase larval está regida por las corrientes superficiales pues existe dependencia del flujo larval en el Caribe, pudiendo la larva de *L. gigas* ser transportada desde sitios ubicados en Belice y México hasta Florida al presentarse corrientes de 0.8 m/s (De Jesús Navarrete, 1999). La distribución y abundancia de las larvas depende de la estación del año (Chávez-Villegas et al., 2009) y las mayores abundancias se han observado en la estación de lluvias en Junio (Aldana-Aranda, y Pérez-Pérez, 2007) y Agosto (De Jesús-Navarrete, 2001; Aldana-Aranda, y Pérez-Pérez, 2007). Las corrientes han sido descritas como factor de dispersión y transporte de las larvas (Mitton et al., 1989;



### Impactos ambientales de mayor valor.

Stoner, et al. 1996; Stoner, 2003). Se piensa que las larvas se concentran sobre los principales ejes de los corrientes, creando los sitios de alta abundancia de juveniles, habiendo una relación directa entre larvas competentes y el tamaño de las poblaciones de los juveniles (Stoner, A., 2003). Dada la extensa fase planctónica (15-22 días), las larvas pueden ser transportadas por distancias considerable, de hasta 900 km (Davis, et al., 1993, Peel, 2012). De acuerdo con algunos estudios (Pérez Pérez, 2004; Bravo Castro, 2009; Chávez Villegas, et.al., 2012; Chávez Villegas, et.al., 2014), se considera que el Caribe Mexicano puede suministrar larvas a las poblaciones de *L. gigas* de la zona norte del Caribe, especialmente la zona norte de la Laguna Arrecifal de Puerto Morelos (Chávez Villegas, et. al., 2014), por lo que la zona arrecifal es un área importante de producción de larvas de esta especie. Con esto, se asume que los sitios estudiados en el caribe mexicano, especialmente los situados en la zona norte de la laguna actúan como fuente de larvas de gasterópodos, siendo sitios importantes para preservar la diversidad larval en la región.

Con base en la información presentada anteriormente, podría presentarse un efecto adverso en el reclutamiento de *L. gigas* de modificarse la circulación del SA o de alguna zona importante que impida el transporte y establecimiento de juveniles, ya que como se mencionó anteriormente la distribución de larvas y con ellos de juveniles está ligada a la circulación de las corrientes y a condiciones propicias para su establecimiento. No obstante, con base en el estudios realizados es posible afirmar que la circulación que se presenta en la zona y específicamente en el SA no será modificada por la instalación de los arrecifes artificiales ya que el efecto de éstos se limitará únicamente al área frente a la cual serán dispuestos. Su función será únicamente la dispersión de energía de las olas que ingresan a la playa, por lo que no se presentará un efecto en la dispersión de larvas de esta especie y no se impactará con ello a las poblaciones locales que sirven de suministro a otras áreas. Cabe mencionar que el área del proyecto se ubica a aproximadamente 40 km de la laguna de Puerto Morelos en el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos y a 18 km de la Isla de Cozumel.

En el caribe mexicano también se ha registrado la presencia de caracol blanco (*L. costatus*), especie de importancia comercial y que ha mostrado disminución en sus poblaciones de la misma forma que *L. gigas*. Cabe mencionar que esta especie sólo fue registrada en época de secas siendo común en el ambiente de laja con algas y sedimento y en el arenal profundo. Existe poca información sobre esta especie. En Quintana Roo, se ha visto la coexistencia de *L. costatus* con *L. gigas* en praderas de pastos marinos, y pedacera de coral, hecho que se ha descrito en otras áreas del Caribe, encontrándose también en camas de algas y arenales (Tewfik et al. 2003), donde posiblemente encuentren alimento suficiente para desarrollarse, aunque también puede existir competencia entre ellos (Tewfik y Guzmán, 2003) por lo que el solapamiento de las especies es bajo (Tewfik y Guzmán, 2003) ya que *L. costatus* tiende a agregarse en zonas distintas a las de *L. gigas*. Al igual que *L. gigas*, la distribución de *L. costatus* está ligada con la profundidad (Alcolado, 1976; Pérez Pérez, y Aldana Aranda, 2000). Esta especie habita en un rango de profundidad de los 2 m a los 55 m (Leal, 2003, Rosenberg, 2009) con zonas preferentes de 7 m de profundidad. Los caracoles adultos de esta especie tienen una distribución batimétrica más amplia, formando grupos a 40 m de profundidad y su distribución horizontal parece estar limitada a la zona donde el agua presenta determinadas características físico-químicas marinas y donde el sustrato no sea fangoso (Alcolado, 1976). Aunque esta especie tiende a presentar una disposición espacial agregada (Tagliafico, et. al., 2012), esta especie, al igual que *L. gigas*, tiende a migrar hacia parches de arena cerca o rodeados de pastizal de *Thalassia testudinum* cuando el fotoperíodo y la temperatura son adecuadas para la reproducción. (Brownell 1977, Robertson 1959, D'Asaro 1986, Davis et al. 1993, citados en Shawl, 2001). La cópula se presenta regularmente a una profundidad entre 6 y 16 metros y a una temperatura de 27 a 29 °C (Stoner et.al. 1992, Davis, 1984; Brownell, 1977, citados en Shawl, A. 2001). Las larvas de esta especie también dependen de las corrientes marinas para su distribución (geiawf.semarnat.gob.mx.). Considerando esta información, es altamente probable que el efecto sobre esta especie sea muy bajo tanto en adultos como en larvas como en *L. costatus*, ya que el efecto de los arrecifes artificiales se limitará al sitio en el que estarán colocados dejando espacios libres para el paso de estos organismos sin afectar otras zonas ni los patrones de circulación dentro del SA y la región.

## V.6. Impactos acumulativos, sinérgicos y residuales.

### Modificación de la dinámica costera durante la operación de los arrecifes artificiales (Impacto residual).

Debido a la instalación de las estructuras la dinámica costera se verá modificada, ya que las estructuras disminuirán la fuerza del oleaje evitando con ello la pérdida continua de sedimento y en consecuencia de la playa, por lo que el efecto a nivel local será positivo en la zona. Respecto al efecto en el SA, de acuerdo con el estudio de dinámica costera realizado en el área no habrá impacto más allá de la zona en la que serán colocados los arrecifes artificiales. Por esto, considerando que las estructuras no causarán efectos que puedan poner en peligro la integridad del ambiente en el SA, este impacto se determinó como de muy baja magnitud. Es de recordarse que, como se mencionó anteriormente, el presente proyecto se propone como una medida para frenar el proceso de erosión crónica que sufre la playa tanto por cuestiones naturales como por antrópicas. Con el desarrollo de infraestructura turística en la zona en las últimas décadas, la dinámica propia de la costa fue modificada a tal grado que actualmente no puede recuperarse de manera natural y sólo a través de la intervención humana. Al tratarse de una zona donde no existen arrecifes que puedan servir de protección ante el oleaje y la ausencia de vegetación costera que pueda disminuir la erosión, el escape de sedimento se ha convertido en un problema de la zona. Es por ello que, con el fin de tratar de minimizar el impacto sobre la playa, reflejado en cambios fuertes en la línea de costa por pérdida de sedimento, se instalarán las estructuras de protección para reducir la fuerza del oleaje y permitir la estabilización gradual de la playa.

#### **Alteración de la movilidad de las especies que habitan la zona (Impacto residual).**

Con la instalación de los nuevos elementos que serán colocados en la zona, se ocuparán áreas libres que podrían representar pequeñas barreras artificiales para algunas especies. Sin embargo, el área que será ocupada no será continua, las piezas que la conforman estarán sumergidas y contarán con un espaciamiento que permitirán el paso de los individuos. Por lo antes expuesto, si bien serán elementos artificiales, el impacto que ocasionarán en la zona será de muy baja magnitud para la biota que habita el sitio y aún menor para la flora y fauna que se ubica en la celda litoral.

#### **Alteración del libre acceso de tortugas marinas al área de anidación y regreso al mar (Impacto residual, acumulativo y sinérgico).**

El área de pretendida ubicación del proyecto es una zona que se encuentra ya impactada por actividades turísticas. Dentro del SA existen varios hoteles en funcionamiento que llevan a cabo actividades marinas en la zona, por lo que se trata de una región en la cual las actividades antropogénicas son altas, y la instalación de los arrecifes artificiales podría contribuir a la perturbación existente ya en la zona para las tortugas marinas. La magnitud de este impacto se determinó considerando la cantidad de nidos que se han registrado y el área en la que anidan en la zona.

Es importante mencionar que, de acuerdo con las observaciones realizadas en la zona el arribo de hembras a la zona es escaso (8 a 11 nidos por temporada) y además anidan preferencialmente en la playa ubicada en el Hotel The Royal haciendas Resort Playa del Carmen. En virtud de lo anterior, la playa que usan las tortugas de manera preferencial para anidar no será obstaculizada de manera directa por las estructuras de protección por lo que el efecto en las hembras para acceder a la playa será menor. Cabe señalar que el área que será ocupada representa una mínima parte del área total de SA lo que implica un área pequeña de afectación además de que los arrecifes artificiales tendrán una separación entre módulos, por lo que esta discontinuidad permitirá el paso de las hembras anidadoras entre el proyecto. Aunado a lo anterior es importante señalar que las estructuras que se colocarán fueron elegidas en virtud de que estarán totalmente sumergidas dejando un espacio suficiente en la columna de agua entre la cresta de cada pieza y el nivel del agua; lo que permitirá seguramente el libre tránsito de los organismos. Considerando la baja densidad de anidamientos y los elementos antes planteados, la magnitud del impacto es baja (0.2).

Uno de los objetivos que se persigue con la instalación de los arrecifes artificiales es reducir el proceso erosivo que sufre la playa frenando el retroceso de la línea de costa y ayudando a recuperar la playa que se ha perdido. Contar con una playa más extensa podría contribuir al incremento en el número de arribos de tortugas pues como se ha visto a través de estudios, la extensión de la playa además de otras características juega un papel importante para las hembras en el proceso de anidamiento y el éxito de eclosión de las crías.

### **Alteración del libre paso de las crías hacia mar abierto (acumulativo y sinérgico).**

En cuanto a las crías que pudieran eclosionar en el sitio o cerca de este, de ser el caso, se enfrentarían a los arrecifes artificiales frenando su nado a mar abierto. El área de pretendida ubicación del proyecto es una zona que se encuentra ya impactada por actividades turísticas y como se ha expuesto, dentro del SA existen varios hoteles en funcionamiento que llevan a cabo actividades marinas en la zona, por lo que se trata de una región en la cual las actividades antropogénicas son altas y la instalación de los arrecifes artificiales podría contribuir a la perturbación existente ya en la zona para las tortugas marinas. La magnitud de este impacto se determinó considerando la cantidad de nidos que se han registrado y el área en la que anidan. Además del impacto potencial sobre las hembras de tortuga marina, estas estructuras podrían generar efectos en las crías recién eclosionadas en su viaje hacia mar abierto, pues representarían barreras en su nado ocasionando que cambien de dirección en busca de paso libre, incrementando con ello, el tiempo en aguas someras lo que a su vez aumenta la probabilidad de ser depredadas y no tener éxito para alcanzar mar abierto. La magnitud de este impacto en las crías se determinó

considerando la importancia de la playa en el arribo de las tortugas, la cantidad de crías que eclosionan y la ubicación de los arrecifes artificiales.

Como se señaló anteriormente, las playas de la zona contigua registran de 8 a 11 nidos por temporada, por lo que si consideramos la superficie de playa que comprende el SA, esto resultaría en una densidad mínima de nidos en dicha superficie y por tanto una baja cantidad de crías. Por otro lado, la zona preferente de anidación no se encuentra en la playa de afectación directa de los arrecifes artificiales pues éstos se ubican al norte de esta zona. El sistema de orientación de las crías debe ser capaz de dirigir las desde cualquier tipo de playa hacia mar abierto. Al tocar el mar se orientan perpendicularmente hacia las olas y su dispersión está determinada por los patrones de circulación para reducir el riesgo de depredación y mantenimiento de energía (Hamanna, et al., 2011).

Dado que se orientan por las olas, las supuestas crías podrían encontrarse con los arrecifes artificiales en su nado y en el peor de los casos podría incrementar el tiempo de nado en aguas someras en su búsqueda de paso libre hacia mar abierto. Whelan y Wyneken (2007) registraron un incremento en la depredación de las crías (5% cada 15 min) si permanecen mucho tiempo en aguas someras ( $3 \pm 1.1$  m). Sin embargo, señalan que en arrecifes artificiales sumergidos la depredación es prácticamente nula (Glenn, 1996). La depredación disminuye una vez que están a profundidades mayores a 10 m. Una vez en el agua la circulación del agua y el nado de las crías controla la dispersión de las mismas.

Por otro lado, también se ha observado que olas grandes y corrientes oceánicas frecuentemente impiden a las crías en su nado inicial, escapar a mar abierto (Whelan y Wyneken, 2007). Tomando en consideración lo anterior, la instalación de los arrecifes artificiales en esta zona tiene como objetivo disminuir la fuerza de las olas que ingresan a la playa para reducir la erosión que existe en el área y con ello el retroceso de la línea de costa que se ha observado a lo largo de los años. Esta disipación de energía de las olas podría favorecer el nado de las crías hacia mar abierto de encontrarse en estas zonas al disminuir la fuerza de las olas.

Tomando en consideración lo antes expuesto la magnitud de este impacto en las crías será baja. No obstante, para evitar un efecto mayor en las poblaciones de las tortugas marinas, de encontrarse nidos frente a los arrecifes artificiales, éstos serán reubicados en sitios protegidos, acciones que serán supervisadas y realizadas por el personal que ejecuta el Programa de Conservación Municipal y siguiendo sus recomendaciones.

**Modificación del hábitat por la instalación de infraestructura en el área (Impacto acumulativo).**

Para la identificación de los impactos acumulativos, se consideró la existencia de infraestructura aledaña al sitio de ejecución del proyecto y en el SA. Se estima que respecto a la modificación de hábitat se presentará un impacto ambiental acumulativo de magnitud muy baja sobre el SA por el desarrollo del proyecto. Dado que se trata de una zona turística, en la actualidad se llevan a cabo actividades acuáticas en este sitio. Cabe mencionar que, si bien este impacto será directo, e inevitable, el área que será ocupada por las estructuras representa un mínimo porcentaje del SA. Además, estas estructuras podrán fungir como zonas de reclutamiento y refugio de especies.

### **Modificación del paisaje (impacto acumulativo y residual).**

Con la instalación de las estructuras en la zona, la modificación del paisaje, será permanente. No obstante, es importante señalar que como se mencionó anteriormente, éstas estructuras serán colocadas por abajo del nivel medio de la mar, por lo que sólo serán visibles durante una marea extremadamente baja. Aunado a lo anterior el área que ocuparán sólo representa pequeño porcentaje del SA además de tratarse de una zona en la que ya se realizan actividades marinas. Es importante mencionar que la colocación de estas estructuras servirá para ayudar a minimizar la erosión que sufre actualmente la playa, por lo que, si bien se afectará el paisaje al poner elementos artificiales en el sitio, éstos ayudarán a conservar la playa que de otro modo, es decir, sin la ayuda del hombre, sería muy poco probable y de existir esa opción, en un muy largo plazo y siempre y cuando no azoten tormentas en la región.

### **V.7. Conclusiones.**

Si bien el proyecto podría generar algunos efectos sobre el medio, es posible manifestar que este proyecto cumplirá con lo establecido en el artículo 35 de la LGEEPA, ya que la identificación y evaluación de impactos presentada evidenció que los posibles efectos de las actividades del proyecto no pondrán en riesgo la estructura y función de los ecosistemas descritos en el SA con base en lo siguiente:

1. El proyecto no se desarrollará en áreas naturales o de importancia ecológica y se encuentra en una zona alejada de áreas naturales protegidas decretadas a nivel federal y estatal.. Además de esto, no se localizan en el sitio áreas de atención prioritaria, ni en colindancia con ningún sitio histórico, zona arqueológica o zona de importancia indígena o de alta fragilidad ambiental.
2. El proyecto se llevará a cabo en una pequeña superficie que corresponde a un porcentaje muy pequeño respecto al SA.
3. La zona donde se pretende llevar a cabo el proyecto presenta características que evidencian impacto humano previo por actividades turísticas.

4. Los arrecifes artificiales serán ubicados en zonas donde no existen pastos marinos por lo que éstos no serán afectados por la instalación de los mismos, conservando así las zonas de alimentación y refugio de muchas especies.
5. La presencia de *L. gigas* y *L. costatus* en la zona fue escasa en las dos temporadas de muestreo en la zona marina. En adición, para evitar la afectación de los individuos de esta especie se implementarán medidas para su protección durante la ejecución del proyecto.
6. Respecto a las especies de tortuga marina, si bien el área donde se pretende ejecutar este proyecto forma parte de las áreas de anidación de tortugas, la playa frente a la cual se pretende la instalación de los arrecifes artificiales no está considerada como un área de importancia para las tortugas, pues la densidad de los nidos en la zona es baja. Aunado a lo anterior, las tortugas muestran una zona preferencial de anidamiento que no se ubica frente a los arrecifes artificiales. Por otro lado, estas estructuras estarán sumergidas y contarán con un espaciamiento entre ellas permitiendo el paso de los quelonios. Aunado a esto, los pastos marinos no serán afectados por lo que las zonas de alimentación de estas especies serán conservadas.
7. La instalación de los arrecifes artificiales ayudará a la recuperación de la playa que se ha visto afectada por eventos naturales y antropogénicos que le han impedido recuperarse de manera natural por lo que se hace necesario el establecimiento de este tipo de proyectos para frenar el retroceso de la línea de costa. La recuperación de la playa traerá consigo efectos benéficos no sólo para los huéspedes sino también se espera para el arribo de tortugas.
8. De acuerdo con el análisis presentado, se considera que no se modificarán los procesos naturales de las especies de flora y fauna tanto de las incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, como las no citadas en dicha norma, ya que se llevarán a cabo las acciones necesarias para evitar cualquier posible afectación a las mismas.
9. Las estructuras de arrecifes artificiales representarán un agente de afectación directa de la dinámica del sitio pero sólo se presentará en el área inmediata frente de la ubicación de los arrecifes artificiales sin tener efecto alguno en el resto del área del SA.
10. La construcción de proyectos, puede significar un agente contaminante importante. Sin embargo, los componentes ambientales no se verán afectados por el tipo y la cantidad de residuos generados ni el sedimento resuspendido pues se implementarán las acciones necesarias para evitarlo.
11. Finalmente, el proyecto involucra obras y actividades que, si bien ocasionarán impactos ambientales, éstos fueron evaluados como compatibles y moderados, por lo que los efectos serán menores sin afectar la integridad funcional de los ecosistemas en el SA. No obstante, se implementarán las medidas necesarias para prevenir, mitigar y

compensar estos efectos ambientales en pro de la protección y conservación del ambiente.

Por lo antes expuesto, el proyecto se considera viable en términos ambientales en tanto se tomen las medidas necesarias en el desarrollo del mismo y se cumpla con una adecuada protección del entorno y su recuperación a corto, mediano y largo plazo.

## V.8.Referencias

- Abella, E. 2010. Factores ambientales y de manejo que afectan al desarrollo embrionario de la tortuga marina *Caretta caretta*. Implicaciones en programas de incubación controlada. Tesis doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria. España.
- Alcolado, P. (1976). Crecimiento, variaciones morfológicas de la concha y algunos datos biológicos del cobo *Strombus gigas* L. (Mollusca, Mesogastropoda). Serie Oceanológica. 34. 1 – 36.
- Aldana Aranda, D. y M. Pérez Pérez. 2007. Abundance and distribution of queen conch (*Strombus gigas*, Linné 1758) veligers of Alacranes Reef, Yucatán, México. Journal of Shellfish Research 26(1):59-63
- Aminti P. y P. Billi. 1984. An investigation of the effects of breakwaters on beach sediment characteristics. CATENA 11(4): 391-400.
- Arzola F., y J. Armenta. 1994. Análisis comparativo de los factores ambientales en nidos naturales y nidos trasladados y su efecto en crías de tortuga golfina, *Lepidochelys olivacea* en la playa El Verde, Mazatlán, Sinaloa, durante la temporada 1992-1993. Tesis de Biología, Instituto Tecnológico de Los Mochis, México, 72 p.
- Bolongaro Crevenna R., A. Z. Márquez García, V. Torres Rodríguez y A. García Vicario, 2010. Vulnerabilidad de sitios de anidación de tortugas marinas por efectos de erosión costera en el estado de Campeche, p. 73-96. En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J.L. Rojas Galaviz (ed.). Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Semarnat-ine, unamicmyl, Universidad Autónoma de Campeche. 514 p.
- Bravo Castro, M. 2009. Abundancia de larvas de Caracol rosa *Strombus gigas* en Quintana Roo. México. Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Conkal, Conkal, Yucatán, México.
- Briseño Dueñas, R. y F. Abreu Grobois. 1998. Las tortugas y sus playas de anidación en México. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Informe final SNIBCONABIO proyecto No. P066. México D. F.
- Burt, J., A. Bartholomew y P. Sale. 2011. Benthic development on large-scale engineered reefs: A comparison of communities among breakwaters of different age and natural reefs Ecological Engineering. 37(2): 191-198.
- Carranza-Edwards, A., A. Zoilo Márquez-García, C. Tapia-Gonzalez, L. Rosales-Hoz y M. Alatorre-Mendieta. 2015. Cambios morfológicos y sedimentológicos en playas del sur del Golfo de México y del Caribe noroeste Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen 67, núm. 1, 2015, p. 21-43.
- Carrillo González F., J. Ochoa, J. Candela, A. Badan, J. Sheinbaum y J. González Navarro. Tidal currents in the Yucatán Channel. Geofís. Int. 46: 199-209
- Coronado C., J. Candela, R. Iglesias Prieto, J. Sheinbaum, M. López y F. Ocampo-Torres. 2007. On the circulation in the Puerto Morelos fringing reef lagoon. Coral Reefs 26:149-163
- Corral, J. y J. Ogawa. 1987. Cultivo masivo de *Strombus gigas* en estanques de concreto. Proc. Gulf. Carib. Fish. Inst. 38: 354-351
- Chávez Villegas J., M. Enríquez Díaz y D. Aldana Aranda. 2014 Abundancia y diversidad larval de gasterópodos en el Caribe Mexicano en relación con la temperatura, la salinidad y el oxígeno disuelto Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 62 (Suppl. 3): 223-230, September 2014
- Chávez Villegas J., M. Enríquez Díaz, J. Cid Becerra y D. Aldana Aranda. 2012. Abundancia y distribución de larvas de *Strombus gigas* (Mesogastropoda: Strombidae) durante el período

- reproductivo de la especie en el Caribe Mexicano Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 60 (Suppl. 1): 89-97, March 2012. De Jesús-Navarrete, A.; Domínguez-Viveros, M.; Medina-Quej A. y J. Oliva-Rivera. J 2000. Crecimiento, mortalidad y reclutamiento del caracol *Strombus gigas* en Punta Gavilán, Q. Roó, México. INP. SAGARPA. México. Ciencia Pesquera No. 14
- Davis M., C. Bolton y A. Stoner. 1993. A comparison of larval development, growth, and shell morphology in three Caribbean *Strombus* species. *Veliger* 36: 236-244.
- De Jesús Navarrete, A. (1999). Distribución y abundancia de larvas velíferas de *Strombus gigas* en Banco Chinchorro Quintana Roo, México. Tesis doctoral, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.
- De Jesús-Navarrete, A.; M. Domínguez-Viveros; A. Medina-Quej y J. J. Oliva-Rivera. 2000. Crecimiento, mortalidad y reclutamiento del caracol *Strombus gigas* en Punta Gavilán, Q. Roó, México. INP. SAGARPA. México. Ciencia Pesquera No. 14
- Doerr J. y R. Hill. 2007. A Preliminary Analysis of Habitat Use, Movement, and Migration Patterns of Queen Conch, *Strombus gigas*, in St. John, USVI, Using Acoustic Tagging Techniques Proceedings of the 60th Gulf and Caribbean Fisheries Institute November 5 - 9, 2007 Punta Cana, Dominican Republic
- Doerr J. y R. Hill. 2013. Home Range, Movement Rates, and Habitat Use of Queen Conch, *Strombus gigas*, in St. John, U.S. Virgin Islands Caribbean Journal of Science 2013 : Vol. 47, Number 2-3, pg(s) 251- 259 <https://doi.org/10.18475/cjos.v47i3.a13>
- DOF: 19/07/2017. ACUERDO por el que se modifica el similar por el cual se establecen periodos de veda para la pesca comercial de caracol rosado o blanco (*Strombus gigas*) en aguas de jurisdicción federal correspondientes al litoral del Estado de Quintana Roo, publicado el 13 de febrero de 2009.
- DRAFT EIS. 2011. St Lucie County South Beach and Dune Restoration Project 2, 2011. DRAFT ENVIRONMENTAL IMPACT STATEMENT. <http://www.dunewalkbytheocean.com/ace/2011-05%20USACE%20Draft%20Environ%20Impact%20stmt.pdf>
- Fujjager, M., B. Eastwood y K. Lohmann. 2011. Orientation of hatchling Loggerhead Sea turtles to regional magnetic fields along a transoceanic migratory pathway. *The Journal of Experimental Biology* 214, 2504-2508 © 2011. Published by The Company of Biologists Ltd doi:10.1242/jeb.055921
- Gallopin, J. 1997. "Indicators and their Use: Information for Decision Making", en Moldan B. Billharz S, Matraers, R. (eds.), Sustainable Indicators: A Report on the Project on Indicators of Sustainable Development, Chichester, John Wiley & Sons.
- Ga-Young C. y K. Eckert. 2009. Manual de Mejores Prácticas para la Protección de Playas de Anidación de Tortugas Marinas. Red de Conservación de Tortugas Marinas en el Gran Caribe (WIDECAS). Informe Técnico No. 9. Ballwin, Missouri. 96 pp.
- Glenn, L. 1996. The orientation and survival of loggerhead sea turtle hatchlings (*Caretta caretta*) in the near shore environment. Masters thesis. Florida Atlantic University, Boca Raton.
- Green, K. 2002 - Beach nourishment: a review of the biological and physical impacts. ASMFC (Atlantic States Marine Fisheries Commission), Habitat Management Series, 7: 174 pp.
- Hamanna, M., A. Grecha, E. Wolanski y J. Lambrechts. 2011. Modelling the fate of marine turtle hatchlings. *Ecological Modelling* 222 (2011) 1515–1521
- Hendrickson, J. 1958. The green sea turtle, *Chelonia mydas* (Linn.) in Malaya and Sarawak. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 130, 455-535. [http://www.trafficj.org/publication/02\\_Queen\\_Conch.pdf](http://www.trafficj.org/publication/02_Queen_Conch.pdf) [https://www.researchgate.net/publication/247084073\\_Orientation\\_by\\_hatchling\\_sea\\_turtles\\_Mechanisms\\_and\\_implications](https://www.researchgate.net/publication/247084073_Orientation_by_hatchling_sea_turtles_Mechanisms_and_implications).
- Hesse, K. 1979. Movement and migration of the queen conch, *Strombus gigas*, in the Turks and Caicos Islands. *Bull. Mar. Sci.* 29: 303–311.
- Hesse, K. 1980. Gliding and climbing behaviour of the queen conch *Strombus gigas*. *Caribb. J. Sci.* 16: 105– 108.
- Hill A., L. Veale, D. Pennington, S. Whyte, A. Brand y R. Hartnoll. 1999. Changes in Irish Sea Benthos: Possible Effects of 40 years of Dredging Estuarine, Coastal and Shelf Science 48, (6): 739-750.



- Hitchcock D y S. Bell. 2004. Physical Impacts of Marine Aggregate Dredging on Seabed Resources in Coastal Deposits. *Journal of Coastal Research* 20, (1): 101-114.
- ICES. International Council for the Exploration of the Sea. 1996. Annual Report Proces-Verbal de la Reunion. 84th Statutory Meeting. <http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/ICES%20Annual%20Report/1996AnnualReport.pdf>
- Kinder, T. 1983. Shallow currents in the Caribbean Sea and Gulf of Mexico as observed with satellite tracked drifters. *Bull. Mar. Sci.* 33: 239-246.
- Kubowicz-Grajewska A. 2015. Morpholithodynamical changes of the beach and the nearshore zone under the impact of submerged breakwaters -a case study (Orłowo Cliff, the Southern Baltic). *Oceanologia* (2015) 57, 144-158.
- Leal, J. 2003. Gastropods. p. 99-147. In Carpenter, K.E. (ed.). *The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 1: Introduction, molluscs, crustaceans, hagfishes, sharks, batoid fishes, and chimaeras.* FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5. 1600p.
- Lohmann, K., M. Salmon y J. Wyneken. 1990. Functional Autonomy of Land and Sea Orientation Systems in Sea Turtle Hatchlings. *Biological Bulletin* Vol. 179, No. 2: 214-218.
- Manny, B., W. Schloesser; C. Brown, L. French y R. John. 1985. Environmental Impact Research Program. Ecological Effects of Rubble-Mound Breakwater Construction and Channel Dredging at West Harbor, Ohio (Western Lake Erie) ARMY ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION VICKSBURG MS ENVIRONMENTAL LAB <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA161755>.
- Márquez, R. 1996. Las tortugas marinas y nuestro tiempo. FONDO DE CULTURA ECONÓMICA. Impreso en México. 104 pp.
- Merino Ibarra, M. 1986. Aspectos de la circulación costera superficial del Caribe Mexicano con base en observaciones utilizando tarjetas de deriva. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. <http://biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1986-2/articulo216.html>
- McGehee, M., 1979. Effects of moisture on eggs and hatchlings of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*). Thesis. B. S., Presbyterian College, USA 252 p.
- Morreale, S.J., G. Ruiz, J. Spotila y E. Standora. 1982. Temperature dependent sex determination: Current practices threaten conservation of sea turtles. *Science*, 216:1245-1247.
- Newell, R., L. Seiderer y D. Hitchcock. 1998. The impact of dredging works in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the sea bed. *Oceanography and Marine Biology* 36, 127-178.
- Nicoletti, L., D. Paganelli y M. Gabellini. 2006. Environmental aspects of relict sand dredging for beach nourishment: proposal for a monitoring protocol. *Quaderno ICRAM*. N.5: 55 pp.
- Noguez Núñez, M. y D. Aldana Aranda. 2014. Eco-etología básica del caracol rosa *Strombus gigas* (Mesogastropoda: Strombidae), en Xel-Há, Yucatán, Caribe mexicano *Rev. Biol. Trop.* (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) 62 (3): 215-222.
- OCDE (1993), OECd Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews: A Synthesis Report by the Group on the State of the Environment, París, ocde.
- Peel, J. 2012. Dinámica poblacional y utilización ontogénica del hábitat por el caracol rosa (*Strombus gigas*), en el parque Xel-Há, Quintana Roo, México Tesis de Maestría. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional Unidad Mérida Departamento de Recursos del Mar.
- Pérez Pérez M. y D. Aldana Aranda. 2000. Distribución, abundancia y morfometría de *Strombus costatus*, *Turbinella angulata*, *Busycon contrarium* y *Pleuroploca gigantea* (Mesogastropoda: Strombidae, Turbinellidae, Neptunidae y Fasciolaridae) en Yucatán, México *Rev. Siol. Trop.*, 48(1): 145-152, 2000.
- Pérez Pérez, M. 2004. Segregación de la población de *Strombus gigas* del Arrecife Alacranes con respecto a las poblaciones del Norte de Yucatán y el Caribe Mexicano Tesis de Ph.D., Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Mérida, Yucatán, México.
- Piedra-Castro. L y V. Morales-Cerdas. 2015. Preferencias en la anidación de tortugas Carey (*Eretmochelys imbricata*) y baulas (*Dermodochelys coriacea*) en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Gandoca Manzanillo, Limón, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. 28 (3): 86-98.

- Pike, D. 2008. Natural beaches confer fitness benefits to nesting marine turtles. *Biology Letters*: 4, 704–706.
- Prent, P. 2013. Spatial size distribution of queen conch (*Lobatus gigas*) veligers in relation with ocean surface currents in Lac Bay, Bonaire. M. Sc. Thesis, Wageningen University. 31 p.
- Rodríguez Duarte J. y J. Velázquez-Abunader. 2016. Efecto de diferentes medidas de manejo sobre la densidad y distribución de la población de caracol rosado (*Lobatus gigas*) en la Reserva de la biosfera Banco Chinchorro (Caribe Mexicano): periodo 1989 – 2016.
- Rodríguez-Sevilla, L., R. Vargas y J. Cortés. 2009 Benthic, shelled gastropods. p. 333-356 Wehrtmann, I.S.; Cortés, J. 2009. Marine biodiversity of Costa Rica, Central America. Springer 538pp.
- Rosenberg, G. 2009 Malacolog 4.1.1: A Database of Western Atlantic Marine Mollusca. [WWW database (version 4.1.1)] URL <http://www.malacolog.org/>.
- Ruiz-Martínez, G, R. Silva-Casarín y Gr. Posada-Vanegas. 2013. Comparación morfodinámica de la costa noroeste del estado de Quintana Roo, México. *Tecnología y Ciencias del Agua* Fecha de consulta: 21 de septiembre de 2018 Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353531983003>> ISSN
- Salmon, M. y Weneken, J. 1994. Orientation by hatchling sea turtles: Mechanisms and implications. *Herpetol. Nat. Hist.* 2.
- SANDPIT, 2005. Sand Transport and Morphology of Offshore Sand Mine Pits. EU Project EVK3-2001-00056. Blokzijl, The Netherlands: Aqua Publications. 600p.
- Shawl, A., 2001. Closing the cycle: captive breeding for the gastropod strombus [https://dukespace.lib.duke.edu/dspace/bitstream/handle/10161/636/MP\\_Shawl\\_Amber...?sequence=1](https://dukespace.lib.duke.edu/dspace/bitstream/handle/10161/636/MP_Shawl_Amber...?sequence=1)
- Shraban K. P. Barik , K. P. Mohanty, B. Balaji y K. Sisir. 2014. Environmental cues for mass nesting of sea turtles S.K. Barik et al. / *Ocean & Coastal Management* 95 (2014).
- Spotila, J., E. Standora, S. Morreale y G. Ruiz de Clark. 1981. Effects of incubation temperature on the sex of hatchling Caribbean green turtles. Final Report to Rutgers University for sub-grant activity on usfws Project 14-16-002-80-222. 29 p
- Steinitz M, M. Salmon y J. Wyneken. 1998. Beach Renourishment and Loggerhead Turtle Reproduction: A Seven Year Study at Jupiter Island, Florida *Journal of Coastal Research* Vol. 14, (3):1000-1013.
- Stoner, A., R. Glazer y P. Barile. 1996. Larval supply to queen conch nurseries: Relationships with recruitment process and population size in Florida and the Bahamas. *J. Shellfish Res.*, 15(2): 404–420
- Stoner, A., N. Mehta y N. Lee. 1997. Recruitment of *Strombus veligers* to the Florida Keys reef tract: relation hydrographic events. *J. Shellf. Res.* 16:1-6.
- Stoner, A. 2003. What constitutes essential nursery habitat for a marine species. A case study of habitat form and function for queen conch. *Marine Ecology Progress Series.* 257: 275-289.
- Suárez Morales, E. y E. Rivera Arriaga. 1998. Zooplankton e hidrodinámica en zonas litorales y arrecifales de Quintana Roo, México. *Hidrobiológica*, 8 (1): 19-32.
- Tagliafico, A; S. Rangel y N. Rago. 2012. Distribución, densidad y estructura de tallas del género *Strombus* (Gastropoda: Strombidae) de la isla de Cubagua, Venezuela *Interciencia*, 37(5): 381-389 Asociación Interciencia Caracas, Venezuela.
- Tewfik A, H. Guzmán, y G. Jacome. 1998. Assessment of the queen conch. *Strombus gigas* (Gasteropoda, Strombidae) population in Cayos Cochinos, Honduras. *Revista de Biología Tropical* 46: 137-150.
- Tewfik A. y H. Guzman. 2003. Shallow-water distribution and population characteristics of *Strombus gigas* and *S. costatus* (Gastropoda: Strombidae) in Bocas del Toro, Panama. *Journal of Shellfish Research.* 22. 789-794.
- Theile, S. 2001. Queen Conch fisheries and their management in the Caribbean. TRAFFIC Europe.
- Torrey, M. 1978. *Morfogénesis de los vertebrados*. Editorial Limusa, México. 776 pp
- Van Moorsel, G. y H. Waardenburg. 1990. Impact of gravel extraction on geomorphology and the macrobenthic community of the Klaverbank (North Sea) in 1989. Rapport Bureau Waardenburg BV, Culemborg, The Netherlands.

- Van Moorsel, G. y H. Waardenburg.1991. Short-term recovery of geomorphology and macrobenthos of the Klaverbank (North Sea) after gravel extraction. Rapport Bureau Waardenburg BV, Culemborg, The Netherlands.
- Van Moorsel, G. 1993. Long-term recovery of geomorphology and population development of large molluscs after gravel extraction at the Klaverbank (North Sea). Rapport Bureau Waardenburg BV, Culemborg, The Netherlands.
- Transport, Public Works & Water Management, The Netherlands.
- Wentworth, K.1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. Journal of Geology, Vol. 30, No. 5, 1922, pp. 377-392.
- Whelan, C. y J. Weneken. 2007. Estimating Predation Levels and Site-Specific Survival of Hatchling Loggerhead Seaturtles (*Caretta caretta*) from South Florida Beaches Copeia. Vol. 2007, No. 3: 745-754.
- Wilber D., D. Clarke, G. Ray y M. Burlas. 2003. Response of surf zone fish to beach nourishment operations on the northern coast of New Jersey, USA. Marine Ecology Progress Series, 250: 231-246.

#### **Sitios web.**

- <http://www.florafaunaycultura.org/espacios/3/campamentos-tortugeros/>).
- [www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/mundo-vivo/19592-quintana-roo-tortugas-marinas-en-mexico](http://www.conacytprensa.mx/index.php/ciencia/mundo-vivo/19592-quintana-roo-tortugas-marinas-en-mexico)).
- [geiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D2\\_R\\_PESCA05\\_03&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce](http://geiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_R_PESCA05_03&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce).
- <https://www.sealifebase.ca/search.php>
- <https://sipse.com/novedades/supera-cifras-la-temporada-de-anidacion-de-tortugas-fundacion-ecologica-bahia-principe-hotel-luxury-bahia-principe-akumal-203422.html>).
- <https://www.researchgate.net/project/Efecto-de-diferentes-medidas-de-manejo-sobre-la-densidad-y-distribucion-de-la-poblacion-de-caracol-rosado-Lobatus-gigas-en-la-Reserva-de-la-biosfera-Banco-Chinchorro-Caribe-Mexicano-periodo-1989-201>

## VI. MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

### Introducción.

Como se mostró en el capítulo V de este documento, la ejecución del Proyecto implica inevitablemente efectos al ambiente. Estos efectos no significarán daños que pongan en peligro la integridad ecológica del ambiente. Sin embargo, si implicarán pequeños cambios a nivel local por lo que con el fin de mantener las condiciones ambientales del SA e incluso mejorarlas, por lo que en este capítulo se exponen las medidas propuestas que atenderán a los impactos ambientales tanto aquellos valorados con mayor incidencia, como aquellos que no la presentan con el fin de no omitir ningún efecto adverso en el ambiente.

### Descripción de la medida o programa de medidas de mitigación o correctivas por componente ambiental.

En la siguiente tabla se muestran las claves de los impactos que serán atendidos por cada medida o medidas. Las claves fueron construidas de acuerdo al factor ambiental afectado, la etapa del proyecto y un número consecutivo para cada impacto en cada factor ambiental.

Factor ambiental	Clave	Etapa del proyecto	Clave
Aire	A	Construcción	c
Suelo	S	Operación y mantenimiento	o
Fauna	F		
Agua marina	AM		
Fondo marino	FM		
Dinámica Costera	DC		
Biota Marina	BM		

### Programa de Manejo Ambiental (PMA)

En el capítulo V se manifestaron, identificaron y evaluaron los impactos ambientales previsibles que potencialmente puede inducir el proyecto; su posible generación obliga a definir con anticipación las medidas necesarias para prevenir, mitigar, o compensar, según sea el caso, los impactos ambientales esperados e integrarlas de manera precisa y coherente en un marco específico de gestión y manejo integrado. Para el cumplimiento de esos fines, se propone este PMA.

Este PMA, establecerá la manera adecuada de realizar cualquier obra o actividad (considerando las medidas de prevención, mitigación y compensación que sean propuestas así como de las que la autoridad ambiental proponga para cada una de las diferentes etapas del proyecto.

Las acciones antes propuestas serán integradas en este PMA, el cual estará conformado por lo siguiente

- Rescate y Reubicación de Fauna Marina (RRFM)
- Monitoreo de Perfil Costero (MPC)
- Acciones Independientes. (AI)

### **Objetivos.**

Los objetivos principales de este PMA son los siguientes:

1. Realizar las acciones necesarias para verificar de manera completa el cumplimiento estricto de los términos y condicionantes ambientales que la SEMARNAT imponga al proyecto al ser autorizado, así como de la legislación y normatividad ambiental aplicable.
2. Verificar, supervisar, coordinar y en su caso implementar las medidas de prevención, mitigación, manejo y monitoreo que se describen en este Capítulo, así como las que considere la autoridad ambiental.
3. Corroborar que las medidas propuestas prevengan, minimicen o compensen los impactos ambientales que genere el proyecto.
4. Evaluar la eficacia de las medidas de prevención y mitigación de impactos ambientales propuestas por el promovente y de ser el caso, aquellas que considere la autoridad ambiental.
5. Identificar alteraciones ambientales no previstas en la MIA-P.
6. Establecer medidas correctivas, en caso de que se identifiquen afectaciones no previstas en la MIA-R o se detecte que las medidas propuestas no son suficientes para contener los impactos ambientales generados por el proyecto.

### **Alcances.**

La finalidad del presente es establecer las medidas necesarias para prevenir, mitigar o compensar la afectación a los componentes ambientales que serán impactados por la ejecución del proyecto.

### **Supervisión y vigilancia de las obras, procesos y actividades autorizadas**

Para garantizar el cumplimiento de las obligaciones ambientales que establezca la SEMARNAT al proyecto, se contará con un responsable de la supervisión ambiental que se coordinará con el responsable de ejecución del proyecto, para planificar conjuntamente y establecer acuerdos previos que permitan cumplir en la práctica diaria con las obligaciones ambientales aplicables a cada etapa, identificar en términos verificables que se están cumpliendo con las medidas propuestas y que los impactos que fueron identificados estén siendo atendidos y en caso de presentarse impactos no previstos aplicar medidas complementarias para reducirlo y mantenerlo en niveles no significativos. A continuación, se presentan de manera general las acciones propuestas, a fin de prevenir, mitigar, restaurar o compensar, según sea el caso, los impactos ambientales esperados en cada una de sus etapas de implementación.

Medidas que será implementadas para evitar afectaciones en el Medio Terrestre.

Línea de estrategia: Impactos en AIRE, SUELO Y FAUNA			
Etapa del proyecto: Conformación de estructuras, construcción, operación y mantenimiento			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación y/o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
<p><b>Impactos A1:</b> Alteración de la calidad del aire derivado al uso de vehículos y maquinaria (bobcat) por la emisión de gases.</p>	<p>Como se ha señalado anteriormente, la zona en la que se pretende realizar el proyecto se ubica en la zona marina no obstante en las inmediaciones se localizan varios hoteles en funcionamiento en donde circulan vehículos continuamente dentro y fuera de los hoteles ya que existen vías de comunicación cercanas y zonas urbanas como playa del Carmen.</p> <p>Ante ello, se implementarán las siguientes medidas para prevenir afectaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La maquinaria y vehículos utilizados serán revisadas previo a su uso para corroborar que se encuentra en condiciones óptimas y se verificará que estén sujetos a mantenimiento continuo. Esto será confirmado a través de la empresa que sea contratada, la cual deberá mostrar comprobantes de ello.</li> <li>• El uso de estos se restringirá únicamente de 8 a 18 hrs. de lunes a sábado.</li> </ul>	<p>Construcción de arrecifes artificiales, operación y mantenimiento</p>	<p>El contratista de los vehículos y maquinaria deberá ser el encargado de mantenerlos en buenas condiciones presentando comprobantes de afinación y mantenimiento de ésta al supervisor ambiental.</p> <p>El grado de cumplimiento será de 100%.</p> <p><b>Indicador de eficiencia y eficacia:</b> Comprobantes de mantenimiento.</p>
<p><b>Impactos A2:</b> Alteración del confort sonoro debido a la generación de ruido por el uso de maquinaria y vehículos automotores</p>	<p>Como se ha señalado en diversas partes de este documento, en la zona existen vías de comunicación cercana y circulación de vehículos, por lo que el efecto por los escasos vehículos usados y el bobcat será mínimo. No obstante, se aplicarán las siguientes medidas:</p>	<p>Construcción de arrecifes artificiales, operación y mantenimiento</p>	<p>Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar y supervisar que las medidas sean cumplidas.</p> <p>El grado de cumplimiento será de 100%.</p>

**Línea de estrategia: Impactos en AIRE, SUELO Y FAUNA**

**Etapas del proyecto: Conformación de estructuras, construcción, operación y mantenimiento**

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El uso de estos se restringirá únicamente de 8 a 18 hrs. de lunes a sábado.</li> <li>• Se cumplirá con la NOM-080-SEMARNAT-1994, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación y su método de medición Esto estará cargo de la empresa contratista por lo cual se le solicitará que sus vehículos se encuentren en buenas condiciones, lo cual deberá ser comprobado.</li> <li>• En el caso de la embarcación esta no será motorizada por lo que no se generará más ruido que el de los tripulantes.</li> </ul>		<p><b>Indicador de eficacia.</b> Cumplimiento de la NOM-080-SEMARNAT-1994.</p> <p><b>Indicador de eficiencia:</b> Ausencia de incremento en el nivel de dB emitidos en la zona.</p>
<p><b>Impacto F1.</b> Mortandad o daño por atropellamiento durante el transporte de las estructuras</p>	<p>Las vialidades y el predio desarrollado por donde entrará el vehículo que transportará las piezas hacia la costa sería posible encontrar algún ejemplar faunístico; por lo que se cuidarán los límites de velocidad y restricciones a fin de prevenir algún posible daño a la fauna. Durante todo este proceso. Para ello se contará con supervisión y vigilancia para verificar su cumplimiento.</p>	<p>Traslado de estructuras implementación de arrecifes artificiales, operación y mantenimiento</p>	<p>Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar y supervisar que las medidas sean cumplidas. El grado de cumplimiento será de 100%.</p> <p><b>Indicador de eficacia.</b> Ausencia de fauna dañada.</p> <p><b>Indicador de eficiencia:</b> Ausencia de fauna dañada durante todas las etapas de ejecución del proyecto.</p>

Medidas que serán implementadas para evitar afectaciones en el medio marino.

Factor ambiental: AGUA Y FONDO MARINO.

**Línea de estrategia: Impactos en AGUA Y FONDO MARINO**

Etapa del proyecto: Construcción de arrecifes artificiales ,operación y mantenimiento			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación y/o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
<p><b>Impacto AMc1, AMg1, FMc1.</b> Alteración de las características físico-químicas del agua debido a la resuspensión de sedimento.</p>	<p>La afectación al agua y al sedimento por la resuspensión de este último es posible dependiendo las condiciones del mar, sin embargo, para prevenir que este sedimento se disperse más allá de la zona de trabajo, se colocará una geomalla textil alrededor de arrecifes artificiales de máximo 0.5 mm de luz, para prevenir que alguna de las olas pase la barrera y arrastre la pluma de sedimentos. Ésta, será fijada al fondo mediante alcayatas y/o muertos y contará con boyas para que sea visible y funja además como señalización para los turistas o visitantes. Además de lo anterior, se observará laturbidez del agua marina antes, durante y después de las acciones contempladas para verificar que las características del agua se mantengan estables respecto a la turbidez.</p>	<p>Etapa de construcción</p>	<p>Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar y supervisar que la malla sea instalada de manera correcta, lo cual será registrado en una bitácora y se tendrá registro fotográfico.</p> <p><b>Indicador de eficacia:</b> Indicador de turbidez en el agua fuera de la zona cubierta por la malla igual a las condiciones iniciales.</p> <p><b>Indicador de eficiencia:</b> Ausencia de sedimento suspendido por las acciones fuera de la malla geotextil.</p> <p>Ausencia de acciones emergentes.</p>
<p><b>Impacto AMc2, FMc2.</b> Alteración de las características físico-químicas del agua debido a la posible contaminación</p>	<p>Los residuos generados en este proyecto provendrán del personal que sea contratado para la colocación de las estructuras y de la embarcación usada para el traslado, por ello se implementarán las siguientes medidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A bordo de la embarcación se evitará cualquier artículo que pueda generar residuos; sin embargo, se tendrán contenedores con tapa hermética por</li> </ul>	<p>Etapa de construcción de las estructuras y en la etapa de operación</p>	<p>Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar y supervisar que las medidas sean cumplidas, lo cual será registrado en una bitácora.</p> <p>El grado de cumplimiento será de 100%.</p>



Línea de estrategia: Impactos en AGUA Y FONDO MARINO			
Etapa del proyecto: Construcción de arrecifes artificiales ,operación y mantenimiento			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación y/o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<p>cualquier imprevisto</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se verificará que los trabajadores no arrojen ningún tipo de sustancia o residuo directamente al suelo o al mar.</li> <li>• Se prohibirá el vertimiento cualquier producto u objeto al mar.</li> <li>• Se prohibirá el uso del fuego y con ello la quema de desechos sólidos y vegetación.</li> <li>• Los trabajadores podrán utilizar las instalaciones del Hotel vecino para el depósito de los residuos generados, así como los sanitarios y los servicios del comedor para empleados para evitar alimentos en el área de trabajo.</li> <li>• Se implementarán actividades de limpieza diaria de la zona para aquellos residuos que recalán por el mar y que tiran los bañistas.</li> <li>• La embarcación será revisada en todo momento.</li> <li>• Los residuos que se lleguen a generar por el empleo de equipos para la colocación de las estructuras, serán responsabilidad de la empresa que prestará el servicio de colocación de las estructuras.</li> <li>• Las piezas que formarán los arrecifes artificiales se trasladarán al sitio sin ningún tipo de residuo para evitar la contaminación del agua por cualquier residuo y se verificará que las piezas que conforman las estructuras se encuentren limpias y libres de cualquier residuo antes de ingresar a la zona marina.</li> </ul>		<p><b>Indicador de eficacia:</b> Ausencia de zonas contaminadas y residuos en el agua y fondo marino.</p> <p><b>Indicador de eficiencia:</b> Residuos colocados en los contenedores específicos.  Ausencia de residuos en el agua.  Mantenimiento de las embarcaciones, por parte de la empresa siempre fuera del agua.</p>

Línea de estrategia: Impactos en AGUA Y FONDO MARINO			
Etapa del proyecto: Construcción de arrecifes artificiales ,operación y mantenimiento			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación y/o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	<ul style="list-style-type: none"> <li>El personal que se contrate, operadores y buzos contará con experiencia en este tipo de labores para evitar accidentes y alguna afectación al personal y al medio.</li> <li>Si bien la balda para el arrastre de las piezas no tendrá motor, dentro del agua tampoco se realizará ningún tipo de mantenimiento a esta.</li> </ul>		

Medidas que serán implementadas para evitar afectaciones en el medio marino.

Factor ambiental: BIOTA MARINA.

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA.			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, operación y mantenimiento			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación y/o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
<b>Impacto BMc1.</b> Pérdida de hábitat <b>Impactos BMc2,</b> <b>BMg1.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres debido a la instalación de las estructuras disminuyendo su cobertura por daño directo.	Con el fin de evitar un daño mayor a los individuos de las especies presentes, previo a la instalación de los arrecifes artificiales se llevará a cabo el rescate de organismos a través de la implementación de un Rescate y Reubicación de Fauna Marina.	Preparación del sitio, construcción	Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar y supervisar que la medida sea llevada a cabo.  El grado de cumplimiento será de 100%.  <b>Indicador de eficacia y eficacia:</b>  Número de individuos rescatados y reubicados.

<b>Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA.</b>			
<b>Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, operación y mantenimiento</b>			
<b>Impacto al que va dirigida la acción.</b>	<b>Descripción de la medida de prevención, mitigación y/o compensación</b>	<b>Tiempo en el que se instrumentará o duración</b>	<b>Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia</b>
<p><b>Impactos BMc3, BMg2.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres y de las enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 por resuspensión de sedimento.</p>	<p>La afectación a la biota por la resuspensión del sedimento será inevitable, sin embargo, para prevenir que este sedimento se disperse más allá de la zona de afectación, se colocará una geomalla textil de máximo 0.5 mm de luz, que se prolongará hasta la superficie a 50 cm sobre el nivel del mar para prevenir que alguna de las olas pase la barrera y arrastre la pluma de sedimentos. Esta, será fijada al fondo mediante alcayatas y muertos. Esta malla contará con boyas para que sea visible y funja además como señalización para los turistas o visitantes. Además de lo anterior, se observará la turbidez del agua marina antes, durante y después de las acciones contempladas para verificar que las características del agua se mantengan estables respecto a la turbidez. La malla será retirada una vez que el sedimento se haya depositado en el fondo nuevamente.</p>	<p>Etapa de construcción</p>	<p>Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar y supervisar que la malla sea instalada de manera correcta, y se tendrá registro fotográfico.</p> <p><b>Indicador de eficacia:</b> Ausencia de sedimento en el agua fuera de la zona cubierta por la malla.</p> <p>Turbidez similar a las condiciones iniciales</p> <p><b>Indicador de eficiencia:</b> Ausencia de sedimentos suspendidos fuera de la malla geotextil.</p>
<p><b>Impactos BMc4.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres debido a la posible contaminación del agua por el mal manejo de residuos diversos.</p>	<p>Los residuos generados en este proyecto provendrán del personal que sea contratado para la colocación de las estructuras y de la operación de la embarcación usadas para el transporte, por ello para evitar cualquier alteración a la flora y fauna del sitio por contaminación se implementarán las siguientes medidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A bordo de la embarcación se evitarán productos que generen desechos; no obstante se tendrá contenedores con tapa hermética por cualquier imprevisto.</li> </ul>	<p>Etapa de instalación de los arrecifes artificiales y en la operación durante el monitoreo de los arrecifes artificiales.</p>	<p>Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar y supervisar que las medidas sean cumplidas. El grado de cumplimiento será de 100%.</p> <p><b>Indicador de eficiencia:</b> Ausencia de residuos en el fondo marino del área donde se ubiquen las estructuras.</p>

<b>Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA.</b>			
<b>Etapas del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, operación y mantenimiento</b>			
<b>Impacto al que va dirigida la acción.</b>	<b>Descripción de la medida de prevención, mitigación y/o compensación</b>	<b>Tiempo en el que se instrumentará o duración</b>	<b>Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se verificará que los trabajadores no arrojen ningún tipo de sustancia o residuo directamente al suelo o al mar.</li> <li>• Se prohibirá el vertimiento de cualquier sustancia o producto al mar.</li> <li>• Se prohibirá en todo momento el uso del fuego</li> <li>• Los trabajadores podrán utilizar las instalaciones del Hotel vecino para el depósito de los residuos generados, así como los sanitarios, y los servicios del comedor para empleados evitando así el consumo de alimentos y por tanto la generación de residuos en el área de trabajo.</li> <li>• Se implementarán actividades de limpieza del fondo marino que hayan sido arrastrados desde otros sitios por las corrientes.</li> <li>• Se verificará que la embarcación, esté en perfectas condiciones a fin de evitar cualquier imprevisto; toda acción de mantenimiento se realizará en tierra y en un sitio con las condiciones adecuadas.</li> <li>• Las piezas que formarán los arrecifes artificiales se trasladarán al sitio sin ningún tipo de residuo, para evitar la contaminación del agua por cualquier residuo y se verificará que se encuentren limpias y libres de cualquier residuo antes de ingresar a la zona marina.</li> <li>• El personal que se contrate, operadores y buzos contará con experiencia en este tipo de labores para evitar accidentes y alguna afectación al personal y al medio.</li> </ul>		<p><b>Indicador de eficacia:</b></p> <p>Residuos colocados en los contenedores específicos.</p> <p>Ausencia de residuos en el agua.</p>

<b>Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA.</b>			
<b>Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, operación y mantenimiento</b>			
<b>Impacto al que va dirigida la acción.</b>	<b>Descripción de la medida de prevención, mitigación y/o compensación</b>	<b>Tiempo en el que se instrumentará o duración</b>	<b>Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia</b>
<p><b>Impactos BMc6, BMo8.</b> Afectación al libre acceso de la Tortuga marina hacia la playa para anidar y su regreso hacia mar abierto debido a la acciones contempladas para instalar las estructuras y por la operación de la estructuras.</p>	<p>Se contará con una separación entre estructuras permitiendo el paso de los organismos; además de que estarán bajo el agua permitiendo el paso por encima.</p> <p>En adición lo anterior, se ha observado que las tortugas muestran preferencia por la playa que se ubica cercana al Hotel Royal Haciendas Resort Playa del Carmen, que es una zona libre de edificaciones y actividad turística, por lo que la zona de anidamientos se encuentran en el área que no será obstaculizada directamente por los arrecifes artificiales por lo que el efecto en las hembras para acceder a la playa será menor. No obstante, para verificar que el impacto en las tortugas no será significativo, se realizarán las siguientes medidas:</p> <p>Las actividades se realizarán evitando la época de arribazón de tortugas (mayo a octubre) o en caso de ser necesario, el trabajo sólo será realizado hasta antes del ocaso, para permitir el arribo de las tortugas quitando de la zona cualquier objeto en la zona de playa que pudiera ser un obstáculo para el libre paso de las tortugas.</p>	Operación y mantenimiento	<p>Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar y supervisar que las medidas sean cumplidas. Esto será cumplido al 100% y en caso de que ocurra algún nido en la playa frente al proyecto, se comunicará a la autoridad municipal y con su apoyo se obtendrán los datos necesarios.</p> <p><b>Indicador de eficiencia:</b> Número de crías eclosionadas/ nidos por temporada</p> <p><b>Indicador de eficacia:</b> Arribo de las especies de tortugas a la zona.</p>
<p><b>Impacto BMo9.</b> Afectación al libre paso de las crías de tortuga marina debido a la presencia de las estructuras impidiendo su llegada a mar abierto e incrementando su probabilidad de mortandad.</p>	<p>Se contactará con el personal de ecología municipal quien es el encargado de monitoreo y manejo de estos organismos para brindar una capacitación adecuada a todo el personal.</p> <p>Es importante reiterar que no se prevé una afectación a libre paso de las crías toda vez que las piezas que</p>	Operación y mantenimiento	<p>Se ejecutarán todas las acciones que la autoridad determine a fin de evitar cualquier daño. Además de ello se vigilará durante la primer temporada de eclosión que no existan crías atoradas en las estructuras.</p> <p><b>Indicador de eficacia:</b></p>

Línea de estrategia: Impactos en BIOTA MARINA.			
Etapa del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, operación y mantenimiento			
Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación y/o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
	conformarán el arrecife artificial estarán por debajo de la superficie, permitiéndoles un espacio razonable de la columna de agua para su libre tránsito.		Ausencia de crías varadas en las estructuras.
<b>Impacto BMo10</b> Afectación a la movilidad de la especie <i>Lobatus gigas</i> y <i>L. costatus</i> que habita la zona debido a la presencia de las estructuras impidiendo el libre paso en el área.	Para este impacto no existe medida de mitigación ya que las estructuras que serán instaladas, si bien podrían representar una barrera, el efecto sólo será parcial ya que contarán con una separación entre cada una de ellas permitiendo el paso de los organismos. Asimismo, el área que será ocupada representa un escaso porcentaje del área total de SA lo que implica un área pequeña de afectación. Máxime si consideramos que estos organismos pueden escalar las piezas.		
<b>Impactos BMC5, BMo7.</b> Mortandad o daño de las especies silvestres debido a la presencia de personal y visitantes.	<p>Con el fin de evitar cualquier afectación a la flora y fauna del sitio se llevarán a cabo las siguientes acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se prohibirá la captura, extracción o comercialización de especies de flora y fauna silvestre tanto al personal como a los visitantes.</li> <li>• Se prohibirá alimentar a la fauna silvestre.</li> <li>• Se colocará letreros señalando que está prohibido pararse sobre las estructuras, tocar o coleccionar cualquier individuo, alimentar a los peces.</li> <li>• Aunado a lo anterior se colocarán señales luminosas (luminarias solares) en los arrecifes artificiales de acuerdo con las especificaciones de la SCT con el fin de que sean ubicadas por los turistas y las embarcaciones que circulen por el área.</li> </ul>	Construcción de arrecifes, Operación y mantenimiento	<p>Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar y supervisar que las medidas sean llevada a cabo.</p> <p><b>Indicador de eficacia y eficiencia y eficacia:</b></p> <p>Ausencia de incidentes con el personal o los visitantes</p>

Medidas que serán implementadas para evitar afectaciones en el medio marino.  
Factor ambiental: DINÁMICA COSTERA.

<b>Línea de estrategia: Impactos en la DINÁMICA COSTERA</b>			
<b>Etapas del proyecto: Operación de los arrecifes artificiales .</b>			
<b>Impacto al que va dirigida la acción.</b>	<b>Descripción de la medida de prevención, mitigación y/o compensación</b>	<b>Tiempo en el que se instrumentará o duración</b>	<b>Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia</b>
<b>Impacto DCo1, DCg1.</b> Modificación del transporte litoral	Se verificará que estas estructuras estén cumpliendo con la función por la que fueron instalados, para lo cual se implementará un Monitoreo de Perfil Costero.	Operación y mantenimiento	Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar que el Monitoreo de perfil Costero y supervisión de las estructuras sea llevado a cabo
<b>Impacto DCo2, DCg2.</b> Alteración del perfil de playa	Es de suma relevancia señalar que la instalación de los arrecifes artificiales será benéfica para la conservación de la playa pues ayudará a evitar la pérdida de sedimento y con ello incrementará el ancho de la playa en el sitio, ayudando con ello a la recuperación del área que ha sido perdida por erosión.		Esta medida será cumplida al 100%  <b>Indicador de eficacia y eficiencia.</b> Recuperación de la playa. Ausencia de afectaciones en predios dentro del SA.

Medidas que serán implementadas para evitar afectaciones en el medio marino.

Factor ambiental: PAISAJE

<b>Línea de estrategia: Impactos en PAISAJE</b>			
<b>Etapas del proyecto: Construcción de los arrecifes artificiales, operación y mantenimiento de los arrecifes artificiales.</b>			
<b>Impacto al que va dirigida la acción.</b>	<b>Descripción de la medida de prevención, mitigación y/o compensación</b>	<b>Tiempo en el que se instrumentará o duración</b>	<b>Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia</b>
<b>Po1.</b> Alteración de la incidencia visual en el paisaje de la zona debido a la presencia de estructuras artificiales.	No existe una medida para el presente impacto (residual) pues será permanente y local. Es por esto que aún y cuando la instalación de las estructuras ocasionará un impacto visual permanente, éste será únicamente en periodos de extrema bajamar que es cuando podrán ser apenas visibles, pues en pleamar sólo serán visibles los señalamientos que serán colocados a los extremos. Cabe señalar que esta zona como se ha mostrado a lo largo de los capítulos ya ha sido impactada por la construcción de hoteles en donde se realizan actividades acuáticas.		

Medidas que serán implementadas para atender los impactos acumulativos, sinérgicos o residuales.

<b>Impactos acumulativos, sinérgicos y residuales</b>
---

Impacto al que va dirigida la acción.	Descripción de la medida de prevención, mitigación y/o compensación	Tiempo en el que se instrumentará o duración	Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia
Modificación de la dinámica costera durante la operación de las estructuras de apoyo. (Impacto Residual)	<p>El efecto por la instalación de los arrecifes artificiales será permanente y sólo se restringirá al área de instalación.</p> <p>Con el fin de observar su buen funcionamiento se implementará un Monitoreo de Perfil Costero.</p>	Durante toda la etapa de operación de las estructuras.	<p>Se contará con un supervisor ambiental quien será el encargado de verificar que el Monitoreo de perfil Costero sea llevado a cabo y se generen reportes.</p> <p>Esta medida será cumplida al 100%</p> <p><b>Indicador de eficacia y eficiencia.</b> Recuperación de la playa. Ausencia de afectaciones en predios dentro del SA.</p>
Alteración de la movilidad de las especies que habitan la zona (Impacto Residual)	<p>Con la instalación de los nuevos elementos que serán colocados en la zona, se ocuparán áreas libres pudiendo ser barreras artificiales para algunas especies. Sin embargo, el área que será ocupada representan sólo una pequeña porción del SA, además de que estas estructuras no serán continuas tendrán un espacio entre ellas que permitirán el paso de los individuos, por lo que para este impacto no se contempla la implementación de alguna medida.</p> <p>Respecto a <i>L. gigas</i> y <i>L. costatus</i>, el efecto será menor ya que son organismos que pueden desplazarse grandes distancias pudiendo pasar por estos espacios. Aunado a que no se afectarán a los pastizales que se encuentran en el sitio y que son zonas de posible ubicación de individuos de estas especies. Por otro lado, como se señaló en el capítulo V de este documento, dado que estos gasterópodos presentan una fase larvaria y que de ella depende en gran medida su dispersión y establecimiento de juveniles, con la ejecución de este proyecto no se afectarán los patrones de circulación de los que dependen para su dispersión ni las áreas de alta densidad larvaria.</p>		
Alteración del libre acceso de tortugas marinas al área de anidación y regreso al mar. (Impacto residual, acumulativo y sinérgico)	<p>Para verificar que el impacto en las tortugas marinas no será significativo, la colocación de los arrecifes artificiales se realizarán evitando la época de arribazón de tortugas (mayo a octubre) o en caso de ser necesario, el trabajo sólo será realizado hasta antes del ocaso, para permitir el arribo de las tortugas quitando de la zona cualquier objeto (residuo, material o herramienta) que pudiera ser un obstáculo para el libre paso de las tortugas. .</p>	Durante toda la etapa de operación de las estructuras.	<p>Se realizará la revisión visual durante la época de anidación y se hará estricto el horario laboral.</p> <p>Esto será registrado en una bitácora ambiental. Esto será cumplido al 100%.</p> <p><b>Indicador de eficiencia y eficacia:</b></p>
Alteración del libre de las crías de tortuga marina para nadar a mar abierto (Impacto residual, acumulativo y		Durante toda la etapa de operación de las estructuras.	Ausencia de crías en la zona de los arrecifes artificiales.



<b>Impactos acumulativos, sinérgicos y residuales</b>			
<b>Impacto al que va dirigida la acción.</b>	<b>Descripción de la medida de prevención, mitigación y/o compensación</b>	<b>Tiempo en el que se instrumentará o duración</b>	<b>Supervisión y grado de cumplimiento, eficiencia y eficacia</b>
sinérgico)			
Modificación del hábitat por la instalación de estructuras artificiales en la zona en el área (Impacto acumulativo).	Cabe mencionar que, si bien este impacto será directo, e inevitable, el área que será ocupada por las estructuras representa una fracción del SA. Además, cabe mencionar que estas estructuras serán construidas de tal forma que podrán fungir como zonas de reclutamiento de especies al brindarles protección, sustrato para colonizar, así como nuevos hábitats. Por lo que no existe una medida a implementar.		
Modificación del paisaje (Impacto acumulativo)	La modificación del paisaje será un impacto permanente, sin embargo, el área de afectación por la instalación de los arrecifes artificiales corresponde a una pequeña porción del área total del SA. Adicionalmente, la zona de afectación se ubica en un área previamente impactada por actividades turísticas y construcciones en el área, por lo que el impacto no incrementará de manera significativa la incidencia visual del paisaje. Es importante mencionar que la colocación de estas estructuras servirá para ayudar a minimizar la erosión que sufre actualmente la playa, por lo que, si bien se afectará el paisaje al poner elementos artificiales en el sitio, éstos ayudarán a conservar la playa y disminuir el efecto que actualmente se presenta en el paisaje por el retroceso de la línea de costa. No se omite manifestar que estas piezas no serán visibles en razón de que estarán sumergidas.		

A continuación, se describirán los objetivos que se persiguen con cada uno de las acciones propuestas.

### **Rescate y Reubicación de Fauna Marina (RRFM)**

El área de estudio para el presente trabajo comprende la parte marina del Sistema Ambiental con una celda litoral de 134.14 ha. Este polígono abarca una distancia lineal de 2 km de frente de playa, y en la parte marina profunda está delimitado por una distancia aproximada de la línea de costa de aproximadamente 700 m, a una profundidad promedio de 20 metros. Aquí se reconocieron siete tipos de ambientes, de acuerdo a sus características como tipo de sustrato, profundidad, topografía del lugar, así como de la biota marina dominante como se muestra en la siguiente tabla.

<b>AMBIENTE</b>	<b>Abreviación</b>	<b>Ha</b>	<b>%</b>
Laja rugosa con algas	L-rug/a	13.57	10.12
Laja con sedimento y algas	L-sed/a	4.65	3.47
Laja lisa con algas	L-lis/a	48.96	36.50
Laja con gorgonáceos	L-gor	12.40	9.25
Pastizal	Past	1.42	1.06
Arenal somero	Ar-som	21.02	15.67
Arenal profundo	Ar-pro	32.12	23.94
TOTAL		134.14	100.00

### **Arrecifes artificiales (estructuras de protección)**

La mayor parte de la ruta trazada para instalar las estructuras de protección costera corresponde a un ambiente de arenal somero en donde la flora y fauna es muy escasa y por lo que no se anticipan afectaciones a estas; sin embargo se propone la implementación de estas acciones bajo los siguientes objetivos.

#### **Objetivo General**

Establecer los criterios, metodologías y procedimientos para el ahuyentamiento de fauna móvil y en su caso rescate y reubicación de los individuos de las especies de la fauna marina sésil presentes en el área de afectación directa del proyecto.

#### **Objetivos Particulares**

Los objetivos particulares que contempla la implementación de este procedimiento son los siguientes:

- c) Fomentar las estrategias y métodos para realizar las acciones de ahuyentamiento y en su caso rescate y reubicación de los individuos de las especies de fauna marina acordes a cada especie mismas que junto con

los resultados se harán del conocimiento de esta autoridad mediante los informes.

- b) Identificar los sitios cercanos para su reubicación.
- c) Observar el proceso de establecimiento de las especies de manera natural particularmente en los arrecifes artificiales y el área entre la playa y los arrecifes artificiales a través de monitoreos biológicos anuales durante los primeros años de operación del proyecto,
- d) Proponer las medidas de mitigación y/o compensación, adicionales derivadas de los posibles impactos no previstos o de ser el caso de los originados por la aplicación de las acciones del presente procedimiento.

### **Alcances**

Esta acción tiene como propósito final, proteger y conservar a los individuos de las especies de fauna marina que sean más susceptibles y que se localicen en el área de afectación directa del proyecto, con el fin de conservar sus poblaciones y con ello los procesos ecológicos marinos.

Las técnicas de rescate, manejo y reubicación de los organismos marinos, así como los indicadores de seguimiento ayudarán a garantizar que la sobrevivencia de los individuos sea alta y se puedan reintegrar a su nuevo hábitat natural.

El monitoreo anual de la colonización de las especies permitirá observar la forma en la que el proceso natural de establecimiento de las especies ocurrirá con la implementación del proyecto.

La contratación de personal especializado y las técnicas que serán usadas, así como los indicadores de seguimiento ayudarán a garantizar que la sobrevivencia de los individuos sea alta y con ello la recuperación del área.

### ***Monitoreo de Perfil Costero (MPC)***

En el caso particular de las playas de la Riviera Maya se ha provocado que la costa cambie, de manera gradual, sus estados de equilibrio natural; es por ello que los procesos y fenómenos físicos de las playas responden de manera diferente a lo deseado, lo cual implica una serie de modificaciones que pueden llegar a considerarse como adversas tanto en términos ambientales como sociales y económicos (Ruiz-Martínez, G. *et.al.*, 2013).

En este sentido, con la implementación del proyecto, se permitirá la conservación de la playa disminuyendo los procesos erosivos que se presentan en el área. Ante esto, se hace indispensable conocer el estado de la playa antes, y después de la ejecución de las obras a través de la implementación de un **Monitoreo de Perfil**

**Costero** (PMPC) de la zona propuesta, a través del cual podrá conocerse el estado cero del área o línea base y su comportamiento a través del tiempo con la instalación de los arrecifes artificiales.

El perfil de la playa o sección transversal se refiere a una medición exacta de la pendiente y el ancho de la playa que, cuando se repite a lo largo del tiempo, muestra cómo ésta sufre erosión o acreción. Es así que los perfiles, proporcionan una comprensión clara de la dinámica de las playas y es una herramienta para su manejo y proporciona elementos para observar el cambio en el nivel del mar y de las modificaciones a la línea de costa, que pudieran estar asociados al cambio climático o a otros factores. Las mediciones periódicas de los perfiles de playa muestran no solo como una playa responde a eventos antropogénicos sino también ante eventos naturales como tormentas o huracanes con el fin de saber si se recupera, como lo hace y el alcance de esa recuperación.

El monitoreo del frente de playa tiene como principal objetivo detectar cambios no deseados o esperados en la playa por efecto de alguna actuación o intervención en las inmediaciones de la frontera tierra-mar. Sin embargo, este monitoreo tiene la capacidad de aportar información adicional referente a los cambios en la altura y ancho de la playa, la evolución de la línea de costa y su dinámica general.

Por lo antes expuesto, el monitoreo se presenta como una herramienta para identificar cualquier cambio a lo largo del perfil de playa derivado de la instalación de las estructuras de protección y considera la medición de las elevaciones de los perfiles de playa asociadas a su referencia geográfica.

### **Objetivo General**

Detectar los posibles cambios en la playa protegida y en zonas aledañas por la instalación de las estructuras de protección (arrecifes artificiales) con el fin de observar si estas estructuras están cumpliendo con la función para la que fueron instaladas.

### **Objetivos Particulares.**

- Elaborar perfiles de playa en el área frente al proyecto y en zonas aledañas dentro del SA previo a la colocación del proyecto (estado cero) y durante su operación.
- Comparar los perfiles obtenidos en dos temporadas del año durante los primeros 3 años de operación del proyecto.
- Evaluar el comportamiento estacional de la playa (Erosión-Acreción) en los primeros 3 años operativos del proyecto.
- Identificar los posibles cambios producidos en el perfil de playa posterior al paso de huracanes durante el tiempo que dure el monitoreo.

- Generar información útil para el manejo de la playa y verificar la eficiencia del proyecto

### **Alcances**

El monitoreo de la zona de playa, permitirá identificar el comportamiento de la misma, y evaluar la eficacia de los arrecifes artificiales, como medida de mitigación para frenar el proceso erosivo que sufre, y de ser el caso, identificar a tiempo cualquier alteración en la playa que no haya sido contemplada en los modelos anteriormente realizados con la finalidad de establecer acciones correctivas.

### ***Acciones Independientes (AI)***

Las Acciones Independientes (AI) se proponen como la herramienta en la cual estarán contenidas todas aquellas acciones necesarias de prevención, mitigación, manejo y control apropiado de los impactos no contempladas en las acciones o procedimientos anteriores y que están referidas a las reglas de operación del personal, de manejo de residuos y acciones adicionales en áreas terrestres.

De esta manera las AI se integran al conjunto de acciones o procedimientos cuyo objetivo principal es identificar e implementar acciones necesarias para prevenir, mitigar, manejar y realizar un control adecuado de los impactos que pudieran no estar contemplados en los procedimientos o acciones, o de los impactos no previstos que pudieran generarse en el futuro en cada una de las etapas dentro del área del proyecto.

Algunas acciones o medidas que se implementarán en el presente proyecto y no están contempladas dentro de los anteriores procedimientos son las siguientes:

- Se colocará una malla geotextil alrededor de las obras de no más de 0.5 mm de luz, que se prolongará hasta la superficie a 50 cm sobre el nivel del mar para prevenir que alguna de las olas pase la barrera y arrastre la pluma de sedimentos. Ésta, será fijada al fondo mediante alcayatas y muertos. Esta malla contará con boyas para que sea visible y funja además como señalización para los turistas o visitantes. Además de lo anterior, se observará la turbidez del agua marina antes, durante y después de las acciones contempladas para verificar que las características del agua se mantengan estables respecto a la turbidez.
- Se supervisará periódicamente que las piezas que componen a los arrecifes artificiales se mantengan en su sitio especialmente después del paso de un huracán y de ser necesario serán reubicadas a su sitio original.
- A bordo de la embarcación se tendrán contenedores herméticos e impermeables por si se detecta algún tipo de residuo y para su posterior traslado al sitio adecuado.

- Se verificará que los trabajadores no arrojen ningún tipo de sustancia o residuo directamente al suelo o al mar.
- Se prohibirá el vertimiento de cualquier sustancia y productos al agua y el suelo.
- Se prohibirá el uso del fuego y por tanto la quema de cualquier objeto o material.
- Los trabajadores podrán utilizar las instalaciones del Hotel vecino para el depósito de los residuos generados, así como para el uso de los sanitarios, y los servicios del comedor para empleados, evitando con ello la generación de RSU derivados de su alimentación. Se prohibirá la ingesta de alimentos dentro del sitio de trabajo.
- Actualmente existe acciones de limpieza constante de playa por parte de los dueños de todos los predios, dado que recalcan diversos residuos como maderas, plástico, entre otros. Por lo que ésta acción seguirá llevándose a cabo como parte del compromiso ambiental del promovente.
- Se verificará que la embarcación, esté en perfectas condiciones y toda acción de mantenimiento que ésta requiera se realizará fuera del agua y en un sitio dentro adecuado tierra adentro.
- Las piezas que formarán los arrecifes artificiales se trasladarán al sitio previamente lavadas con agua y sin residuos para evitar la contaminación del agua.
- El personal que se contrate, operadores y buzos contará con experiencia en este tipo de labores para evitar accidentes y alguna afectación al personal y al medio.
- Se prohibirá la captura, extracción o comercialización de especies o partes de flora y fauna silvestre tanto al personal como a los visitantes.
- Se verificará que antes de ingresar a la zona la herramienta y el equipo estén limpio.
- Se prohibirá alimentar a la fauna silvestre.
- Se colocarán en la playa letreros señalando que está prohibido pararse sobre las estructuras, tocar o coleccionar cualquier individuo, alimentar a los peces.
- Aunado a lo anterior se colocarán señales luminosas (luminarias solares) en estas estructuras de acuerdo con las especificaciones de la SCT con el fin de

que sean ubicadas por los turistas y las embarcaciones que circulen por el área.

- Se llevarán a cabo acciones de limpieza de la zona litoral en el frente de playa debido a que se observaron varios residuos provenientes del mar.

### VI.3 Conclusiones generales.

Basándose en las características del proyecto y del Sistema Ambiental, el proyecto generará impactos ambientales de naturaleza negativa entre compatibles y moderados.

Si bien los resultados encontrados muestran la existencia de impactos moderados, éstos no causarán desequilibrios ecológicos que puedan poner en peligro la integridad ecológica del ambiente, pues se llevarán a cabo acciones para prevenir, mitigar o compensar los posibles impactos, tanto éstos como los compatibles con el fin de no incidir aún más en el deterioro del SA y por el contrario ayudar en su mejora.

Es así que se considera que con las estrategias antes descritas se minimizan, o previenen la mayoría de los impactos negativos identificados, solo algunos quedarán y esto es inherente al proyecto, tal como la afectación al paisaje.

Es importante considerar que los arrecifes artificiales, también generarán impactos positivos, como la recuperación de ancho de la playa que contribuirá al mejoramiento del hábitat de las tortugas marinas al contar con mejores espacios para su anidación. También generarán nuevos hábitats para la fauna y flora marina, siendo sustrato para el establecimiento de fauna como gorgonáceos o corales escleractinios, además de generar espacios para la protección de peces y pequeños anélidos, crinoideos, entre otros.

### VI.4 Referencias.

- Burt J, A. Bartholomew, A. Bauman, A. Saif y P. Sale. 2009a. Coral recruitment and early benthic community development on several materials used in the construction of artificial reefs and breakwaters. *J Exp Mar Biol Ecol* 373:72–78
- Burt J, A. Bartholomew, P. Usseglio, A. Bauman y P. Sale. 2009b. Are artificial reefs surrogates of natural habitats for corals and fish in Dubai, United Arab Emirates? *Coral Reefs* 28:663–675
- Burt, J., Bartholomew, A., y Feary, D. 2012. Man-made structures as artificial reefs in the Gulf. 10.1007/978-94-007-3008-3\_10.  
[https://www.researchgate.net/publication/236348696\\_Man-made\\_structures\\_as\\_artificial\\_reefs\\_in\\_the\\_Gulf](https://www.researchgate.net/publication/236348696_Man-made_structures_as_artificial_reefs_in_the_Gulf)
- Cheshire, A., E. Adler, J. Barbière, Y. Cohen, S. Evans; S. Jarayabhand, L. Jetric, Jung R., S. Kinsey, E. Kusui, I. Lavine; P. Manyara, L. Oosterbaan; M. Pereira, S. Sheavly, A. Tkalin, S. Varadarajan, B. Wenneker y G. Westphalen. 2009. UNEP/IOC Guidelines on Survey and Monitoring of Marine Litter. UNEP Regional Seas Reports and Studies, No. 186; IOC Technical Series No. 83: xi, 120 p., UNEP, Nairobi, Kenya. ISBN: 978-9280730272.  
[http://www.unep.org/regionalseas/marinelitter/publications/docs/Marine\\_Litter\\_Survey\\_and\\_Monitoring\\_Guidelines.pdf](http://www.unep.org/regionalseas/marinelitter/publications/docs/Marine_Litter_Survey_and_Monitoring_Guidelines.pdf)

- Edwards A.J., Gomez E.D. 2007. Reef Restoration Concepts & Guidelines: making sensible management choices in the face of uncertainty. Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management program: St. Lucia, Australia. 38pp.
- Ertfemeijer P, R. DeGraaff y G. Boot. 2004. Site selection for artificial reefs in Bahrain (Arabian Gulf) based on GIS technology and hydrodynamic modelling. *J Mar Sci Environ* C2:29–38.
- Goodwin, C., y D. Michaelis. 1984. Appearance and Water Quality of Turbidity Plumes Produced by Dredging in Tampa Bay, Florida. US Geological Survey Water-Supply Paper; 2192.
- Gray, J.M. 1997 - Environment, policy and municipal waste management in UK. *Transactions of the Institute of British Geographers* (ISSN: 1475-5661), 22(1):69–90, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA. <http://www.jstor.org/stable/623052>.
- Gross, M. 1978. Effects of waste disposal operations in estuaries and the coastal ocean. *Ann. Rev. Earth. Planet. Sci.* 6: 127-143
- Guido-Aldana, P., A. Ramírez-Camperos, L. Godínez-Orta, S. Cruz-León y A. Juárez-León. 2009. Estudio de la erosión costera en Cancún y la Riviera Maya, México. *Avances en Recursos Hidráulicos*. 20, pp.41-56.
- Healthy Reefs. 2015. Report Card. Mesoamerican Reef. An evaluation of Ecosystem health. (<http://www.healthyreefs.org/cms/wp-content/uploads/2015/05/MAR-EN-small.pdf>).
- Hill A., L. Veale, D. Pennington, S. Whyte, A. Brand y R. Hartnoll. 1996. Changes in Irish Sea Benthos: Possible Effects of 40 years of Dredging Estuarine, Coastal and Shelf Science Volume 48, Issue 6, June 1999, Pages 739-750
- ICES. International Council for the Exploration of the Sea. 1996. Annual Report Proces-Verbal de la Reunion. 84th Statutory Meeting. <http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/ICES%20Annual%20Report/1996AnnualReport.pdf>
- Hitchcock D y S. Bell. 2004. Physical Impacts of Marine Aggregate Dredging on Seabed Resources in Coastal Deposits. *Journal of Coastal Research* 20, (1): 101-114.
- Jaap, C. 2000. Coral reef restoration. *Ecological Engineering* 15: 345–364.
- John D y D. George. 1999. Marine algal and invertebrate assemblages on hard substrata in Abu Dhabi, UAE. Natural History Museum, London.
- Lincoln-Smith M, C. Hair, J. Bell. 1994. Man-made rock breakwaters as fish habitats: comparisons between breakwaters and natural reefs within an embayment in Southeastern Australia. *Bull Mar Sci* 55:1344
- NOAA, 2016. Marine Debris Program Report. Habitat Marine Debris Impacts on Coastal and Benthic Habitats. [https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/publications-files/Marine\\_Debris\\_Impacts\\_on\\_Coastal\\_%26\\_Benthic\\_Habitats.pdf](https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/publications-files/Marine_Debris_Impacts_on_Coastal_%26_Benthic_Habitats.pdf)
- NOM-041-SEMARNAT-2015, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible. DIARIO OFICIAL 10 de junio de 2015.
- Oliveira, A y A. Turra. 2015. Solid waste management in coastal cities: Where are the gaps? Case study of the North Coast of São Paulo, Brazil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*. 15. 10.5894/rgci544.
- Padilla-Souza, A. 2016. Programa interdisciplinario de restauración activa para compensar daños antropogénicos en arrecifes coralinos del caribe mexicano. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de la Pesca. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. JA009. Ciudad de México.
- Pedrozo, D. Respuesta hidrodinámica del sistema laguna Nichupté, Cancún, México. Tesis de maestría. México, D.F. DEPMI-UNAM, 2008.
- Pizarro, V., V. Carrillo y A. García-Rueda. 2014. Revisión y estado del arte de la restauración ecológica de arrecifes coralinos. *Biota*. 15. 132-149.
- Pondella D, J. Stephens y M. Craig. 2002. Fish production of a temperate artificial reef based on the density of embiotocids. *J Mar Sci* 59:S88–S93
- Price A. 1993. The Gulf - human impacts and management initiatives. *Mar Pollut Bull* 27:17–27
- Ruiz-Martínez, G., R. Silva-Casarín y G. Posada-Vanegas. 2013. Comparación morfodinámica de la costa noroeste del estado de Quintana Roo, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, IV (Julio-Agosto).



- Seco Pon, J. y Becherucci, M. 2012 - Spatial and Temporal Variations of Urban Litter in Mar Del Plata, the Major Coastal City of Argentina. *Waste Management*, 32(2):343–348. DOI: 10.1016/j.wasman.2011.10.012
- Sheppard C, M. Al-Husiani, F. Al-Jamali, F. Al-Yamani, R. Baldwin, J. Bishop, F. Benzoni, E. Dutrieux, N. Dulvy, S. Durvasula, D. Jones, R. Loughland, D. Medio, M. Nithyanandan, G. Pilling, I. Polikarpov, A. Price, S. Purkis, B. Riegl, M. Saburova, K. Namin, O. Taylor, S. Wilson y K. Zainal. 2010 *The Gulf: a young sea in decline*. *Mar Pollut Bull* 60:13–38
- Stachowitsch M, R. Kikinger, J. Herler, P. Zolda y E. Geutebruck. 2002. Offshore oil platforms and fouling communities in the southern Arabian Gulf (Abu Dhabi). *Mar Pollut Bull* 44:853–860
- Stephens J y D. Pondella. 2002. Larval productivity of a mature artificial reef: the ichthyoplankton of King Harbor, California, 1974–1997. *J Mar Sci* 59:S51–S58
- Stephens J, P. Morris, D. Pondella, T. Koonce y G. Jordan. 1994. Overview of the dynamics of an urban artificial reef fish assemblage at King Harbor, California, USA, 1974–1991: a recruitment driven system. *Bull Mar Sci* 55:1224–1239.
- UNHABITAT. 2010. *Solid Waste Management in The World's Cities*. 257 p., London, UK. ISBN: 978-18-497-1169-2. <http://www.waste.nl/en/product/solid-wastemanagement-in-the-worlds-cities>.

Sitios web.

[http://marc.org/Environment/Water-Resources/pdfs/brochures/sediment\\_espanol.aspx](http://marc.org/Environment/Water-Resources/pdfs/brochures/sediment_espanol.aspx)

## VII. PRONÓSTICOS AMBIENTALES Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.

Contar con una posible visión a futuro de la situación ambiental en una región determinada, es esencial para identificar anticipadamente las posibles amenazas y oportunidades, así como para la formulación de planes estratégicos. Realizar un pronóstico se refiere así, a establecer las posibles direcciones, alcance, velocidad e intensidad de un cambio ambiental para observar la vía evolutiva de efectos anticipados. Se basa en el análisis de proyección y en consideraciones de juicio alternativo o al desarrollo de eventos futuros generalmente probables. En este sentido, en este capítulo se consideran a los efectos adversos al ambiente, en su generalidad, como aquellos que se reducirán con las medidas de mitigación, y en su caso, evitarán mayores daños a los ecosistemas afectados; de tal forma que para visualizar de manera general los elementos ambientales que serán afectados, tanto en calidad como en cantidad, es necesaria la comparación del estado actual del medio ambiente antes de iniciar las obras y actividades del proyecto y analizar, cuantificar y mostrar estos efectos en tres situaciones: sin la ejecución del proyecto; con la implementación del proyecto y con el desarrollo del proyecto y la implementación de medidas.

De acuerdo con Gómez-Orea (2007) elaborar un pronóstico consiste en *“... proyectar, a partir del conocimiento adquirido en el diagnóstico, la situación actual a una situación futura, teniendo en cuenta las tendencias de evolución de diferentes variables, así como innovaciones “saltos” que opcionalmente se podrían producir”*.

De tal manera que el uso de la información adquirida en este proceso de evaluación de impacto ambiental nos permite hacer un pronóstico mediante la construcción de escenarios, entendiéndose como escenario a *“la descripción de una situación futura y el encadenamiento coherente de sucesos que, partiendo de una situación actual permite avanzar hacia la situación futura o llegar a ella. Se trata de un panorama a mediano o largo plazo basado en suposiciones más o menos inciertas sobre la evolución de los aspectos relevantes del sistema que pueden incluir diversas imágenes a diferentes horizontes temporales (Gómez-Orea, 2007b)*.

Con base en lo anterior, el desarrollo de los escenarios para el proyecto se manifestará considerando tres situaciones:

**Escenario 1.** Este escenario estará referido a realizar una proyección de las condiciones futuras dentro del Sistema Ambiental Regional(SA) sin la influencia de las obras y actividades contempladas en el proyecto. Esto es, manteniendo las condiciones actuales (línea base), considerando únicamente las tendencias naturales de los procesos ecosistémicos, así como las posibles afectaciones ocasionadas por los eventos naturales.

**Escenario 2.** El escenario 2, se referirá a la tendencia que se presentará dentro del SA una vez que las obras y actividades contempladas en el proyecto sean ejecutadas y se encuentren en funcionamiento, sin considerar la implementación de acciones tendientes a la prevención, mitigación o compensación de los impactos ambientales generados por el proyecto en la zona.

**Escenario 3.** Este último escenario considerará las posibles afectaciones que se tendrían sobre los recursos naturales por el desarrollo del proyecto, bajo los supuestos de tomar en cuenta los posibles impactos ambientales que se pueden generar con la implementación del mismo y que sea considerada la implementación de medidas de prevención, mitigación y compensación propuestas en la presente MIA-P para los impactos identificados en el capítulo V. Así como poder discernir, si las medidas preventivas, de mitigación y/o de compensación consideradas en la implementación del proyecto, son eficaces en la disminución, compensación y/o prevención de los impactos ambientales generados.

### **Descripción y análisis del escenario sin proyecto.**

Con el fin de poder establecer el escenario uno referente a la tendencia futura sin la existencia del proyecto en mención, es necesario referirse a la línea base del SA delimitado. Para la delimitación del Sistema Ambiental Regional (SA) se consideraron aquellas zonas en las que el proyecto pudiera tener interacción con el medio ambiente y en el mismo sentido en todas aquellas interacciones en donde los procesos ecosistémicos intervienen de manera directa e indirecta con el proyecto. De esta forma el SA se delimitó con base en la hidrodinámica y rasgos morfológicos estableciéndose de esta forma como una celda litoral, definida ésta como la región comprendida por rasgos geomorfológicos como puntas o salientes y en términos sedimentarios siendo autónoma de celdas contiguas; es decir que posee fuentes y sumideros de sedimento (Silva Villatoro et al., 2014).

Esta celda litoral cuenta con una distancia lineal de 2 km de frente de playa, y en la parte marina profunda está delimitado por una distancia aproximada de la línea de costa de 700 m, a una profundidad promedio de 20 metros, ocupando así una superficie de 134.14 ha.

En particular el área del proyecto se encuentra ubicada en la zona costera del municipio de Solidaridad, localidad Playa del Carmen en el estado de Quintana Roo, zona que forma parte de la Riviera Maya siendo ésta uno de los destinos turísticos más importantes de México. Es relevante mencionar que, si bien el SA del proyecto es marino, en continente existen factores antrópicos que han incidido en los procesos costeros.

En el SA se ubican actualmente varios hoteles en funcionamiento por lo que se trata de una zona en donde se realizan actividades acuáticas comúnmente y se presenta la circulación de embarcaciones, siendo así una región ya impactada por actividades turísticas. En esta zona, la playa y en general a lo largo de la costa de

la Riviera Maya está experimentando un proceso acelerado de erosión tanto por fenómenos naturales como por actividades antrópicas.

La evolución de la playa depende de factores y procesos naturales de origen local y distante como la disponibilidad de sedimento, ocurrencia de tormentas o temporales. Dicha evolución persiste en el tiempo. De acuerdo con los estudios realizados, en la playa de interés se reconoce un proceso de erosión ya que han existido cambios en el ancho de la playa, lo que a su vez ha modificado en gran parte la línea de costa. Los factores detonantes de la erosión son una combinación de factores naturales y de origen antrópico (Alexandrakis y Poulos, 2014), actuando a diferentes escalas.

La playa de interés se encuentra bajo un proceso de erosión continuo que hace que esta retroceda o se pierda totalmente en algunos sectores. Con la información generada, se ha identificado que el transporte de sedimento tiene una componente direccional hacia el sur y aunque también existe transporte hacia el norte debido a los efectos de las suradas, tales eventos no llegan a modificar la línea de costa.

La playa se encuentra bajo un proceso de erosión crónico debido al poco aporte sedimentario que existe en la celda litoral. Cuando se presentan condiciones de oleaje con altura de ola entre 1 y 1.5 m y periodos no mayores a 10 s (Condiciones normales y Nortes), las olas inciden francamente sobre la playa generando un transporte de sedimento transversal en dirección mar (pérdida de sedimento) y cuando la velocidad de las corrientes es suficiente para transportar sedimento de forma longitudinal la dirección es hacia el sur, aun cuando se presentan los eventos de suradas, tal efecto se reconoce por el proceso de refracción del oleaje ocasionado por la batimetría de la costa.

Como se ha mencionado, el área comprendida por el Sistema Ambiental Regional presenta zonas en las cuales la incidencia del oleaje es mayor ocasionando con ello el retroceso de la línea de costa lo cual sin el proyecto seguirá de la misma forma.

La biota registrada en el sitio está compuesta por algas, corales escleractinios, gorgonáceos, peces y otros invertebrados entre los que destacan equinodermos, esponjas y gasterópodos en particular *Lobatus gigas* y *L. costatus* como fue descrito en el capítulo IV de este documento. El SA además es una región en la que se presenta el arribo de tortugas marinas aunque de manera escasa como se ha señalado anteriormente. En el SA se registró la presencia de las especies de gorgonáceos *Plexaura homomallay* *Plexaurella dichotoma* bajo protección especial según la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Una vez descritas las características generales del área del proyecto y su contexto en el Sistema Ambiental Regional, es de considerarse que las condiciones ambientales en la zona presenten algunos factores de cambio, entre los más importantes se encuentran: las acciones antropogénicas directas (oleaje) e

indirectas (desarrollos turísticos), y los fenómenos meteorológicos (huracanes y suradas).

En lo que respecta a los factores antropogénicos, cabe mencionar que la región terrestre frente a la cual se ubica el SA, pertenece a la Zona Urbana (ZU), con uso de suelo TR= Turístico Residencial, de acuerdo al POEL y al PDU de Playa del Carmen, Municipio Solidaridad 2010-2050, en donde el establecimiento de estructura hotelera es evidente y está en crecimiento. Esto, supone que en un futuro el SA marino podría enfrentar una presión mayor por el incremento de los desarrollos turísticos con la consecuente producción de residuos que podrían contaminar la zona, el incremento de visitantes y de actividades acuáticas que podrían contribuir a la contaminación de la zona y con ello a la afectación del agua, fondo marino y biota que habita en el área.

Otro efecto común por la construcción de hoteles será la pérdida de vegetación costera, lo que contribuirá a acrecentar la pérdida de sedimento y con ello de playa. Como se ha visto a lo largo de los años, la Riviera Maya es una región que presenta fenómenos naturales de erosión-acreción, proceso que se ha visto alterado por la construcción de complejos hoteleros acrecentando con ello la pérdida de sedimento e impidiendo la recuperación natural de las playas. Esto en gran medida debido a la pérdida de vegetación y la destrucción de los sistemas de dunas, elementos imprescindibles para la protección de las costas y retención de sedimento. Dado que el SA se encuentra en una zona destinada al turismo y habitación en un futuro, la presión a la cual será sometido el mar será en detrimento de los componentes ambientales en la zona.

El oleaje presente en la zona, éste seguirán incidiendo en los procesos de retroceso de la playa y la modificación del perfil de ésta. En el caso del factor de cambio ocasionado por los fenómenos meteorológicos, como se mencionó, éstos han jugado un papel importante en el retroceso de la línea de costa. En esta región del país, es común la presencia de fenómenos meteorológicos, como huracanes (junio a noviembre), suradas (durante el otoño y la primavera) y nortes (otoño, invierno e inicios de primavera). Existe un corredor de presencia importante de ciclones tropicales entre la península de Yucatán y Cuba, y llega hasta las costas de Louisiana y Texas, en los E. U. A. También existe una acumulación de ciclones tropicales frente a Veracruz, y la isolínea de 20 ciclones tropicales corre paralela a la costa del golfo de México y se interna a la altura de Campeche para salir al sur de Quintana Roo, es decir, la península de Yucatán está expuesta a un promedio de más de 20 ciclones tropicales en 150 años, siendo el estado de Quintana Roo el más susceptible en el Atlántico. En lo que respecta al área de interés, el predio carece de una formación de duna costera, dado que ésta fue prácticamente eliminada por los Huracanes del 2005, principalmente el huracán Wilma. Las suradas y los nortes son fenómenos que suceden de manera constante y natural con vientos fuertes que pueden incidir en la pérdida de sedimento. Ante esto, el SA seguirá siendo afectado por estos factores naturales ocasionando en su paso el retroceso de la línea de costa derivado del transporte de arena por la presencia de vientos fuertes, oleaje y

sobreelevación del mar, lo cual sin duda corresponde a eventos naturales que forman parte de las sucesiones ecosistémicas del medio natural.

Actualmente el paisaje forma parte de la unidad turística del corredor conocido comercialmente como Riviera Maya, donde se están construyendo hoteles y fraccionamientos residenciales y turísticos, lo que ha modificado el paisaje, disminuyendo su naturalidad, pero siempre buscando ofrecer una alta calidad paisajística. Analizando el paisaje como la forma en que este se percibe, considerando la calidad, naturalidad y fragilidad; el paisaje en la playa y zona marina ha tenido cambios significativos tanto por los efectos naturales, como los huracanes, y por las actividades propias de la marea y actividades turísticas, por lo que dentro del SA dadas la tendencia de crecimiento de infraestructura, se prevé en el futuro el paisaje marino seguirá siendo afectado por estos elementos observándose en una pérdida de vegetación costera, lo que dentro del SA ocasionará un incremento en la erosión del sitio y disminución de la línea de costa.

En resumen, las tendencias del SA en el futuro sin que se lleve a cabo el proyecto corresponderían a la afectación del medio, lo cual será observado en el incremento de la erosión del sitio derivando en la acumulación de sedimento en otras áreas, retroceso de la línea de costa y modificación del perfil de playa.

Esto además incidirá en la biota que habita en la región, ya que el escape de sedimento de ciertas zonas significará la acumulación del mismo en otras con el consecuente daño o muerte de los individuos sobre todo a aquellos que pueden ser más susceptibles a esto (corales y pastos marinos) y con ello cambios en la estructura y composición de las comunidades por sedimentación y la alteración de las interacciones de otros organismos al incidir en su hábitat o recursos. Asimismo, si bien en la playa se ha registrado el escaso arribo de tortugas marinas, con la pérdida de sedimento el ancho y la pendiente de la playa serán alterados y con ello la posibilidad de anidamiento para estos quelonios, por lo que la tendencia sería hacia la disminución de nidos en el sitio.

En conclusión, sin la ejecución del proyecto el SA tenderá a presentar una calidad ambiental menor por los agentes de cambio que actualmente inciden en la zona.

### **Descripción y análisis del escenario con proyecto.**

Con base en las características del medio como fue descrito en el apartado anterior (escenario sin proyecto) y en los capítulos II y IV de esta MIA-P se puede visualizar que por tratarse de un proyecto marino que pretende la implementación de arrecifes artificiales paralelos a la costa, los efectos inmediatos serán observados en la dinámica costera.

De acuerdo con los datos de modelación obtenidos los efectos en el cambio en la dinámica litoral se presentarán únicamente en la región en la cual se instalarán los arrecifes artificiales sin afectar a otras zonas dentro del SA o fuera de éste. Los resultados de propagación de oleaje, circulación de corrientes de oleaje y

respuesta morfológica del Sistema Ambiental obtenidos muestran que es posible observar un patrón idéntico de circulación en todas las regiones de detalle analizadas excepto en la ocupada por la zona de proyecto debido a las actuaciones de protección incorporadas, sin afectar la realización del proyecto a las playas colindantes. En consecuencia, los principales cambios morfológicos se producirán únicamente en la región ocupada por el proyecto.

En general, los resultados de los estudios muestran el servicio de protección que ofrecerían a la costa las estructuras propuestas en este proyecto, reflejado por la llegada de olas menos energéticas a la playa para todos los escenarios de oleaje en calma y de tormenta.

En cuanto al cambio de línea de costa éste permite entender la tendencia de movimiento que seguiría el sedimento depositado distribuyéndose a lo largo de la playa por la acción del oleaje, con una posición de línea de costa más avanzada a la existente actualmente.

Además de lo anterior con la instalación de las estructuras de protección se prevé la aparición de efectos puntuales y locales de manera temporal en el SA. Durante la construcción de los arrecifes artificiales se ocasionará la resuspensión del sedimento afectando de manera directa la calidad del fondo marino por la pérdida de sedimento y del agua al incrementar la turbidez en el sitio, modificando así las características físico-químicas del área y con ello también la biota, en especial aquellos que pueden ser más susceptibles a este efecto como los corales y los pastos marinos, así como las especies citadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010. Este sedimento entonces puede ocasionar efectos en la biota modificando las condiciones del hábitat o de manera directa, obstaculizando las funciones vitales de los organismos por el sedimento precipitado, causando así el daño o mortandad de los individuos.

De la misma forma se ocasionarán efectos en la biota del sitio de manera directa (aplastamiento) o indirecta (pérdida de hábitat) en las áreas de colocación de los arrecifes artificiales ocasionando la mortalidad de la biota bentónica reduciendo así su cobertura de manera local y la pérdida de hábitat en un área pequeña del SA. La fauna nectónica o demersal dada su alta capacidad de movilidad, será ahuyentada a nuevas áreas.

La construcción de los arrecifes artificiales podría significar una barrera para algunas especies como las tortugas marinas (hembras y crías) o algunos organismos bentónicos de importancia como caracoles y tortugas marinas, por lo que la presencia de las estructuras puede obstaculizar su libre paso hacia las áreas de anidación y su regreso al mar. Esto mismo podría suceder con las crías en su nado hacia mar abierto pudiendo ocasionar su daño o muerte.

Las poblaciones de estas especies podrían ser afectadas por la instalación de los arrecifes artificiales de manera directa por su colocación y al ser estructuras

lineales podrían significar barreras para el paso de estos animales hacia otras zonas durante su migración hacia aguas someras.

Para llevar a cabo la instalación de las estructuras será necesaria la presencia de personal y el uso de embarcaciones. Estos dos elementos pueden generar impactos ambientales derivados de la producción de residuos provenientes del consumo de alimentos por el personal o por el derrame sustancias o productos alterando las características físico-químicas del agua y del fondo marino si los desechos se precipitan al fondo, impactando en el hábitat y con ello en la biota que habita en la zona. Otro elemento importante que puede ocasionar daños a la biota, es el personal que será contratado ya que puede cazar, dañar o coleccionar ejemplares de flora o fauna del sitio incidiendo así en la biota marina.

Finalmente, colocar elementos artificiales en zonas naturales afecta de manera directa al paisaje, a la percepción del espacio en el que se ubican las estructuras, ya que se trata de una zona ya impactada previamente.

En conclusión y dadas las características de las obras que permitirán la construcción del proyecto se causarían afectaciones ambientales tanto a los factores bióticos como abióticos en diferente grado como fue identificado y analizado en el capítulo V de este documento, como la alteración de las características físico-químicas del agua por incremento de la turbidez o contaminación, afectación del fondo marino, pérdida de hábitat, pérdida de individuos, alteración de la movilidad de la biota y modificación de la hidrodinámica costera.

La mayoría de los efectos negativos que serán ocasionados por este proyecto identificados y valorados en esta MIA-P (capítulo V) son de significancia menor y sólo algunos de moderada importancia para el SA, por lo que la tendencia de éste con la ejecución del proyecto será a presentar afectaciones en los componentes ambientales que no afectarán los procesos ecosistémicos de manera sustancial en el SA pues serán en su mayoría locales y temporales pero que deberán ser atendidos con la implementación de medidas de prevención, mitigación o compensación en pro de la conservación del ambiente.

### **Descripción y análisis del escenario considerando las medidas de mitigación.**

Con base en lo señalado en los dos apartados anteriores y considerando la evaluación en materia de impacto ambiental realizada a través de las metodologías descritas en el capítulo V de este documento, y las medidas de prevención, mitigación y compensación propuestas en el capítulo VI, con la aplicación de las medidas en este proyecto se logrará minimizar aproximadamente en gran medida las afectaciones que el proyecto generará al ambiente.

De manera general se hace mención de las principales medidas tanto de prevención, mitigación como de compensación que el proyecto propone para su realización (capítulo VI) y así minimizar las afectaciones a los ecosistemas.



En lo que respecta al efecto en la dinámica costera, éste será menor, por lo que no se pretende la implementación de alguna acción, pues, considerando las condiciones actuales de la zona y el proceso de erosión que sufre actualmente, este proyecto se propone como una medida *per se* para minimizar el efecto que el oleaje presente en el sitio ocasiona y que ha derivado en el retroceso de la línea de costa. Con la construcción de las estructuras se disipará la fuerza del oleaje y se llevará a cabo el transporte del sedimento a lo largo de la playa propiciando con ello la recuperación del ancho de la misma, además de la protección del sitio y con ello posibles efectos positivos en las tortugas marinas, ya que se ha visto que el ancho de playa es uno de los elementos importantes para el anidamiento exitoso de estos reptiles.

Con la finalidad de disminuir el efecto directo a la biota marina se llevará a cabo el ahuyentamiento y en su caso el rescate y reubicación de organismos marinos previo a la colocación de los arrecifes artificiales. Además, cabe mencionar que los arrecifes artificiales podrán fungir como una zona de reclutamiento de especies y contarán con la porosidad necesaria para el establecimiento de comunidades sobre ellos.

Referente a la tortuga marina (hembras y crías), se trata de una región de bajo arribo de tortugas como fue mencionado en capítulos anteriores de este documento. El efecto en estos quelonios será menor ya que el área que será afectada por la instalación de los arrecifes artificiales representa sólo 0.18 % una pequeña porción del SA aunado a que contarán con un espacio entre ellas en entre la columna de agua con la superficie ya que estarán sumergidas, lo que permitirá el paso de estos organismos. Sin embargo, con la finalidad de observar el efecto en los quelonios, se llevará a cabo un monitoreo de arribos, nidos y crías y de ser necesario los nidos serán reubicados; todo con previo aviso a las autoridades para su apoyo e instrucciones. Las crías de esta forma podrán eclosionar y dirigirse al mar sin obstáculos.

Los arrecifes artificiales podrán incidir en la movilidad de ciertas especies como los gasterópodos, crustáceos, equinodermos, etc. Sin embargo, como ya se señaló previamente, el área que será afectada por la instalación de los arrecifes artificiales representa es mínima y estarán espaciados entre sí y además sumergidos, lo que permitirá el paso de estos organismos. *L. gigas* y *L. costatus* podrán alcanzar las áreas someras para reproducción o alimento ya que son especies que pueden alcanzar grandes distancias y podrán acceder a estas áreas sorteando las estructuras. Aunado a lo anterior, con la instalación de las estructuras, los patrones de circulación y los sitios de alta concentración larvaria no serán afectados pues el efecto de las estructuras en el medio será local.

Se colocará una malla geotextil para evitar la dispersión del sedimento resuspendido por las acciones contempladas lo que evitará extender el daño y con ello la afectación mayor al agua, fondo marino y biota y se llevará a cabo la vigilancia de la turbidez para asegurar que el efecto sea local.

Otras acciones importantes que serán implementadas para prevenir los impactos ambientales son las referentes al manejo de residuos estableciendo acciones específicas para su recolección, confinamiento, además de acciones de limpieza de la zona para evitar así cualquier afectación de los componentes ambientales por desechos. Asimismo, se establecerán reglas y sanciones para el personal para evitar cualquier daño a la biota, se prohibirá el consumo de alimentos toda vez que para ello y para el uso de sanitarios se contará con el apoyo del hotel vecino.

Finalmente, el impacto visual será mínimo ya que el área de afectación representa un mínimo% del SA aunado a que estas estructuras estarán sumergidas y lo único que podrá ser visto serán las señales.

La implementación del Programa de Manejo Ambiental contribuirá de manera significativa a minimizar cada uno de los impactos que el proyecto pueda generar en cada etapa de ejecución contemplada, pues éste estará conformado por tres acciones que fueron señalados en el capítulo VI de este documento y que corresponden a los siguientes:

- Ayuntamiento, Rescate y Reubicación de Fauna Marina (**RRFM**)
- Monitoreo de Perfil Costero (**MPC**)
- Acciones independientes. (**AI**)

Estos contendrán todas las acciones propuestas para prevenir, minimizar o compensar los impactos ambientales del proyecto. Las acciones independientes permitirá regular aquellas acciones que no fueron contempladas y que están referidas a las reglas de operación del personal, de manejo de residuos y acciones adicionales en áreas terrestres. Por este motivo, este proyecto se hace factible llevando a cabo las medidas, propuestas en este documento, para evitar o disminuir el impacto sobre los diferentes componentes ambientales (agua marina, fondo marino, biota marina, dinámica costera y paisaje).

En conclusión, con la ejecución del proyecto y la implementación de medidas, los efectos temporales serán atendidos y aquellos residuales serán de menor escala. Los efectos de los arrecifes artificiales serán locales por lo que la dinámica costera de los sitios adyacentes y en todo el SA continuarán, ya que sólo se disminuirá la fuerza del oleaje de manera local.

Con la implementación de medidas encaminadas a la prevención, mitigación o compensación de los efectos causados por el proyecto, se contribuirá además a la mejora del SA. La instalación de los arrecifes incidirán de manera benéfica en el área disminuyendo la erosión del sitio, coadyuvando así a la recuperación de la playa adyacente. Con una playa más ancha se espera un incremento de la posibilidad de arribo y anidación de tortugas marinas y de la eclosión de un mayor número de crías.

La ejecución de este proyecto no sólo ayudará la recuperación de la playa frente al arrecife artificial, sino también traerá consigo beneficios a los visitantes pues ofrecerá un sitio de mayor calidad para la recreación de éstos.

#### **VII.4 Pronóstico ambiental.**

Considerando los escenarios antes descritos es de hacer notar que los escenarios dos y tres, (con proyecto y con proyecto y medidas) son aquellos en los que la tendencia de deterioro que se está presentando en el SA puede disminuir. De éstos, es evidente que el escenario tres es el más adecuado pues considera las acciones pertinentes que pueden atender en gran medida los impactos ambientales generados por el proyecto.

El escenario futuro que se espera en la zona del proyecto se resume en el éxito del objetivo principal de reducir la energía del oleaje que llega a la playa de interés lo cual desencadenará una serie de procesos que resultarán benéficos tanto para la biota marina como para el uso de la playa a mediano y largo plazo. Esto es:

1. La recuperación del perfil de playa por la disminución de la energía del oleaje, lo que permitirá conservar y distribuir el sedimento a lo largo de la playa y con ello frenar el retroceso de la línea de costa y ayudar a su recuperación, pues debido al crecimiento de infraestructura hotelera y fenómenos meteorológicos la playa no puede recuperarse de manera natural.
2. Incremento del ancho de la playa lo que puede ayudar a mejorar las zonas de anidación de las tortugas marinas y la recreación de los visitantes.
3. Establecimiento de biota marina en los arrecifes artificiales incluyendo esponjas y corales, lo que generará nuevos procesos bióticos en el área de influencia.
4. Mejora ambiental dentro del SA debido a la implementación de acciones tendientes a ello.

#### **VII.5 Evaluación de alternativas**

El proyecto no cuenta con alternativas de desarrollo. Esto, debido a que el área del proyecto en el cual se pretende desarrollar fue elegida con base en las condiciones actuales y los factores que la están afectando.

## **VIII. IDENTIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS Y ELEMENTOS TÉCNICOS QUE SUSTENTAN LOS RESULTADOS DE LA MANIFESTACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.**

A continuación, se describen los instrumentos metodológicos y elementos técnicos que sustentan los resultados de la Manifestación de Impacto Ambiental del proyecto.

### **VIII.1.1 Cartografía**

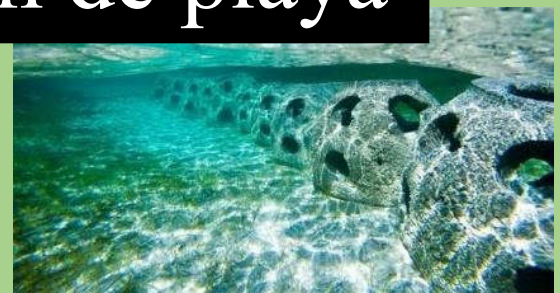
Para la descripción del Sistema Ambiental Regional y sus diferentes elementos, la ubicación del área del proyecto y sus características, así como la identificación de impactos ambientales se hizo uso de información geográfica georreferenciada. En los capítulos de este documento se presentan mapas específicos elaborados para el proyecto los cuales cuentan con título, microlocalización y macrolocalización, leyenda, tipo de proyección usada (UTM), zona UTM (16) Datum utilizado (WGS84), la escala numérica y la fuente cartográfica. Además, se hizo uso de imágenes satelitales y de otras fuentes confiables (e.g. INEGI, CONABIO, Google Earth, etc.).

### **VIII.1.2 Fotografías**

- Para realizar el análisis mostrado a lo largo de los capítulos del presente documento, se llevaron a cabo estudios técnicos especializados cuyos resultados se incluyen en este capítulo. Los estudios requeridos se incluyen como anexo dentro de la **Modelación oceanográfica y sus respectivos anexos**

2022

# Modelación oceanográfica de un rompeolas sumergido para la protección de playa



ATEC ASESORÍA TÉCNICA Y  
ESTUDIOS COSTEROS S.C.P



## DECLARATORIA

El presente documento es resultado de la investigación bibliográfica, trabajo en campo y análisis de datos colectados en la zona de interés señalada por el promovente. La información en él contenido es propiedad del promovente, Puerto Coral S.A. de C.V., y puede utilizarla de acuerdo con sus intereses.

# 1 INTRODUCCIÓN

En el océano interactúan una serie de procesos en donde se intercambian diferentes variables que es necesario considerar para entender cómo se comportan. Dentro de estas variables se encuentran la dirección e intensidad de las corrientes y viento, altura de las olas, cambios en las mareas, entre otras, que generan el desplazamiento de sedimentos. Los cambios en los valores de las variables en la zona costera pueden alterar la dinámica de la costa y causar trastornos que repercuten en la zona de playa.

Considerando que una playa no es un elemento aislado, sino que forma parte de un tramo y una franja costera, entonces cualquier cambio en la dinámica litoral, afecta al resto en mayor o menor grado. Una de las principales afectaciones que se pueden apreciar en la zona de playa es la pérdida de estas, también denominado erosión costera.

La erosión costera se define como la pérdida, desplazamiento o remoción de sedimentos a lo largo de la costa debido a la acción de olas, corrientes y mareas, causando efectos negativos en la infraestructura costera y en la industria turística, lo cual trae consigo una serie de impactos tanto ambientales como sociales y económicos.

Con la finalidad de contrarrestar los efectos negativos de la erosión costera, se han implementado diversas estrategias de protección y defensa de costas. Dependiendo de las necesidades, pueden aplicarse métodos duros que implica la modificación de la costa con construcción de malecones, o métodos menos rigurosos como son los espigones y los rompeolas sumergidos.

Sin embargo, no es sencillo implementar este tipo de estrategias ya que para hacerlo es necesario conocer el comportamiento de las variables que influyen en el transporte sedimentario. Este proceso es complicado debido a que se requieren de muchas observaciones por largos periodos de tiempo para poder conocer el comportamiento de las variables en un determinado espacio.

Actualmente, para agilizar el proceso de obtención de resultados, se aplican procesos computacionales que son capaces de simular, de la mejor manera posible, el comportamiento de las corrientes, mareas, oleaje, salinidad, temperatura entre otras

variables físicas y químicas del mar.

Los modelos computacionales pueden enfocarse a tratar de simular un fenómeno específico, como es la pérdida o ganancia de sedimento en la línea de playa, y así obtener una explicación de los mecanismos fundamentales que la controlan. Estos modelos, a veces, pueden ser igual de complejos que la realidad misma, por lo que es necesario generar grandes cantidades de datos e información que muchas veces no puede obtenerse mediante la observación directa, sobre todo en una escala temporal. Sin embargo, la modelación no deja de ser una representación de la realidad, es decir, que no son exactos, y es necesario comparar los resultados obtenidos de la modelación en contraste con los datos observados para conocer el grado de confiabilidad.

En el presente proyecto se realizará la modelación de la zona marino-costera, para encontrar el escenario más adecuado en la colocación de un rompeolas sumergido que coadyuve a la recuperación y protección de las playas en el sitio de interés.

## 2 ANTEDECENTES

Quintana Roo es uno de los tres estados de la República que conforman la Península de Yucatán, con una superficie de 44,705 km<sup>2</sup> y 1,176 km de litoral, que representa el 10.57% del litoral mexicano (Ruiz-Martínez *et al.*, 2013). La principal actividad económica es la correspondiente a los servicios, destacando el alojamiento temporal y preparación de alimentos y bebidas (22%), comercio (17.1%), servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles (12.4%), que, en conjunto con otras actividades, representan más del 60% del PIB estatal (INCTI, 2015).

Debido a esto, se ha desarrollado infraestructura para satisfacer las necesidades de la gran cantidad de visitantes, más de 12 millones anuales (SEDETUR, 2021), que ha provocado cambios graduales que alteran el equilibrio natural de la costa, modificándola con efectos que pueden ser considerados adversos tanto en términos ambientales como sociales y económicos.

La pérdida de playas o erosión costera es un problema que afecta las costas del mundo y Quintana Roo no es la excepción. La posición geográfica del estado en el Mar Caribe origina



que su costa experimente inundaciones frecuentes por marea de tormenta, erosión de playas, modificación de la línea de costa, entre otros, todos ellos asociados con eventos meteorológicos extraordinarios (huracanes y frentes fríos). Algunas playas de Quintana Roo son protegidas por estructuras naturales (arrecifes de coral) que ayudan a disipar el oleaje, pero otras carecen de ello y se encuentran más expuestas a los efectos de la dinámica costera. Debido a esto, varios complejos hoteleros han realizado grandes inversiones para construir estructuras de protección, principalmente rompeolas de geotextil, o actividades como el relleno de playas, con la finalidad de conservar las playas aledañas a su propiedad.

El uso de estructuras de concreto para la conformación de rompeolas sumergidos o emergidos se ha convertido en una estrategia que ha brindado buenos resultados en diferentes partes del mundo. La empresa Reef Ball ha realizado, con éxito, proyectos en Antigua, Islas Caimán, Bahamas, Turks & Caicos en el extranjero, y en los Estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo (Playa Secreto) (<http://www.reefbeach.com/projects>).

### 3 JUSTIFICACIÓN

Las estructuras de protección costera, como su nombre lo indica, están diseñadas para proteger infraestructura cercana a la costa o la costa misma, así como para estabilizar las playas contra el embate de las inclemencias del mar.

Uno de los elementos más utilizados para la recuperación, estabilización y recuperación de playas son los rompeolas sumergidos permeables, los cuales permiten un cierto grado de transmisión de energía del oleaje (Ruiz *et al.*, 2008) y no significa un impacto visual del paisaje. Un beneficio adicional es que, con el tiempo, las estructuras son colonizadas por diversas especies de organismos marinos, principalmente peces, convirtiéndose con el tiempo en un arrecife artificial.

Previo al desarrollo de cualquier proyecto es necesario determinar cuál es el problema y qué es lo pretende lograr con la implementación del proyecto. Posteriormente, es necesario evaluar las condiciones naturales del sitio por medio de mediciones y colecta de datos para después desarrollar un diseño funcional y modelar la efectividad de la obra para cumplir con los objetivos para los cuales fue diseñado.

El presente documento contiene los resultados de la modelación del posible efecto que tendrá la instalación de un rompeolas sumergido semipermeable construido con estructuras Reef Ball en la zona costera.

## 4 OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Realizar la modelación de los cambios en la dinámica costera a consecuencia de la instalación de un rompeolas sumergido semipermeable en la zona marino-costera en el sitio de interés adyacente al predio propiedad de Puerto Coral S.A. de C.V.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el perfil de playa de la zona adyacente al complejo hotelero.
- Realizar el mapa topo-batimétrico de la zona de interés.
- Evaluar las características de los sedimentos presentes en la zona de playa del complejo hotelero.
- Caracterizar el clima marítimo del área.
- Caracterizar el régimen de mareas para la zona de estudio.
- Caracterizar el oleaje que incide en la zona de playa del complejo hotelero.
- Caracterizar la línea de costa del sitio de estudio y zona de influencia.
- Diseñar un rompeolas sumergido dentro de la zona marina del complejo hotelero.
- Realizar una modelación numérica de las variables ambientales marinas con la presencia del rompeolas sumergido.

## 5 ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto se desarrollará en la zona El proyecto se desarrollará en la zona marino-costera adyacente al predio propiedad de la persona moral Puerto Coral S.A. de C.V., el cual se ubica en el Estado de Quintana Roo, Municipio de Solidaridad.

De acuerdo con los datos obtenidos de la estación Kantunilkín, que es la más cercana al área de estudio, el clima de la región es del tipo cálido subhúmedo con régimen de lluvias en verano. Debido a su ubicación, la zona se encuentra bajo la influencia de fenómenos meteorológicos de gran magnitud como son los huracanes y frentes fríos o “nortes”, durante los meses de julio a septiembre y de noviembre a febrero, respectivamente.

En cuanto a su geomorfología, Lugo y Córdova (1990) establecieron que la morfogénesis continental o de tierra firme corresponde a estructuras de plataforma compuestas por lomeríos con desarrollo cárstico y que la porción marina, que se encuentra ubicada entre el continente y la Isla de Cozumel son de sustrato calcáreo y conforman un talud continental escarpado. Esta parte del territorio del estado de Quintana Roo, está clasificada como de tipo erosivo con plataformas de abrasión y terrazas (Ortiz y Espinosa, 1990).

La zona costera donde se ubicará el proyecto se encuentra bajo la influencia de unas de las corrientes de frontera más intensas y dinámicas del planeta, la Corriente de Yucatán en la porción denominada Canal Interior de Cozumel.

## 6 EVALUACIÓN Y MODELACIÓN DE LAS CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS PRESENTES EN LA ZONA MARINO-COSTERA.

### LEVANTAMIENTO TOPOBATIMÉTRICO

Los levantamientos topográficos consisten en realizar mediciones de la elevación del terreno a lo largo de un perfil perpendicular a la línea de costa. Estas elevaciones pueden ser positivas si el terreno está por encima del Nivel Medio del Mar (NMM) o negativas si se encuentran por debajo del mismo. La obtención de perfiles de playa tiene por objeto calcular la línea de costa actual y, con esto, poder realizar comparativas de líneas de costa anteriores y así poder determinar si existe pérdida o acumulación de sedimentos en la zona de estudio.

La técnica para realizar los levantamientos es la de perfiles playeros, que se trata de líneas perpendiculares a la costa con una separación previamente definida. Esta separación deberá tener una distancia entre cada línea que permita tener una resolución suficiente para evaluar los cambios en un ambiente tan dinámico como son las zonas costeras. Para fines de este estudio la separación entre los transectos que conforman los perfiles playeros es de 50 metros.

Los levantamientos de perfiles de playa, se basa en el principio de medición vía Sistema de Navegación Global por Satélite, GNSS por sus siglas en inglés, método con el que es posible abarcar grandes superficies sin sacrificar la precisión requerida en su modalidad diferencial. Lo que significa que posterior a la colecta de datos es necesario un proceso de reajuste a los datos brutos o post-procesamiento de la información muestreada. La variante diferencial de levantamiento GNSS requiere el apoyo de una base colectora de posición 3D durante todo el tiempo en el que se lleve a cabo la tarea de colección de datos por medio del colector móvil, de este modo el sistema se compone de tres elementos mínimos para el buen funcionamiento del proceso de levantamiento topográfico; Antena Base, Antena Móvil y Satélite (Figura 6-1).

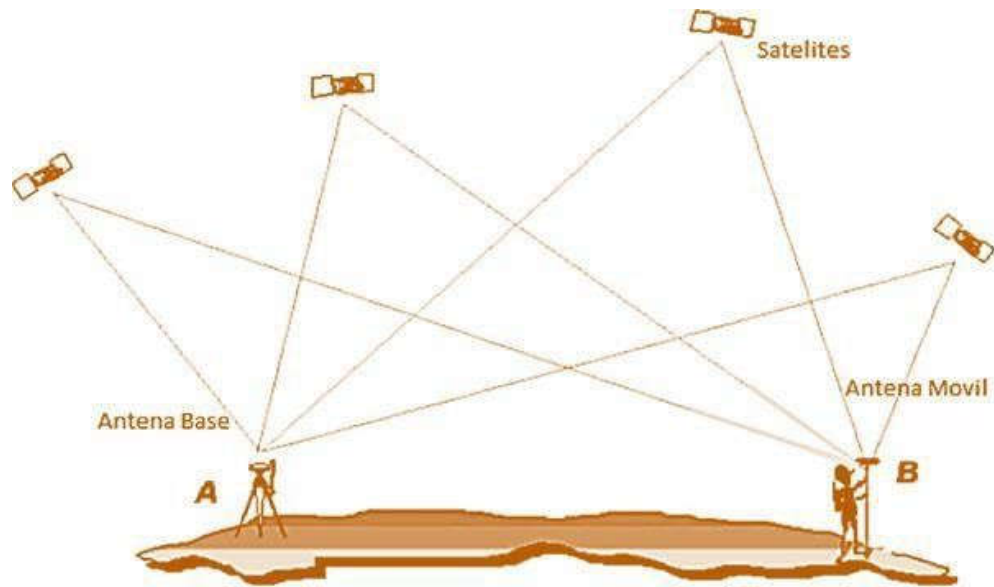


Figura 6-1. Esquema de componentes que conforman el sistema GNSS diferencial

#### ELABORACIÓN DE LOS PERFILES TOPOGRÁFICOS

Previo al trabajo en campo se delimitó el área de estudio y se estableció el punto de inicio de cada uno de los transectos, así como la distancia equidistante que separará uno del otro. Esta información será programada dentro de la estación base en campo.

El levantamiento topográfico fue realizado por dos cuadrillas, una conformada por dos técnicos especializados en la operación de equipos GPS diferencial y RTK, y otra por los “estadaderos” quienes son encargados de hacer los recorridos a lo largo del transecto.

La realización de perfiles de playa inició con el establecimiento de un punto control sobre el cual se instaló la antena base, la cual debe ser colocada en un sitio a cielo abierto, libre de obstrucciones de cualquier tipo, para que la comunicación entre las antenas de la base y el equipo móvil no se vea interrumpida y la calidad de los datos sea óptima. La base fue ubicada en la zona de playa dentro de los límites de la propiedad del complejo hotelero, cumpliendo con las recomendaciones antes mencionadas (Figura 6-2), en las coordenadas UTM 496095.13 E, 2284446.32 N (WGS84). La posición de la base se ligó a la Red Geodésica Nacional activa del INEGI más cercana al sitio de interés. La base utilizada se ubica en las coordenadas X: 227566.222; Y:2322170.766; Z: 21.056. Es necesario configurar en la estación de base tanto con los puntos del recorrido que se realizará como con los parámetros relacionados con la zona de levantamiento.

El levantamiento se realizó desde la cara posterior de la duna en dirección al mar hasta una profundidad de aproximadamente 1.5 metros. El técnico con el bastón o estatal debe transitar siguiendo de manera precisa el transecto trazado, registrando las variaciones que existen en el terreno (Figura 4).

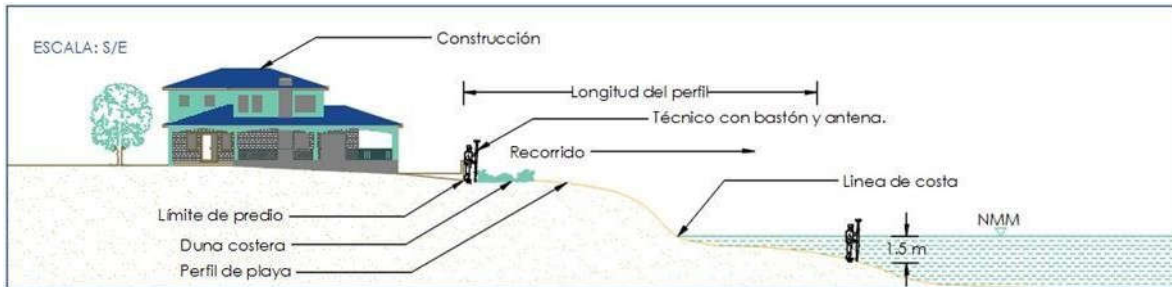


Figura 6-3. Recorrido tipo de levantamiento de perfiles de playa

posicionarse en el inicio del siguiente transecto y recorriendo un nuevo transecto. Esta operación se repitió hasta cubrir la totalidad del sitio con un total de 31 perfiles (Figura 6-4).



Figura 6-4. Aspectos del levantamiento de perfiles de playa.

La información obtenida fue capturada en una base y analizados con ayuda del programa Leica Geo Office v.8.1; los planos se realizaron con el programa AutoCad

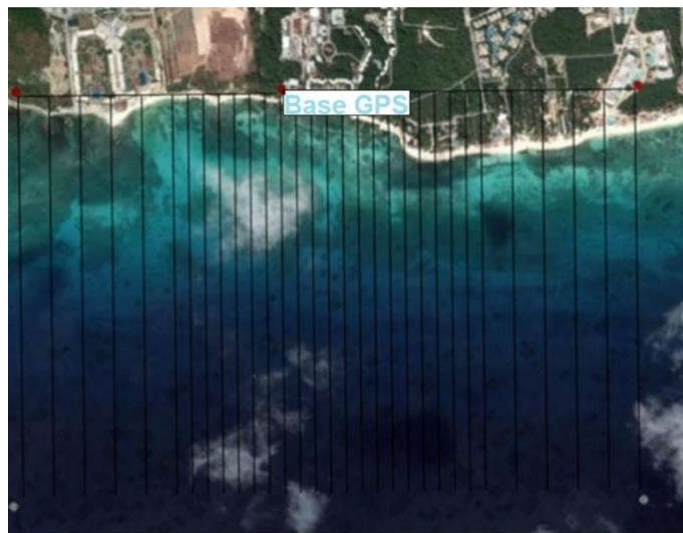
#### COLECTA DE DATOS DE BATIMETRÍA

La batimetría o “topografía hidrográfica”, definida como el estudio o profundidad del océano, es refiere al proceso de toma de datos y representación exacta del fondo marino

para que puedan verse reflejados en un mapa. Dicho de otra manera, el propósito de las batimetrías, como en cualquier levantamiento, es obtener las coordenadas X, Y, Z de los puntos sumergidos. La determinación de la profundidad se denomina sondeo y consiste en medir la distancia vertical entre el nivel del agua y la superficie del fondo.

La importancia del conocimiento de esta variable radica en que la dinámica marina costera se ve ampliamente influenciada por ella. Las olas exhiben un comportamiento de rompiente conforme disminuye la profundidad y sufren cambios en sus propiedades que determina si asienta o “lava” sedimentos.

Con la finalidad de tener una representatividad de toda el área, se colectaron datos de un área superior al objetivo. Se cubrió un total de 200 ha (1000 metros de frente costero por 2000 metros mar adentro). Previo al trabajo en campo, se delimitó el área y se trazaron 31 transectos que serían recorridos. Los transectos centrales (21), que cubren el área de interés, están separados 50 metros uno del otro con la finalidad de capturar la mayor variabilidad existente. Los transectos laterales, 5 en cada extremo, están separados a 100 metros de cada uno (Figura 6-5).



*Figura 6-5. Área del levantamiento batimétrico y transectos planificados*

Para realizar el estudio batimétrico se utilizó una ecosonda mono haz de frecuencia múltiple marca Garmin modelo Echomap7, conectada a un sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés) con navegación cinética satelital en tiempo real (RTK, por sus siglas en inglés).

El transductor de la sonda se instaló en un costado de una embarcación de 30 pies con motor fuera de borda, apenas por debajo de la superficie del agua, en posición perpendicular al fondo marino. El transductor se conecta a la consola de la sonda y ésta a un computador portátil (Figura 6-6).

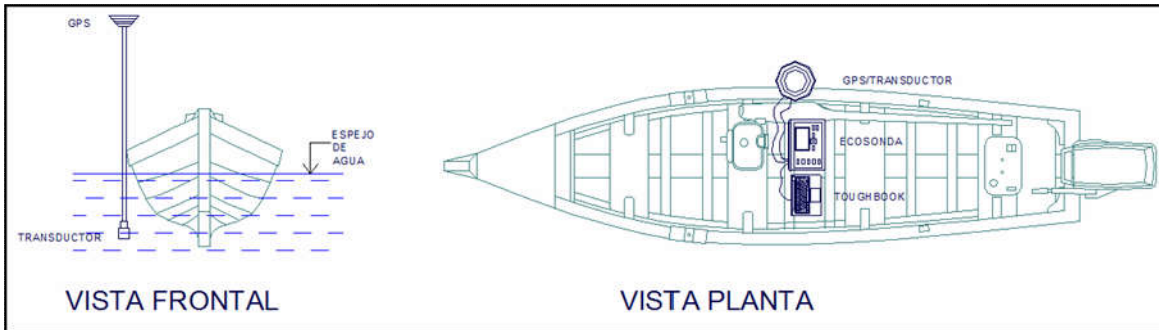


Figura 6-6. Esquema de colocación de equipos

Para garantizar la calidad de los datos, el transductor es fijado con arneses a la borda de la embarcación (Figura 8) y conectado a un computador portátil para verificar que los recorridos sean realizados con la mayor precisión y exactitud.



Figura 6-. Aspectos del levantamiento batimétrico

Una vez instalado el equipo y corroborar su funcionamiento, se realizó el recorrido de todos y cada uno de los transectos establecidos a una velocidad no mayor de 4 nudos.

Los datos obtenidos fueron capturados en una base de Excel y procesados para realizar la corrección de mareas utilizando las tablas de mareas publicadas por el Centro de



## ANÁLISIS DE DATOS DE LOS PERFILES TOPOGRÁFICOS Y BATIMÉTRICOS

### RESULTADOS DE LA TOPOBATIMETRÍA

Los archivos procesados (tripletas X, Y, Z) tanto de topografía como de batimetría son empalmados en un único archivo, con el cual se ingresan a software de dibujo asistido por computadora (AutoCAD y SURFER v.14) para la generación de los entregables finales que consisten en mapas de isobatas, mapa de fijas del levantamiento y demás representaciones gráficas (mapa de relieve de colores y mapa tridimensional); mismos que se incluyen como en el Anexo 10.1.

El frente del complejo hotelero presenta un pendiente suave que alcanza hasta los -2 metros de profundidad a una distancia de 250 m de la línea de costa. Esta pendiente suave del perfil genera una zona uniforme con profundidad promedio de -1.5 m, creando una playa disipativa con una zona ancha de rompiente. La figura siguiente muestra un perfil típico de la zona de estudio.

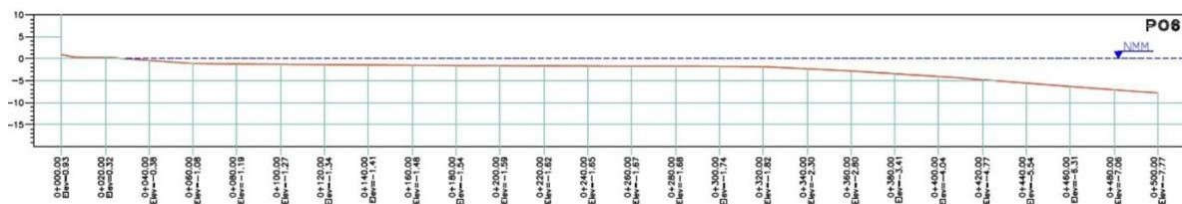


Figura 6-7. Perfil topo-batimétrico tipo de la zona de estudio.

En general, el área presenta zonas con profundidades de hasta 200 m a una distancia de menor a 1.5 km de la línea de costa que forma parte del inicio del Canal de Cozumel. El incremento de profundidad a una distancia relativamente corta de la línea de costa podría explicar el efecto erosivo en la zona de playa debido a que no existen sedimentos que puedan ser acarreados hacia la orilla.

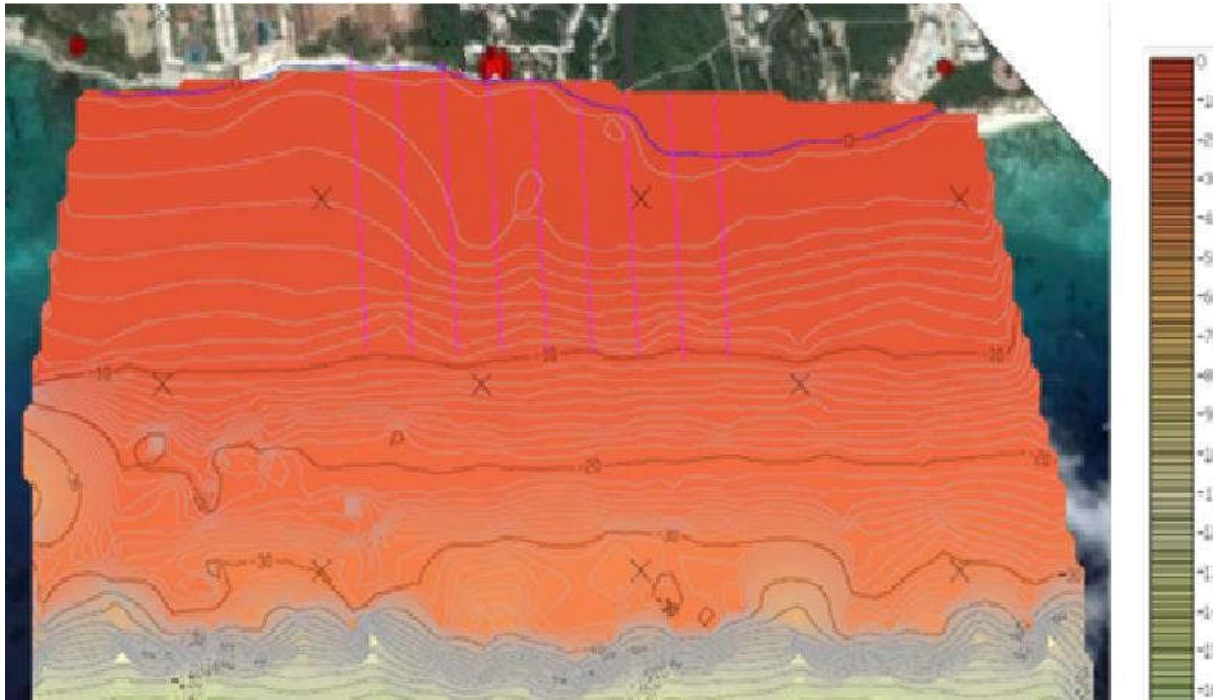


Figura 6-8. Mapa de curvas de nivel de profundidades (isobatas).

## GRANULOMETRÍA

Los procesos de erosión, transporte y deposición de sedimentos son esencialmente controlados por la deformación de la corteza terrestre y el clima. El estudio de sedimentos de distintos ambientes permite obtener información relacionada con su origen, distancia recorrida durante el transporte, mecanismos de transporte y ambientes de deposición (González y Millan, 2016). Los resultados obtenidos a partir de diversos parámetros estadísticos permiten interpretar, expresar y comparar, la distribución del tamaño del grano de un determinado tipo de sedimento de forma cualitativa y cuantitativa.

Se colectaron tres muestras de sedimento superficial a lo largo de un transecto ubicado en la porción central de la playa del complejo hotelero. Las muestras fueron colectadas en la playa posterior (berma), cara de playa (zona intermareal o de swash) y la playa exterior sumergida (Figura x). Cada una de las muestras fue almacenada en bolsas de plástico y trasladadas para su análisis en laboratorio.

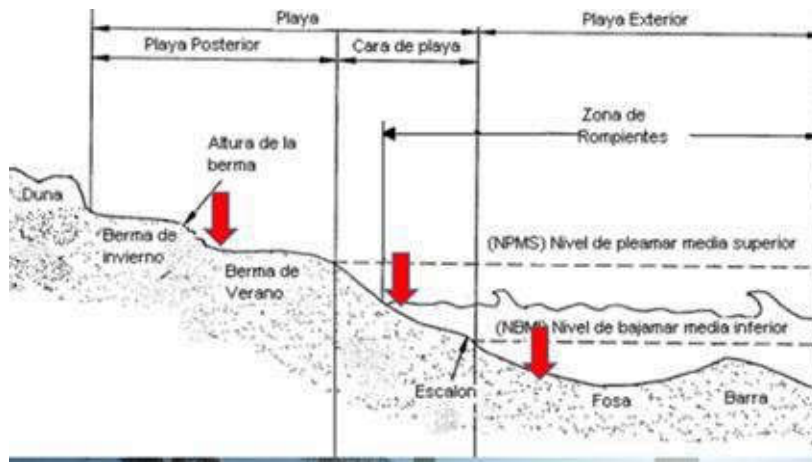


Figura 6-9. Muestreo de sedimentos de la zona de estudio

### PROCESAMIENTO GRANULOMÉTRICO

Las muestras de sedimento fueron enviadas a SUCOBSA, quienes son una empresa con certificado NMX-442.ONNCCE-2010. El análisis se llevó a cabo utilizando la técnica de tamizado mecánico que consiste en pasar una muestra seca, disgregada y pesada por tamices con diferente luz de malla (de mayor a menor) que son agitados para hacer pasar la muestra a través de ellos. Con este proceso se logra determinar el porcentaje de material que queda retenido en cada uno de los tamices y se confecciona una curva granulométrica.

### RESULTADOS

Las muestras de arena están compuestas por sedimento con diámetro D50 de 0.24 mm a 0.45 mm. Los granos de menor tamaño se distribuyen en la zona de duna, mientras que los de mayor tamaño se presentan en la zona de intercambio marino (porción intermedia de la playa). Los sedimentos colectados en la porción sumergida presentan valores de 0.38 mm. De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), que describe la textura y el tamaño de las partículas del suelo, la arena presente en el área de estudio se clasifica arena fina a gruesa pobremente graduada (Anexo 10.2). Esto indica que el suelo ha perdido la mayor composición de elementos finos como consecuencia probable de un proceso erosivo.

Muestra 1	
D <sub>50</sub>	0.24 mm
Clasificación (SUCS)	Arena mal graduada (SW-SP)
Muestra 2	
D <sub>50</sub>	0.45 mm
Clasificación (SUCS)	Arena mal graduada (SW-SP)
Muestra 3	
D <sub>50</sub>	0.38 mm
Clasificación (SUCS)	Arena mal graduada (SW-SP)

Figura 6-10. Resultados del análisis granulométrico

## CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA MARÍTIMO

La caracterización del clima marítimo es una actividad prioritaria para el diseño de toda obra marítima (Ruiz *et al.*, 2009). Las actividades que se desarrollan en las zonas costeras como la pesca, tránsito marino, la explotación petrolera, la construcción, la recreación y el turismo, requieren información sobre pronóstico del viento y del oleaje (Montoya-Ramírez & Osorio-Arias, 2007)

Los vientos gobiernan las grandes circulaciones oceánicas y transfieren momentum a la superficie del océano para producir corrientes marinas y olas (François THOMAS *et al.*, 2012). El oleaje a su vez aporta parámetros morfológicos e hidrodinámicos que influyen en el modelamiento de las costas y transporte de sedimento (Wright *et al.*, 1973), por lo que el conocimiento de estos parámetros es importante para comprender los procesos costeros que se presentan en las diferentes playas de una determinada zona de estudio (Osorio *et al.*, 2009).

Además de proporcionar datos específicos para el desarrollo y diseño de estructuras costeras, al caracterizar el clima marítimo también se obtienen datos que pueden ayudar a la toma de decisiones relacionadas a la interacción de estructura y su impacto en los procesos costeros y la morfología de la costa.

## OBTENCIÓN DE DATOS

En la gran mayoría de las regiones alrededor del mundo, principalmente en los países en vías de desarrollo, las series de datos medidos en aguas someras no son suficientemente largas para caracterizar el clima marítimo y obtener los parámetros de ola necesarios al correcto dimensionamiento de las estructuras portuarias y de protección de la costa.

Debido a que no existen datos de la zona en particular, es necesario realizar el siguiente procedimiento para la obtención de estos:

1. Determinar, en función de los datos disponibles, las características del oleaje y del viento en aguas profundas o intermedias.
2. Obtener las características del oleaje en la zona de interés mediante estudios de propagación del oleaje desde aguas profundas o intermedias.
3. Tomar un punto de una base de re-análisis realizadas a través de modelos numéricos para determinar las características en un punto en un nodo cercano a la zona de estudio.

En el desarrollo de este apartado, “Análisis de clima marítimo” se obtienen las características del oleaje en el punto ubicado frente a la zona de estudio y que se compone de una serie histórica con datos de oleaje. Esta base de datos se alimenta con información de medición de viento y oleaje y corre en modo predictivo (*forecast*), posteriormente los datos históricos se vuelven a correr en modo retrospectivo (*hindcast*) incluyendo huracanes y a la base se le identifica como reanálisis.

Al obtener los datos en el nodo elegido, estos serán analizados a través de la rutina CAROL de Matlab, la cual se encarga de caracterizar los datos disponibles, a través de un análisis estadístico para conocer las características de las variables elegidas en la zona de estudio, en este caso oleaje. Posteriormente se selecciona un número determinado de casos para realizar las propagaciones a la zona de interés para poder caracterizar el oleaje y el sistema de corrientes en planta en el entorno de la zona de estudio.

Para obtener el clima marítimo, se utilizó una base de datos de olas retrospectivas, estos datos han sido validados por varios autores, entre ellos Barbariol *et al.* (2021); Markina *et*

*al.* (2018); *Stopa et al* (2013), entre otros.

Los datos incluyen la altura de ola significativa, el período y la dirección máximos y abarcan datos modelados de 1979 a 2009. El modelo WaveWatch III (que es un modelo de olas de tercera generación) se fuerza con el re-análisis y re-pronóstico del Sistema de Pronóstico Climático del NCEP (CFSRR) que incluye un conjunto de datos homogéneo de vientos de alta resolución por hora, este conjunto de datos está validado para condiciones diurnas, estacionarias y de tormenta (Lukens & Berbery, 2019; *Stopa et al.*, 2013).

La región de interés seleccionada es el Golfo de México y el Atlántico NW (Figura 6-11), la resolución de la malla es cada 10 min, con casi 10,000 celdas de cómputo (en una malla de 301 por 331).

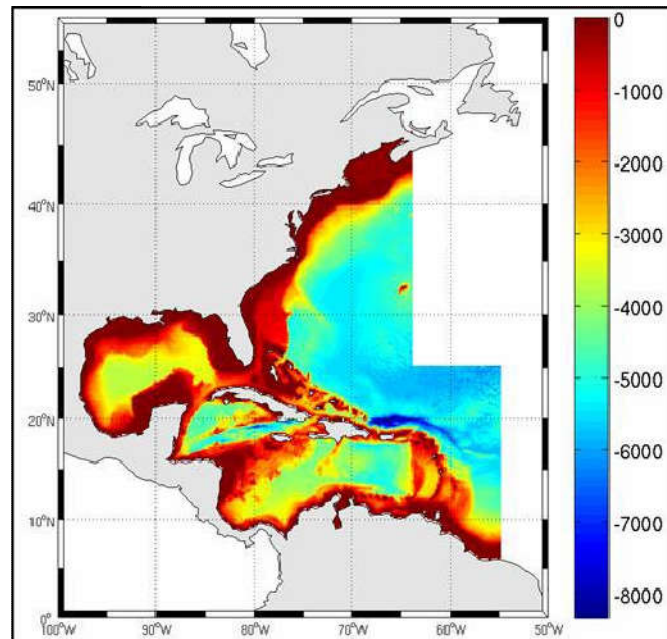


Figura 6-11. Batimetría utilizada para el Golfo de México y el Atlántico Noroeste, nodos a cada 10 minutos.

La base de datos considerada proyecta altura de olas similares a las que se presentan como resultados de fenómenos meteorológicos de gran intensidad como los huracanes. Para los objetivos del proyecto, se consideró utilizar el nodo localizado en la latitud 20.66° N y longitud -87.00° O, el cual se encuentra a 5 km, aproximadamente, del área de estudio y posee una profundidad de 300 m (Figura 6-12).

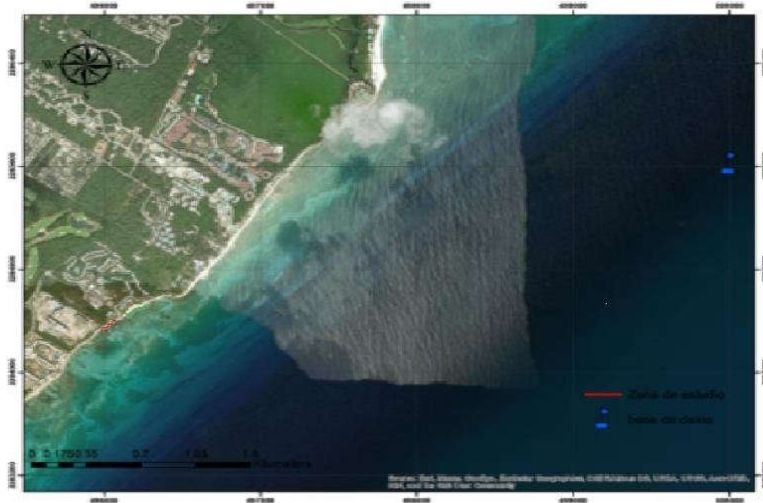


Figura 6-12. Localización de la zona de estudio y punto usado para la base de datos.

Utilizando la relación  $h/L > 0.5$  que establece el límite de profundidades indefinidas (para una  $h$  profundidad  $h$  y una longitud de onda  $L$ ), se obtuvo el valor de  $h/L = 0.61$  para oleajes extremos, calculado con el periodo de pico  $T_p$  más largo asociado de la serie  $y = h/L = 4.01$  para el régimen medio en su totalidad, calculado con el periodo de pico  $T_p$  medio de la serie completa. Los datos disponibles de oleaje se encuentran, por tanto, en aguas indefinidas o profundas tanto para el régimen extremal como para el régimen medio.

#### DESCRIPCIÓN DE LOS OLEAJES PRINCIPALES

Para la determinación de la distribución sectorial del oleaje y del régimen medio de altura de ola significativa ( $H_s$ ) se han definido 16 sectores de  $22.5^\circ$ . Con los datos de la serie de oleaje exterior se obtuvo la rosa de oleaje y las distribuciones de altura de ola-periodo de pico y de altura de ola-dirección.

Se puede observar que los oleajes dominantes en aguas profundas proceden principalmente del primer y segundo cuadrante, en concreto de los sectores ESE con 51.12%, E con 36.22% y EN con 7.45 de probabilidad de ocurrencia (Figura 6-13), siendo, entre los oleajes dominantes, los procedentes del E los de mayor magnitud, como se puede observar en la Tabla 6-1.

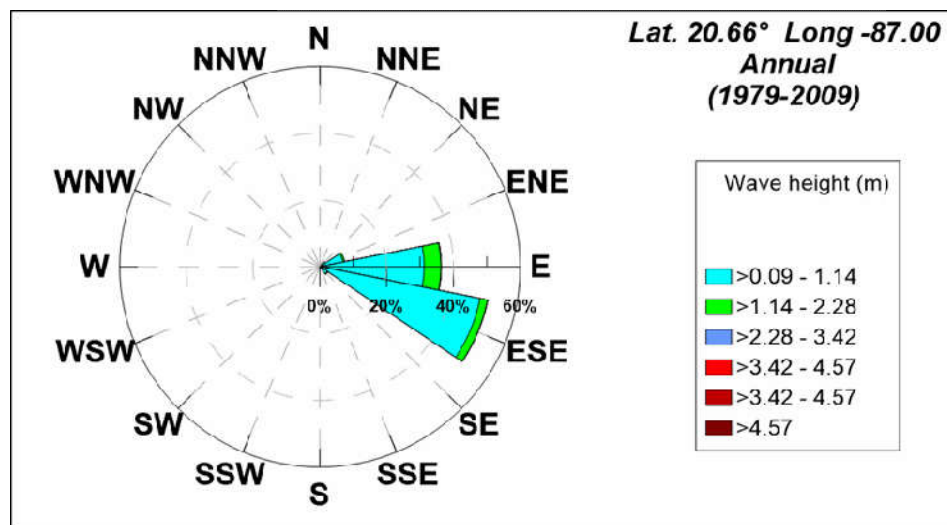


Figura 6-13. Rosa de oleajes medios respecto a la magnitud de Hs.

Tabla 6-1. Tabla de distribución de los oleajes principales

Direcciones	Prob. Dirección (%)	Hs <sub>50</sub>	Hs <sub>90</sub>	Hs <sub>99</sub>	Hs <sub>12</sub>
N	0.03	0.41	0.57	0.66	0.66
NNE	0.11	0.29	0.46	0.66	0.70
NE	1.86	0.49	0.91	1.47	1.85
<b>ENE</b>	<b>7.45</b>	<b>0.63</b>	<b>1.07</b>	<b>1.57</b>	<b>2.18</b>
<b>E</b>	<b>36.22</b>	<b>0.77</b>	<b>1.24</b>	<b>1.90</b>	<b>2.57</b>
<b>ESE</b>	<b>51.12</b>	<b>0.62</b>	<b>0.99</b>	<b>1.49</b>	<b>2.28</b>
SE	2.85	0.70	1.17	1.79	2.40
SSE	0.19	0.53	2.17	3.77	4.31
S	0.04	0.55	1.57	1.99	1.99
SSW	0.01	0.38	1.96	2.12	2.12
SW	0.01	0.24	1.96	2.26	2.26
WSW	0	0	0	0	0
W	0.01	0.52	0.78	0.84	0.84
WNW	0.01	0.26	0.44	0.45	0.45



Direcciones	Prob. Dirección (%)	Hs <sub>50</sub>	Hs <sub>90</sub>	Hs <sub>99</sub>	Hs <sub>12</sub>
NW	0.03	0.31	0.57	0.86	0.86
NNW	0.05	0.51	0.68	0.85	0.85

En la Figura 6-14 se muestran las representaciones gráficas de las distribuciones direccionales Altura de Ola (Hs) - Periodo Pico (Tp) para las direcciones significativas anteriormente descritas. Los gráficos muestran la frecuencia de ocurrencia conjunta para altura de ola y periodo y dan una idea de cuál es el rango de periodos más probable para una determinada altura de ola. En ellos se observa que los oleajes en aguas profundas poseen un rango estrecho de periodos que son generalmente de duración media (6 – 10 segundos).

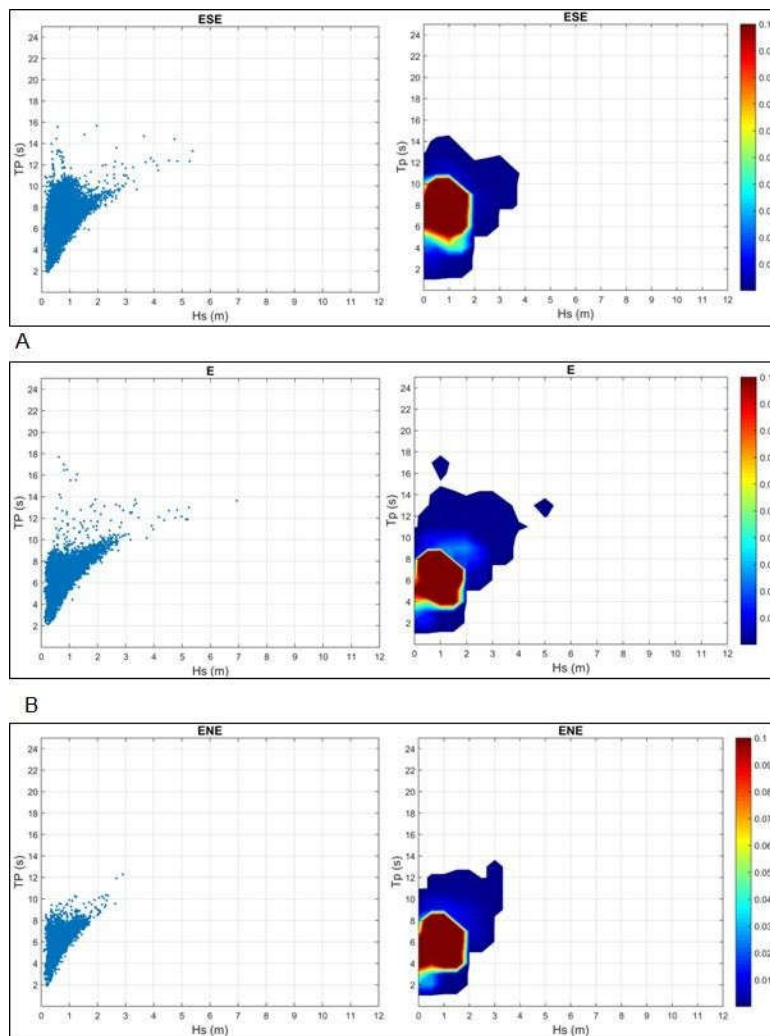


Figura 6-14. Frecuencia de ocurrencia conjunta Hs-Tp, para oleaje en aguas profundas

## REGIMEN EXTREMAL DE OLAJE

La obtención del régimen extremal de  $H_s$  en el punto de reanálisis se ha realizado mediante el método de excedencias sobre un umbral (POT, por sus siglas en inglés), que toma como valores los que superan un determinado umbral definido, en este caso, el correspondiente al cuantil del 99.5 % (el valor estadístico que es superado un 0.5 % del tiempo). Este valor se corresponde con una altura de ola significativa de 1.96 m para la base de datos analizada.

Los valores extremos se ajustan a una de estas tres distribuciones, Gumbel, Frechet y Weibull, según el teorema de las tres colas (Basrak, 2011). Estos tres tipos pueden ser combinados en una única expresión denominada distribución de valores extremos generalizados (GEV) con la siguiente expresión:

$$F(x) = \exp \left[ - \left( 1 - \frac{\xi(x - \mu)^{1/\xi}}{\psi} \right) \right]$$

Donde:

$\mu$ : es el parámetro de localización.

$\psi$ : es el parámetro de escala.

$\xi$ : es el parámetro de forma.

Cuando  $-0.05 < \xi < 0.05$  resulta la distribución de Gumbel.

Cuando  $\xi > 0.05$  resulta la distribución de Frechet.

Cuando  $\xi < -0.05$  resulta la distribución de Weibull.

Por tanto, se ha aplicado la distribución de extremos generalizada estableciendo un umbral de altura de ola y considerando solo las alturas de olas mayores a ese umbral (POT), para la determinación del régimen extremal escalar del parámetro de estado de mar altura de ola significativa,  $H_s$ .

En la Figura 6-15 se representa el régimen extremal escalar de la altura de ola, indicándose en la gráfica los parámetros de ajuste. El valor del parámetro de forma indica que los datos se ajustan a una distribución de Frechet ( $\xi = 0.309$ ).

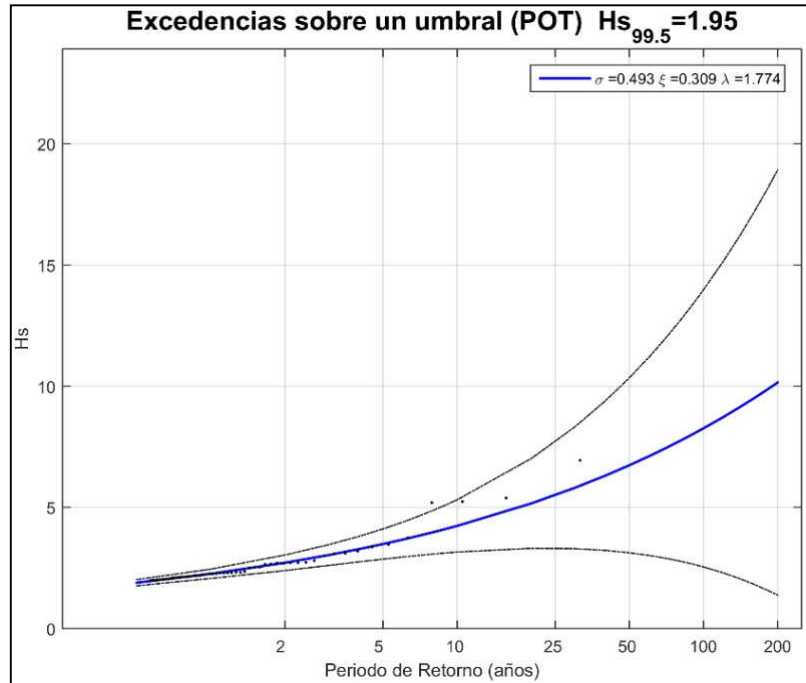


Figura 6-15. Régimen extremal escalar de altura de ola ( $H_s$ ).

En la Tabla 6-2 se describen los valores de la altura de ola significativa para diferentes períodos de retorno.

Tabla 6-2. Alturas de ola  $H_s$  para diferentes períodos de retorno

Periodo de retorno TR (años)	Altura de ola $H_s$ (m)
2	2.21
5	3.49
10	4.23
25	5.51
50	6.75

## REGIMEN DE MAREAS

Las mareas son ondas de periodo muy largo que se mueven a través del océano y pueden ser progresivas o estacionarias. La atracción gravitatoria entre la Tierra y la Luna equilibra exactamente las fuerzas necesarias para mantener la órbita de la Luna. En otros sitios, las dos fuerzas no están en equilibrio y dan lugar a la llamada fuerza generadora de mareas, lo cual explica por qué existen dos mareas por día en la mayoría de los lugares del mundo, a las que llamamos mareas semidiurnas. En otras partes del océano no existe una fuerte respuesta a estas fuerzas y, por tanto, tienen una marea por día (régimen diurno).

Los registros de los niveles del mar con respecto al Nivel de Bajamar Media Inferior (NBMI) se obtuvieron por medio de una base de datos que predice estos niveles. Los pronósticos se basan en datos horarios históricos de nivel del mar, obtenidos por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Secretaría de Marina (SEMAR) o el Manual de Dimensionamiento Portuario en su apartado 3, Condiciones Físicas (Dirección General de Puertos CGP y MM (SCT, 2001) (Tabla 6-3).

*Tabla 6-3. Niveles de Referencia de Mareas en Puerto Morelos, Quintana Roo.*

<b>Puerto Morelos, Quintana Roo</b>	
<b>Lat: 20.8681, Lon: -86.8668</b>	
<b>PLANOS DE MAREAS REFERIDOS AL NIVEL MEDIO DEL MAR</b>	
NIVEL DE PLEAMAR MEDIA SUPERIOR	0.097 m
NIVEL DE PLEAMAR MEDIA	0.083 m
NIVEL MEDIO DEL MAR	0.000 m
NIVEL DE BAJAMAR MEDIA	-0.128 m
NIVEL DE BAJAMAR MEDIA INFERIOR	-0.125 m

#### OBTENCIÓN DE DATOS DE MAREAS (PROGRAMA MARV, CICESE)

Se analizaron los niveles de marea obtenidos durante el periodo comprendido entre el 01 de enero de 2000 y el 31 de diciembre de 2020, utilizando la base de datos de CICESE, para el punto de Puerto Morelos. Se obtuvo un análisis armónico y un análisis estadístico de los niveles observados.

La variación del nivel del mar en Puerto Morelos durante las fechas antes mencionadas muestra valores mínimos de -0.11 m, máximos de 0.38 m y un valor medio de 0.12 m, todos estos referidos al NBMI (Figura 6-16).

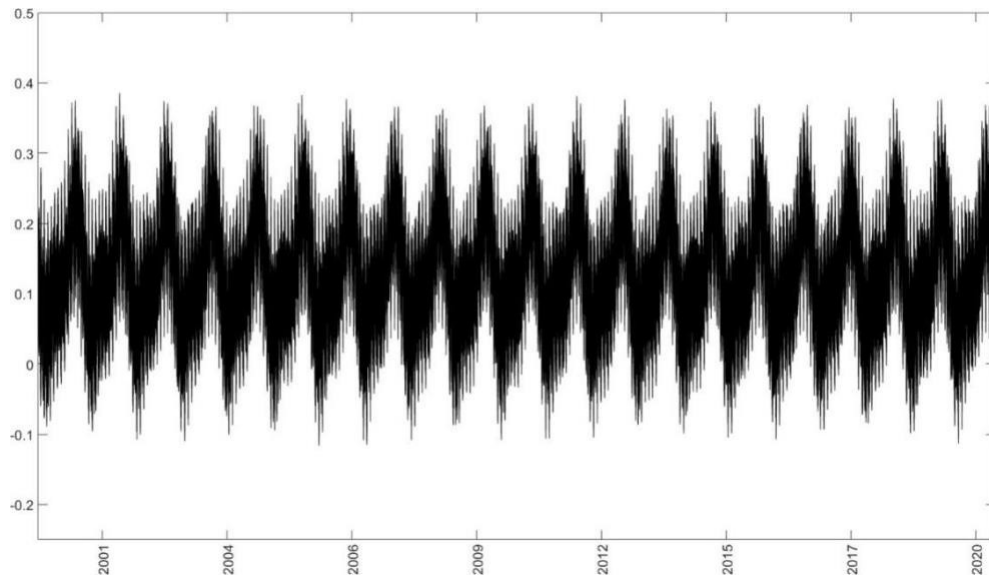


Figura 6-16. Variación del nivel medio del mar en la zona de Puerto Morelos, Quintana Roo, de acuerdo con los datos obtenidos del programa MARV del CICESE del 2000 al 2021

De acuerdo el análisis realizado se obtuvo que los niveles de marea más elevados se presentan en los meses de agosto a diciembre con valores de hasta 0.38 m, mientras que los más bajos se presentaron durante los meses de febrero a abril con valores desde -0.11 m. El nivel promedio para cada mes es de aproximadamente 0.06 m y disminuye para los meses de julio-agosto, incrementado para finales del año (Figura 6-17).

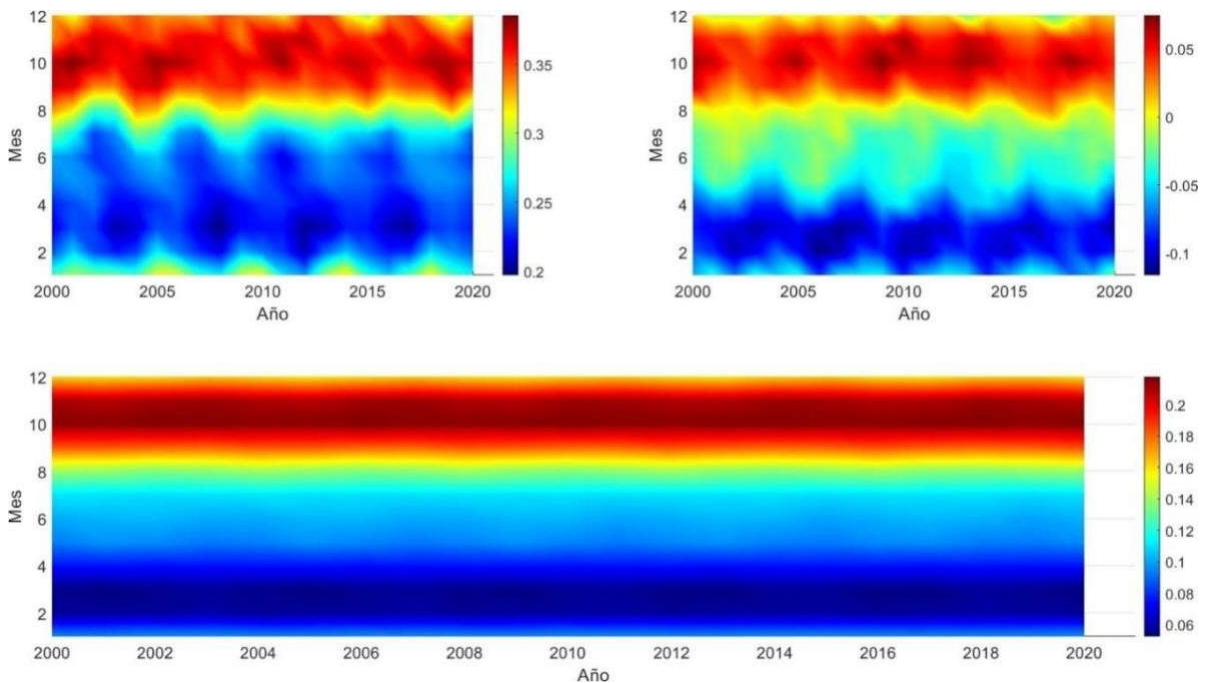


Figura 6-17. Niveles de marea en la zona de Puerto Morelos para el periodo de 2000 al 2021. Superior izquierdo: Valores máximos; Superior derecho: Valores mínimos y Panel inferior: valores promedio

## ANÁLISIS ARMÓNICO (T TIDE)

El método de análisis armónico consiste en medir el nivel del mar durante cierto período de tiempo y obtener, a partir de dicho registro las amplitudes y fases de las ondas componentes en las frecuencias características (de periodo conocido). Adicionalmente, permite predecir la marea en una localización dada, basándose en que el conocimiento de que la marea observada está formada por un número de componentes armónicas cuyos periodos han sido perfectamente establecidos y coinciden con los períodos de algunos de los movimientos astronómicos relativos entre Tierra-Luna-Sol. La calidad de la predicción dependerá de la longitud del registro, que tiene que ser como mínimo 2 veces la componente de mayor periodo a ajustar. De esta manera la longitud idónea para el estudio de variaciones diurnas-semidiurnas sería de 15 días, mareas vivas y muertas de 29-30 días y para variaciones mensuales y semi anuales de 369 días. Para este estudio se utilizó el programa T TIDE (Pawlowicz *et al.*, 2002) para la obtención de los armónicos constituyentes de la onda de marea.

Con las componentes armónicas obtenidas en el análisis se caracterizará el régimen de marea presente en el área de estudio, mediante el coeficiente de Courtier "F", el cual se define como:

$$F = \frac{\text{amplitud } K1 + \text{amplitud } O1}{\text{amplitud } M2 + \text{amplitud } S2}$$

Si: $F < 0.25$	Régimen Semidiurno
Si: $0.25 < F < 1.50$	Régimen mixto semidiurno
Si: $1.50 < F < 3.00$	Régimen mixto diurno
Si: $3.00 < F$	Régimen diurno

Se obtuvieron un total de 12 componentes armónicas y el nivel de significación con el que se obtuvieron las amplitudes y las fases se corresponde a intervalos de confianza del 95%. El cociente de determinación, que mide la capacidad predictiva del modelo es del 90.6% debido en mayor parte a la corta longitud del registro.

Observamos que las amplitudes mayores son las semi diurnas (N2, M2 Y S2), con una variación de 7.12 cm, 2.33 cm y 2.93 cm, respectivamente. Después de estas, en amplitud continúan la diurna, O1 con 2.39 cm, y la anual y semi anual con 7.13 cm y 3.07 cm ( )

Tabla 6-4. Principales componentes del análisis armónico realizado con el programa T TIDE.

Componente	Frecuencia [Hz]	Temporalidad	Amplitud [cm]	Fase [°]	SNR (Signal to Noise Ratio)
*SA	0.0001141	365.18 días	7.13	276.93	51,000,000,000
*SSA	0.0002282	182.59 días	3.07	93.34	7,200,000,000
*O1	0.0387307	1.08 días	2.39	27.16	32,000
*S1	0.0416667	1.00 días	1.13	344.75	5,300
*K1	0.0417807	1.00 días	0.86	70.29	3,900
*N2	0.0789992	12.66 horas	2.33	61.89	98,000
*NU2	0.0792016	12.63 horas	0.52	76.41	4,200
*GAM2	0.080309	12.45 horas	0.20	80.98	860
*M2	0.0805114	12.42 horas	7.12	73.62	1,000,000
*S2	0.0833333	12.00 horas	2.93	59.7	180,000

De acuerdo con el coeficiente de Courtier ( $F=032$ ), el régimen de mareas para la zona de estudio se caracteriza como mixta con dominancia semidiurna (Figura 6-18).

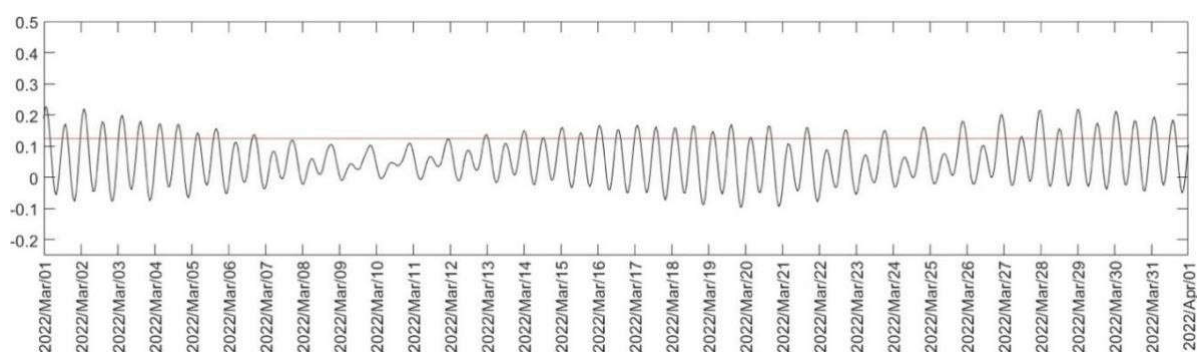


Figura 6-18. Representación gráfica de la marea para el mes de marzo de 2022 en donde se aprecia el régimen de marea caracterizado como semidiurna

## CARACTERIZACIÓN DEL OLEAJE

Para realizar la caracterización del oleaje se utilizaron los datos de batimetría de las Cartas Náuticas SM922.4 y MX93121 (Figura 6-19), tal y como lo recomiendan Appendini *et al.* (2012); Enríquez *et al.* (2010); Medellín *et al.* (2018) y Ruiz-Martínez *et al.* (2016). Sobre esta se realizaron las propagaciones desde aguas profundas a la zona de estudio con el modelo numérico Delft3D-WAVE y Delft3D-FLOW.

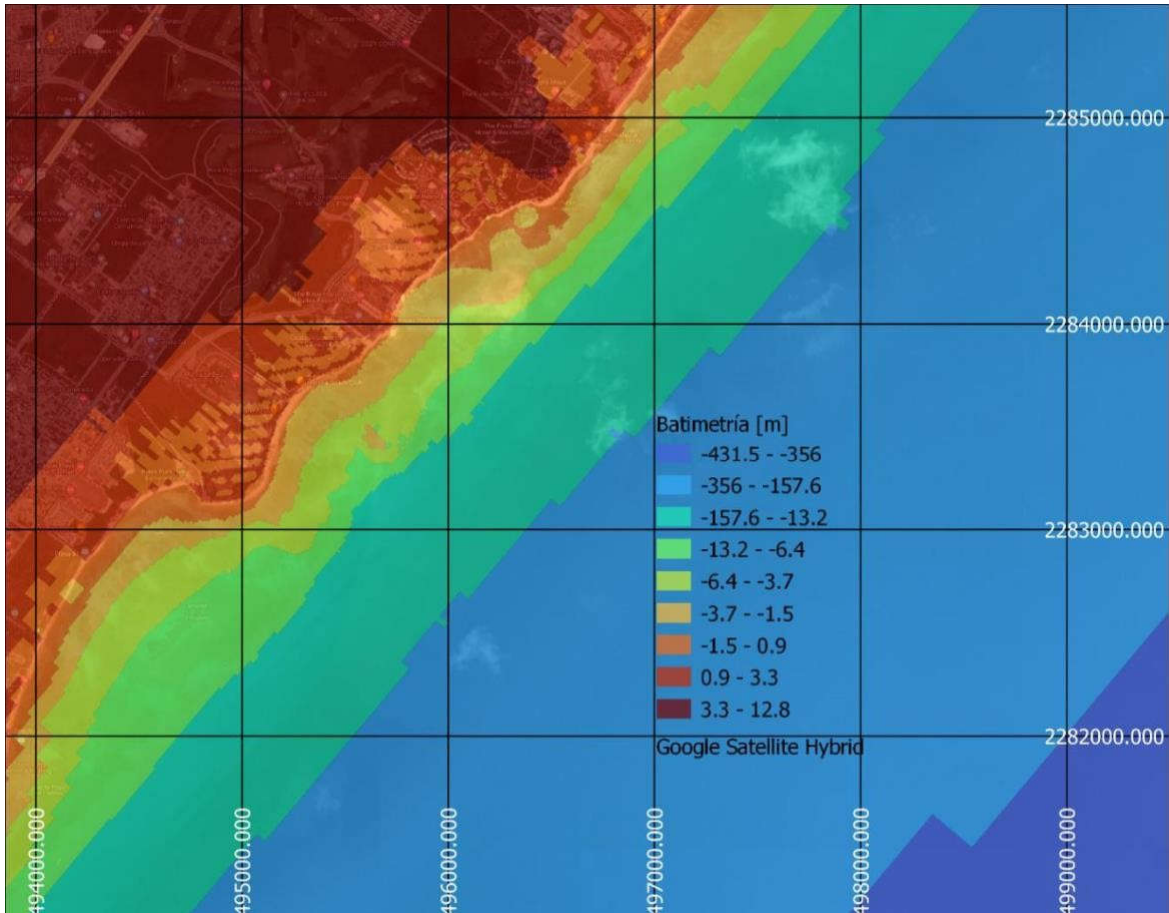


Figura 6-19. Batimetría de la zona de estudio para la malla global..

La batimetría en aguas profundas se ve influenciada por el canal de Cozumel, llegando a profundidades de hasta 460 metros. Cerca de la zona de estudio observamos que a 500 metros se tienen zonas profundas de 10 m, lo cual representa una pendiente de 0.02, otra de las características apreciables de la zona es que hay dos puntas, Punta Xcalacoco hacia el Norte del predio, y Punta Esmeralda hacia el Sur, a 1500 m y a 900 m respectivamente. Como primer paso para la propagación del oleaje, se hace necesario definir una malla numérica sobre la batimetría o dominio de la zona de estudio sobre el que se pretenden



efectuar las propagaciones. En el modelo SWAN dichos dominios se determinan a través de mallas rectangulares o escalonadas, las cuales contienen las cotas batimétricas en cada uno de sus nodos y establecen las condiciones de contorno y forzamiento del oleaje de cada simulación.

Se determinaron las direcciones significativas para el presente estudio abarcando desde los oleajes de componente E, S, y N. Para representar adecuadamente el recorrido de los frentes de oleaje desde aguas profundas, se definieron dos mallas de propagación de resolución de 500 m x 500 m, y una de detalle con una resolución de 10 m por 10 m en la zona de interés. Las mallas son anidadas para obtener la información de la malla anterior, y propagar el oleaje hacia la más pequeña.

Para las simulaciones se utilizó la altura de oleaje que abarca el percentil 90 de la serie de oleaje.

#### CASOS DE PROPAGACIÓN DE OLAJE

Debido al elevado coste computacional que se requiere al realizar la propagación de toda una serie de oleaje mediante modelos numéricos, se determinó efectuar tres diferentes casos de propagación tomando en consideración el análisis estadístico de oleaje. Cada uno de los estados de mar elegidos fueron propagados hasta el punto objetivo. Adicionalmente, tomando en cuenta los niveles más comunes, se consideró para cada caso, tres diferentes niveles del mar ().

*Tabla 6-5. Datos obtenidos de la estadística del oleaje para realizar las simulaciones de propagación*

<u>Dirección</u>	<u>Hs<sub>90</sub> [m]</u>	<u>Tp [s]</u>	<u>Nivel del Mar</u>
ENE	1.07	5	-0.125, 0.00, 0.097
E	1.24	6	-0.125, 0.00, 0.097
ESE	0.99	7	-0.125, 0.00, 0.097

## TRANSFORMACIÓN DEL OLEAJE

A medida que un tren de olas se acerca a la costa el efecto del fondo empieza a hacerse palpable y es posible observar un incremento en la altura de la ola y una reducción en su longitud. A este proceso se le conoce como asomeramiento y tiene un efecto en la longitud y velocidad de las ondas oceánicas.

Cuando la ola se encuentra con un obstáculo en la superficie, se modifica según los fenómenos de difracción y reflexión; también se puede modificar por un obstáculo sumergido, alterándose el movimiento orbital de las partículas hasta una cierta profundidad.

La refracción es el cambio de dirección que experimenta la ola, cuando esta se acerca a una zona de menor profundidad, por ejemplo, una playa (Figura 6-20). El tren de olas se frena, la altura de la ola disminuye y su dirección de propagación se modifica.

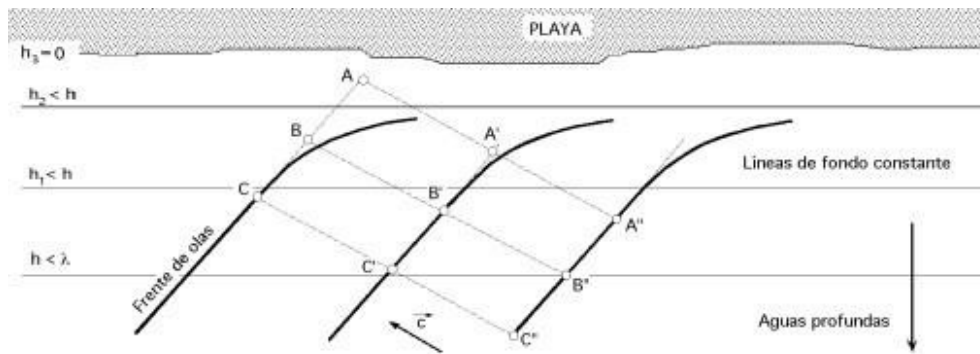


Figura 6-20 Refracción de un tren de olas. La ola se afecta cuando la profundidad del agua es igual a la mitad de su longitud de onda ( $h = \lambda/2$ ) y afecta su frente de propagación al acercarse a la playa.

Por otro lado, la reflexión se produce cuando la ola choca con un obstáculo vertical (barrera) causando que la ola se refleje con muy poca pérdida de energía (Figura 6-21).

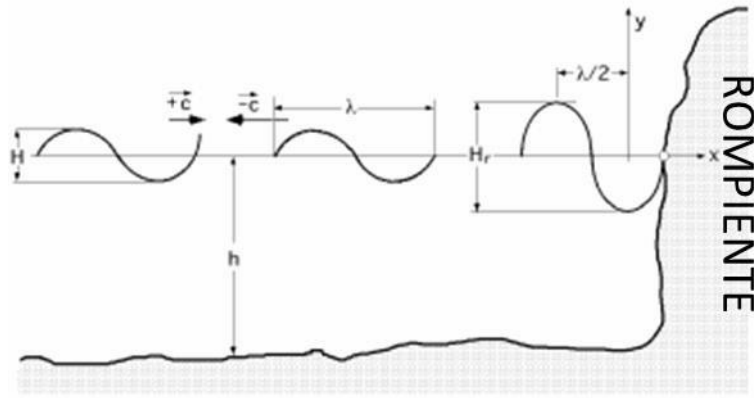


Figura 6-21. Reflexión de una ola. Las olas se reflejan en la barrera disminuyendo o anulando los movimientos horizontales de las partículas debido a las ondas incidentes y reflejadas.

La difracción es la dispersión de la energía del oleaje de sotavento de una barrera, permitiendo la aparición de pequeños sistemas de olas en las aguas protegidas por el obstáculo (Figura 6-22).



Figura 6-22. Difracción de las olas al encontrar un saliente marino. Las olas pasar al otro lado de la barrera, adoptando un frente en forma circular y disminuyendo su altura, mientras que su velocidad y longitud de onda no se modifican.

Como se puede observar, la disminución de la profundidad juega un papel importante en el proceso de transformación de las olas. Uno de los mecanismos más importantes de disipación de energía es la rotura, la cual se produce cuando la altura de la ola coincide con la profundidad causando que la ola pierda estabilidad y rompa una gran cantidad de energía en forma de turbulencia, fundamentalmente (Figura 6-23).

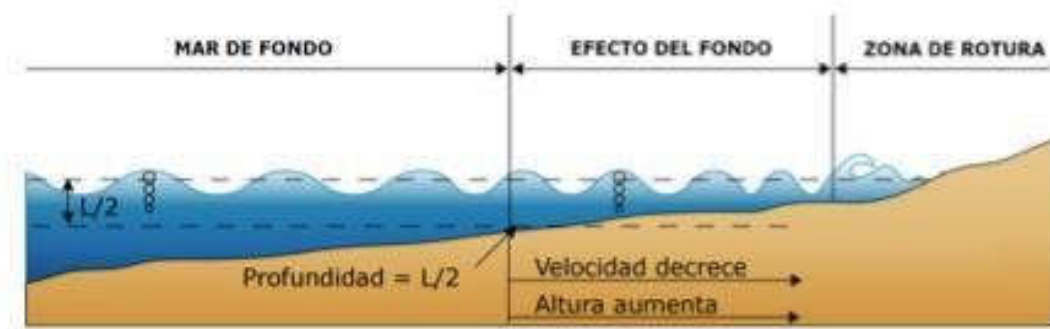


Figura 6-23. Esquema de la rotura del oleaje por fondo. La profundidad disminuye causando que la velocidad decrezca, la altura de la ola aumente y rompa con la consecuente pérdida de energía.

Para modelar los principales procesos de transformación que sufre el oleaje se utilizó la siguiente fórmula, la cual describe la evolución del espectro del oleaje (Hasselmann *et al.*, 1973).

$$\frac{\partial}{\partial t}(N) + \frac{\partial}{\partial x}c_x N + \frac{\partial}{\partial y}c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma}c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta}c_\theta N = \frac{S}{\sigma}$$

Donde:

$N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta)/\sigma$  la densidad de Acción es igual a la densidad de Energía, entre la frecuencia

$c_x; c_y$  Velocidades de propagación en x, y.

$\sigma$  Frecuencia Relativa

$\theta$  Dirección de la ola

$S(\sigma, \theta)$  Fuente, en función de densidad de energía (generación, disipación)

El primer término de la ecuación representa la tasa de cambio local de la densidad de Acción en el tiempo, el segundo y tercer término representan la propagación de la acción en el espacio geográfico, el cuarto término representa el cambio en la frecuencia relativa debido a las variaciones en la profundidad y las corrientes, el quinto término representa la refracción inducida por la profundidad y las corrientes. Todos estos tomados de la teoría lineal del oleaje

Los datos fueron obtenidos de los nodos del modelo WAVEWATCH III (WWIII) (Figura 6-24), desarrollado por la Marine Modeling and Analysis Branch (MMAB) de el Environmental Modeling Center (EMC) de el National Center for Environmental Prediction (NCEP).

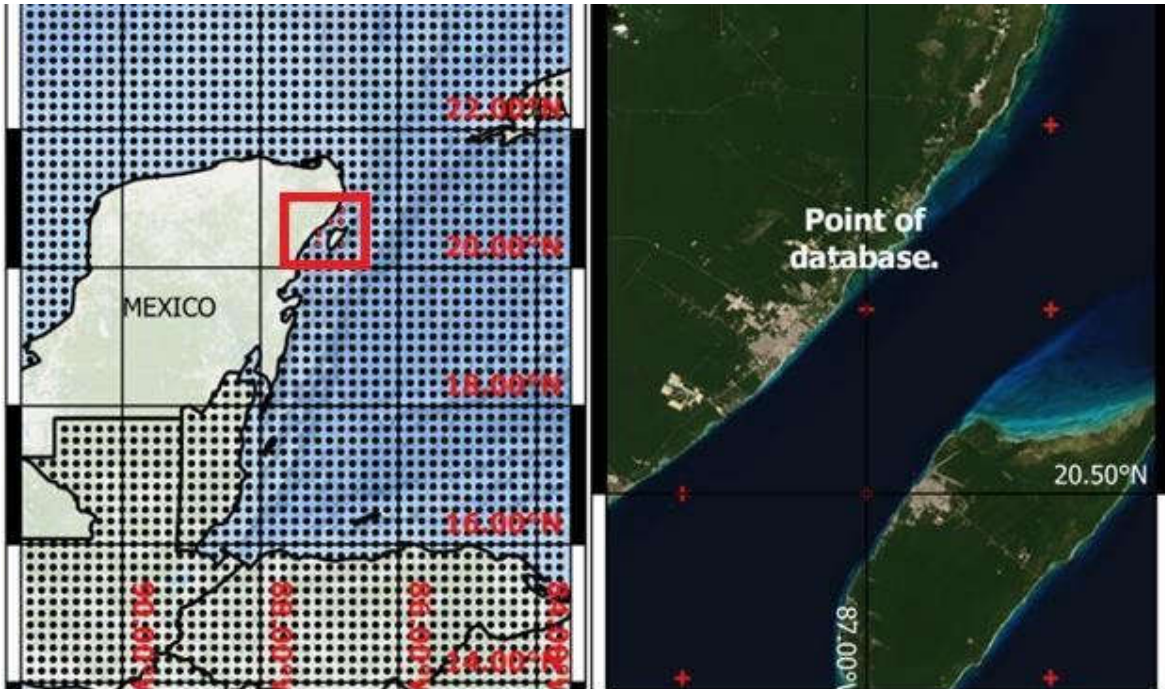


Figura 6-24. Modelo WAVEWATCH III. Izquierda: Distribución de los nodos de información (base de datos). Derecha: Nodos seleccionado para la obtención de datos utilizados en el presente estudio.

#### RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE OLAJE

La zona de estudio se encuentra lejos de las dos salientes antes mencionadas, Punta Xcalacoco y Punta Esmeralda, por lo que no cuenta con protección natural quedando expuesta a los efectos del oleaje, el cual llega sin atenuación.

Precisamente la falta de protección que puede otorgar una estructura natural o artificial (como un arrecife natural o artificial) produce que las condiciones de oleaje en la zona sean más intensas, si bien para oleaje que viene de la dirección ENE las alturas de ola frente a la zona rondan los 0.5-0.6m (poco intenso y con baja probabilidad de ocurrencia de acuerdo con estudio de oleaje estadístico), para las condiciones con direcciones del E y del ESE (dirección más probable) las alturas de ola frente a la costa son entre los 0.5-0.8m y 0.75-0.80m respectivamente.

Otro punto para considerar como influencia el canal de Cozumel, observamos que la profundidad de 10 metros se presenta alrededor de los primeros 500 metros a partir del predio, y posteriormente cerca del kilómetro hay una profundidad de 100 metros. De los

resultados observamos que la ola comienza a perder energía desde la profundidad de 10 m, y debido a que no hay zonas de protección la disminución de la altura es baja.

El oleaje se disipa de manera casi uniforme sobre la costa, aunque vemos picos de energía en tres zonas, la primera es en punta Xcalacoco, donde el oleaje rompe directamente sobre la saliente, las siguientes dos zonas se encuentran en el predio, la primera se extiende de punta Xcalacoco hacia la mita del predio, y la última zona es hacia el final del predio.

Se realizó la propagación con dirección ENE, con una altura de ola en aguas profundas de 1.07 m y un periodo de 5 s, para tres diferentes niveles de marea, -0.125, 0.0 y 0.097 (Figura 6-25), esto para modelar el comportamiento del oleaje a distintos niveles de marea. De los resultados observamos que hay pocas diferencias entre los niveles, debido a que el rango de marea semidiurno es menor a los 25 cm. La diferencia principal es donde rompe el oleaje, para el caso del nivel de marea a 0.097 el oleaje rompe unos metros más al frente, en comparación con marea baja. Se puede decir que el oleaje comienza a sentir el fondo después del canal de Cozumel. Para la zona de la costa observamos concentración de oleaje en la zona de punta Xcalacoco, el oleaje en esta zona es alrededor de los 0.75 m, y disminuye hacia la zona de estudio.

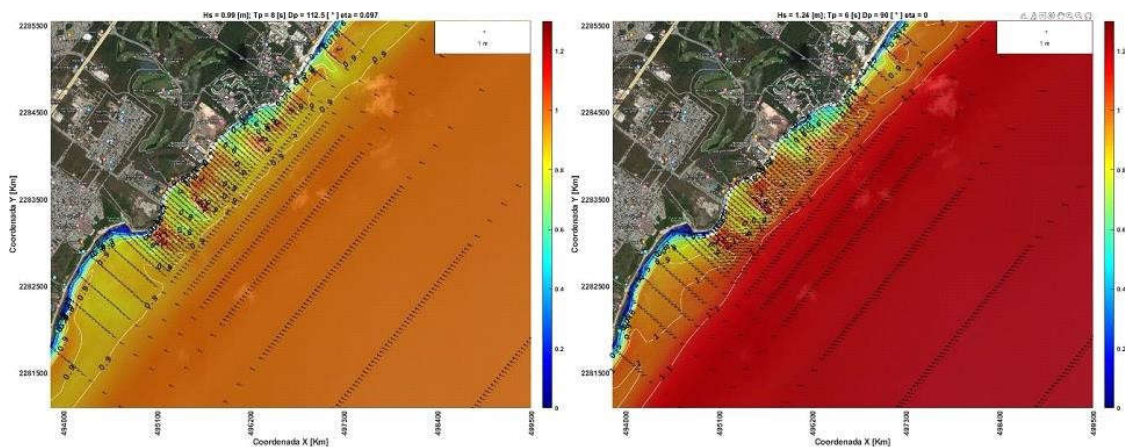


Figura 6-25. Resultados de propagación. Dir = ENE, Hs = 1.07m, Tp = 5s, Dp = ENE, Eta = 0.0m

De igual manera se realizó la propagación con dirección ESE, con una altura de ola en aguas profundas de 0.99 m y un periodo de 8 s, para los tres diferentes niveles de marea, -0.125, 0.0 y 0.097 (Figura 6-26), para conocer el comportamiento del oleaje en la zona, de igual manera se observa poca diferencia entre los diferentes niveles, ya que el rango de marea semidiurno es menor a los 25cm. Para esta dirección se observa que el oleaje comienza a sentir fondo donde termina el canal de Cozumel. El oleaje se observa que se disipa de manera uniforme, pero con alturas de oleaje frente a la costa (cerca de los 300 m) de hasta 1 m de altura, es decir, debido al fenómeno llamado refracción, el oleaje toma un poco más de fuerza antes de disiparse más adelante.

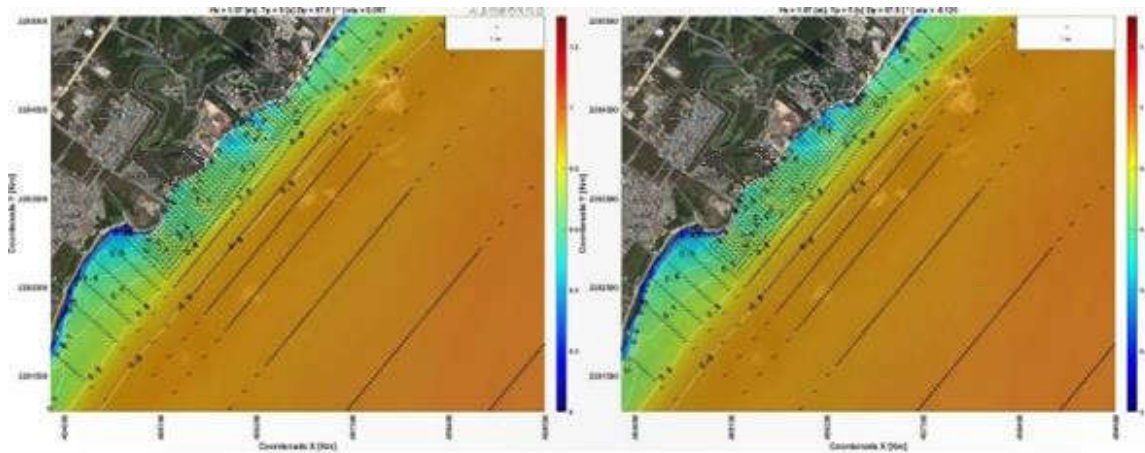


Figura 6-26. Resultados de propagación. Dir = ESE, Hs = 1.07m, Tp = 5s, Dp = ENE, Eta = 0.0m

Al propagar el oleaje de la dirección E, con una altura de ola en aguas profundas de 1.24 m y un periodo de 6 s, para los tres diferentes niveles de marea, -0.125, 0.0 y 0.097 (Figura 6-27), se observan las mayores alturas para todos los casos, la altura de ola al final del canal de Cozumel ronda los 1.1 m, y cerca de la zona de estudio (entre 300-400 m) la altura de ola disminuye a los 0.90 m.

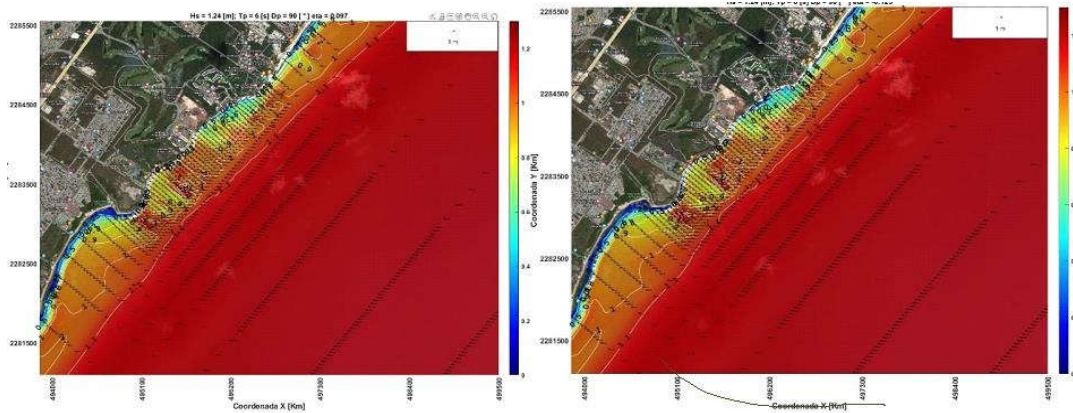


Figura 6-27. Resultados de propagación. Dir = E, Hs = 1.07m, Tp = 5s, Dp = ENE, Eta = 0.0m

La presencia de arrecifes artificiales generará que el oleaje rompa sobre esta estructura y desarrolle un incremento en el nivel medio del mar de manera local (conocido como wave-setup). El cual establece un gradiente de presión que modifica las corrientes medias en la zona de sombra que generan las estructuras.

#### CARACTERIZACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

Las áreas costeras son muy dinámicas y complejas, con cambios que ocurren en distintas escalas de tiempo, que van desde segundos hasta millones de años (Lira-Pantoja *et al.*, 2012). La línea de costa es un elemento de la zona costera que se define como la frontera entre el agua y la tierra (Li & Damen, 2010). Los cambios de ésta se asocian a perturbaciones naturales como el viento, las olas, corrientes, tormentas, huracanes, etc. (Callaghan *et al.*, 2015) y antropogénicos como resultado de la construcción de infraestructura (ej. caminos, puertos, puentes, hoteles), el asentamiento de comunidades humanas y las actividades socioeconómicas asociadas.

Los cambios morfológicos a lo largo de los litorales se pueden apreciar por la acumulación de arenas formando playas extensas de pendientes suaves, acompañadas de dunas, tómbolos, lengüetas, barreras, o bien, por los procesos de erosión o remoción de las arenas exponiendo sustratos rocosos, formando cavernas, farallones, puntas y playas angostas de pendientes fuertes la mayoría de las veces, con materiales gruesos de arena y gravas (Torres Rodríguez *et al.*, 2010).

Los procesos que gobiernan la dinámica litoral como la variación de aporte de sedimentos



y los cambios de energía originados por el oleaje y las corrientes marinas causan diferencias en el ancho, pendiente y forma de las playas, los cuales varían durante las diferentes épocas del año, siendo en las épocas de lluvias y nortes cuando los cambios son más intensos, principalmente por la frecuencia e intensidad de los oleajes. Actualmente, el papel de la actividad antropogénica también ha contribuido a modificar la zona litoral, desde el momento que se construyen vías de comunicación, infraestructura energética y petrolera, hoteles, casas, restaurantes, etc. en su parte continental (supraplaya), hasta la construcción de muelles, espigones, escolleras, rompeolas en la parte marina (infraplaya) alterando el transporte litoral y la morfología de la playa.

La erosión costera ha provocado la reducción de playas, el avance de la línea de costa hacia el continente, la pérdida de playas, la pérdida de ecosistemas (manglares), la destrucción de playas de anidación de tortugas marinas, la intrusión salina, y cambios en la batimetría y morfología costera, entre otros problemas, provocando un impacto en obras civiles como carreteras, líneas eléctricas, casas habitación, e infraestructura petrolera.

La erosión de la línea de costa es considerada uno de los principales problemas costeros, ya que tiene dimensiones ecológicas, económicas y sociales (Ruiz Beltrán & Rioja-Nieto, 2017). Por lo antes mencionado, la protección de la línea de costa es importante para promover la conservación de su biodiversidad y resguardar los servicios y bienes ecosistémicos que brinda. El mapeo de la línea de costa, la detección de sus cambios y evaluación permite hacer un análisis, gestión y planificación ambiental para el uso sustentable de los recursos naturales y construcción de la infraestructura costera (Di *et al.*, 2003). Esto es debido a que su detección permite construir indicadores de estado y seguimiento ambiental (Ojeda Zújar *et al.* 2013).

Diversos estudios han utilizado imágenes de satélite de forma satisfactoria para la detección del cambio de línea de costa (Bouchahma *et al.*, 2012; Callaghan *et al.*, 2015; K. Di *et al.*, 2014). Las ventajas del uso de imágenes satelitales para estos estudios residen en la cobertura espacial y temporal: gran cobertura espacial y la continua toma de datos desde años anteriores.

En este estudio se hace uso de las imágenes satelitales del acervo histórico de Google Earth. El objetivo de este apartado es determinar el estado actual de la zona costera adyacente y cercana al predio propiedad de Puerto Coral S.A. de C.V., a través de un análisis comparativo de las líneas de costa históricas y su evolución a lo largo del tiempo. En función de los resultados obtenidos se realizará una serie de propuestas para ayudar a mitigar la erosión costera frente a la zona de estudio.

#### OBJETIVO

Realizar un análisis cuantitativo de la evolución histórica de la línea de costa frente a la zona de proyecto para conocer los patrones de erosión/acreción que permitan tener datos para evaluar y diagnosticar el estado actual del frente costero del predio propiedad de Puerto Coral S.A. de C.V.

Para lograr este objetivo se plantea:

- Hacer una recopilación de imágenes históricas existentes
- Utilizar herramientas especializadas en ingeniería costera que arrojen datos para un diagnóstico preciso de los cambios en la línea de costa
- Utilizar la información obtenida del análisis para realizar la toma de decisiones en pro de generar propuestas de ingeniería para ayudar a mitigar la erosión costera presente en la zona del proyecto.

#### METODOLOGÍA

La metodología utilizada para realizar el análisis histórico de evolución de la línea de costa en la zona del proyecto se resume en la Figura 6-28.

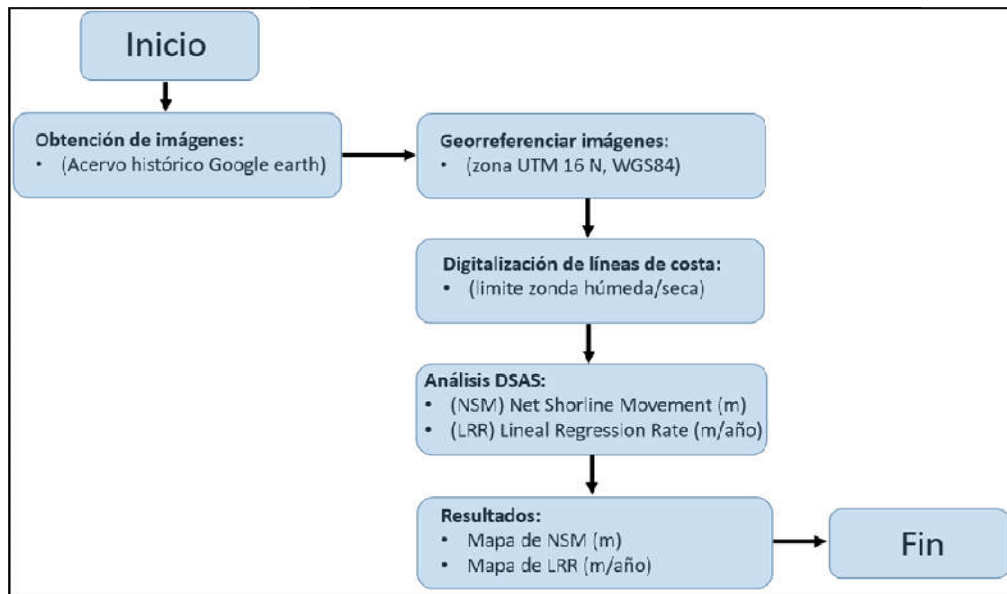


Figura 6-28. Metodología análisis histórico de evolución de la línea de costa

Es importante hacer mención que este análisis que se lleva a cabo es de manera cuantitativa, de manera tal que los resultados ayudarán a medir el proceso de evolución de la línea de costa en el área de estudio conociendo los patrones de erosión/acreción.

Para poder realizar el análisis del cambio de la línea de costa, es necesario contar con los datos históricos de estas. Como primer paso se descargan las imágenes disponibles de la base de datos de Google Earth. Posteriormente, todas las imágenes fueron georreferenciadas bajo el mismo marco de referencia. Se utilizaron 4 puntos de control, los cuales son designados de manera que sean coincidentes en todas las imágenes, es decir, que los mismos puntos sean visibles en cada una de ellas.

El objetivo de georreferenciar las imágenes es el de asegurarse que los cambios que se cuantifican en la línea de costa entre los años de estudio reflejen variación real y no debido a diferencias en la alineación de las imágenes. Finalmente, las imágenes se pusieron bajo un mismo marco de referencia y debidamente alineadas para realizar la digitalización de la línea de costa.

La digitalización de la línea de costa se realizó tomando el criterio del límite la división de la zona húmeda/seca (Ruiz Beltran & Rioja-Nieto, 2017) y dibujadas con la ayuda de

herramientas de sistema de información global en este caso ArcGis (Figura 6-29).



Figura 6-29. Ejemplo de digitalización de línea de costa, tomando como criterio el límite de zona húmeda/seca

#### ANÁLISIS HISTÓRICO DE LA LÍNEA DE COSTA

Con las líneas digitalizadas se realizó un análisis de la evolución a través de la herramienta Digital Shoreline Analysis System (DSAS), (por sus siglas en inglés). Esta extensión, desarrollada por el Servicio geológico norteamericano (USGS), permite calcular mediante fórmulas matemáticas, parámetros que ayudan a determinar el estado evolutivo dentro del intervalo de tiempo estudiado.

DSAS calcula las tasas de cambio de la línea de costa en base a las diferencias medidas entre las posiciones de la línea costera asociadas con períodos de tiempo específicos. Para utilizar DSAS como primer paso, debe trazarse una línea base paralela a las líneas de costa digitalizadas. Seguidamente se trazan transectos perpendiculares a la línea base y estos cortarán a las líneas de costa disponibles, separados entre sí una distancia definida. Las intersecciones de los transectos con las líneas de costa se utilizan para cuantificar a lo largo de cada transecto la distancia entre la línea base y las posiciones de las diferentes líneas de costa en diferentes fechas.

Para fines de este estudio se analizó una extensión total de aproximadamente 1.0 km de

frente costero en los que se distribuyeron un total de 32 transectos separados a cada 25 metros entre sí. De igual manera en análisis se extiende más allá del frente costero de las inmediaciones del predio propiedad de Puerto Coral S.A. de C.V., esto con el fin de abarcar las playas aledañas y que son zona de influencia dentro de un ecosistema que funciona de manera conjunta como lo es una zona costera (Figura 6-30).

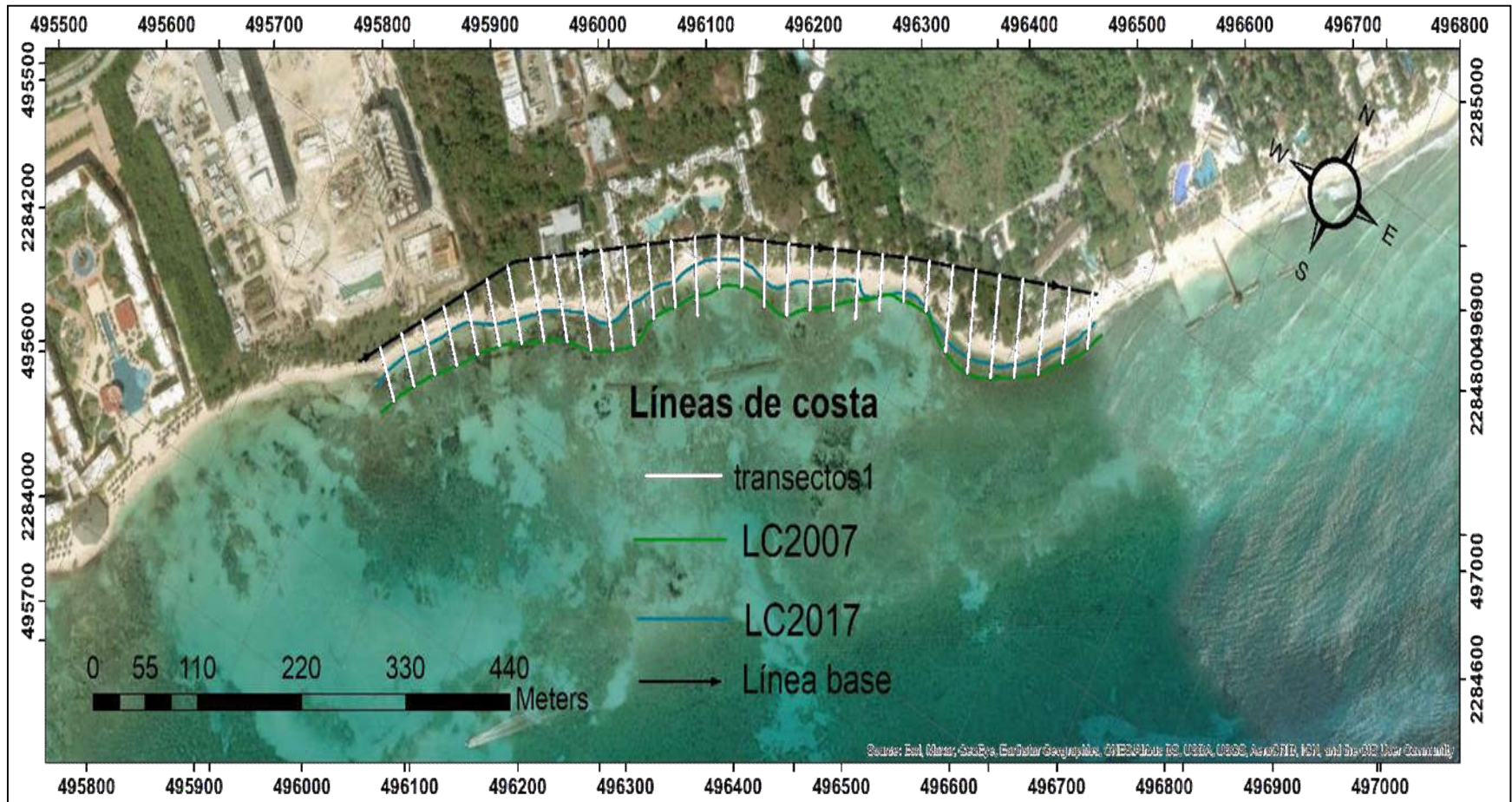


Figura 6-30. Esquema de elementos necesarios para realizar el análisis DSAS.

Los parámetros estadísticos utilizados para evaluar el cambio de la línea de costa en la zona de estudio para fines de este trabajo son:

- Movimiento Neto de la Costa NSM, (Net Shoreline Movement, por sus siglas en inglés) y
- La Tasa de Regresión Lineal LRR, (Lineal Regression Rate, por sus siglas en inglés).

La manera en cómo trabaja cada uno de estos estadísticos se describe a continuación.

#### MOVIMIENTO NETO DE LA COSTA (NSM)

Este estadístico calculado mediante el DSAS reporta la distancia en metros, que existe entre la línea de costa más reciente y la más antigua (Figura 6-31). De los valores obtenidos tras realizar los cálculos, los negativos corresponden a erosión (diminución del ancho de la playa) y valores positivos representan acreción (aumento en el ancho de la playa). Este análisis se realizará utilizando la línea de costa más antigua (2007) en comparación de la más reciente (2017).

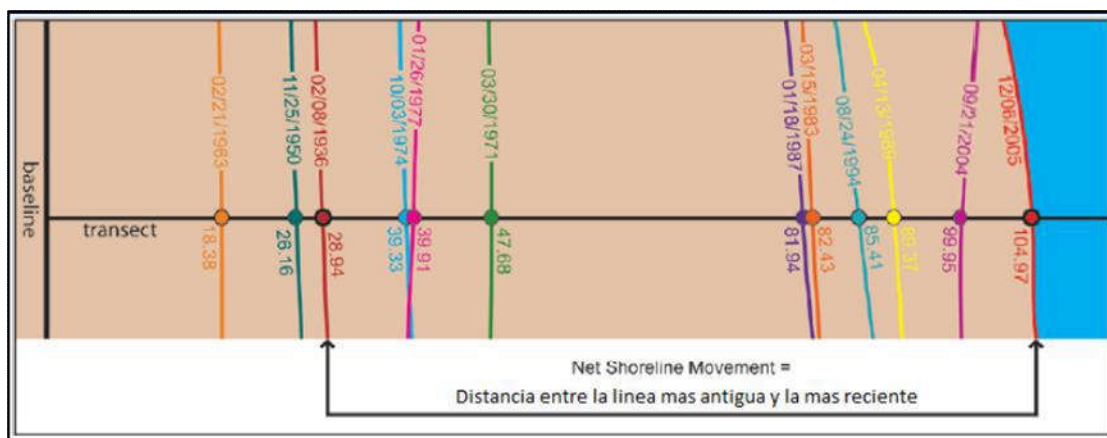


Figura 6-31. Ejemplo de NSM entre dos líneas de costa

#### TASA DE REGRESIÓN LINEAL (LRR)

Estadístico que reporta la tasa de cambio de la línea de costa utilizando los datos de todas las líneas de costa existentes y se calcula ajustando una línea de regresión de mínimos cuadrados a todos los puntos de la costa para un transecto particular donde la pendiente de la línea es la tasa de regresión lineal en metros/año (Figura 6-32). De igual forma valores negativos de la tasa de cambio indican que la playa se erosiona y valores positivos que la playa creció. Para este análisis se utilizarán las todas las líneas de costa obtenidas.

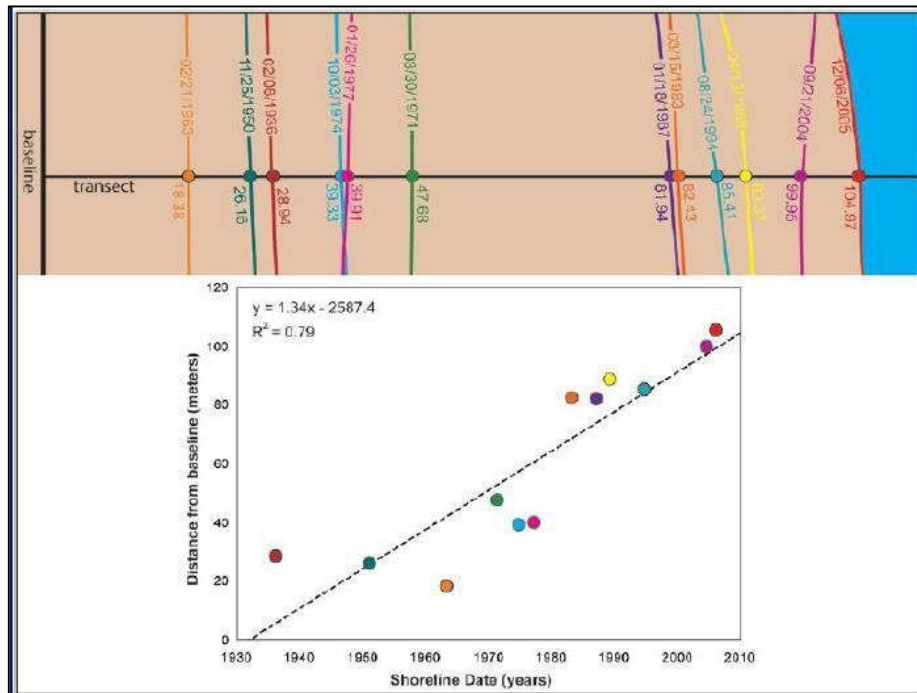


Figura 6-32. Ejemplo del cálculo de LRR entre un grupo de líneas de costa

## RESOLUCIÓN ESPACIOTEMPORAL

Para fines de este estudio, como ya se mencionó anteriormente la longitud del frente costero estudiado es de aproximadamente 1.0 km y las imágenes a partir de las cuales se obtuvieron líneas de costa más antigua y más recientes disponibles son del año 2007 y 2017 respectivamente, por lo tanto, la resolución espaciotemporal de este estudio de 1.0 km y de 10 años.

## RESULTADOS

**GEORREFERENCIACIÓN DE IMÁGENES HISTÓRICAS OBTENIDAS DE GOOGLE EARTH** Para fines de este proyecto, en la zona de estudio se encontraron siete imágenes históricas disponibles, las imágenes disponibles son de los años; 2007, 2010, 2014, 2016 y 2017. Todas ellas fueron georreferenciadas para evitar errores en la posición durante la digitalización de las líneas de costa (Figura 6-33).



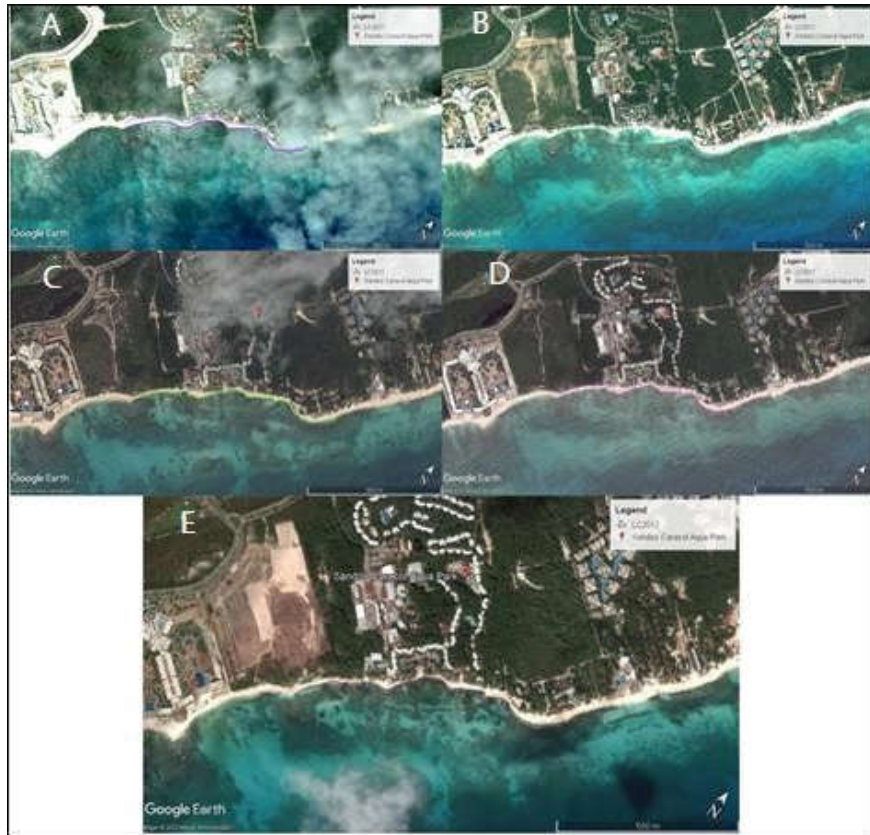


Figura 6-33. Imágenes históricas obtenidas del acervo bibliográfico de Google Earth

El proceso de digitalización de la línea de costa en los diferentes años demuestra que las playas adyacentes al complejo hotelero tienden a perder sedimentos y se encuentra bajo un proceso erosivo (Figura 6-34).

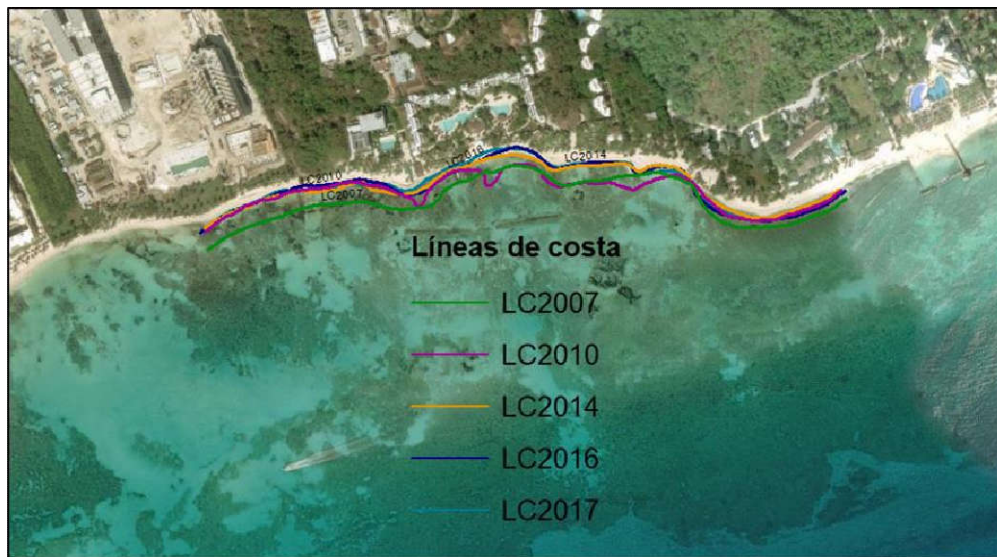


Figura 6-34. Líneas de costa digitalizadas

De acuerdo con el análisis NSM, 31 de los 32 transectos evaluados presentan valores

negativos, es decir, que se ha erosionado la playa. (Figura 6-35). En promedio, del año 2007 al año 2017 la línea de costa retrocedió un total de -19.22 m, el valor máximo de erosión observado es de -31.91 m en más del 90% del área evaluado durante los últimos 10 años.

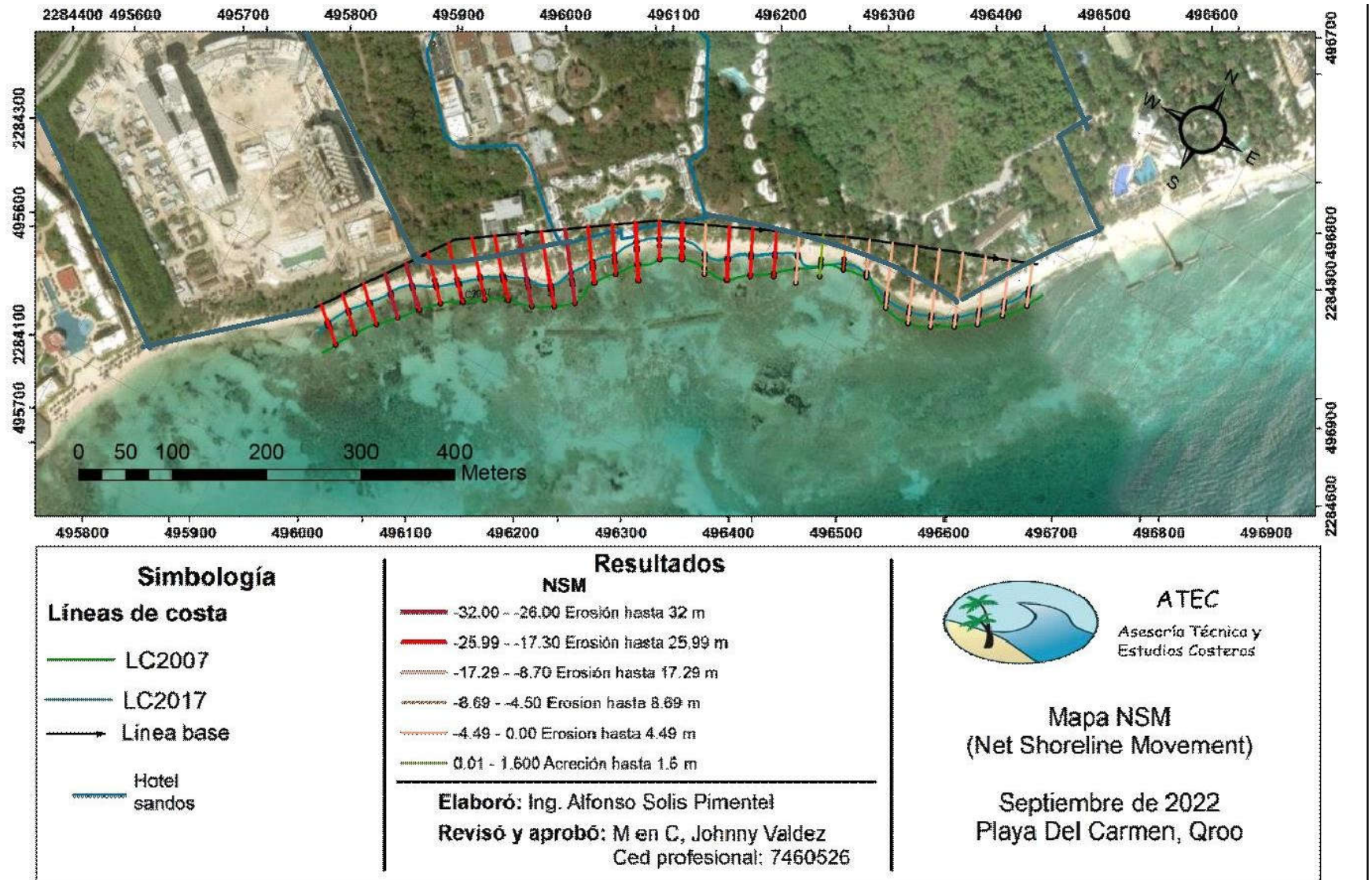


Figura 6-35. Mapa de Movimiento Neto de la Costa "NSM"

La Tasa de Regresión Lineal (LRR) nos muestra que la pérdida de sedimentos se dio en los 32 transectos evaluados con un valor promedio de la tasa de erosión calculado de -1.8 m/año y una máxima tasa de erosión observada de -3.12 m/año (Figura 6-36).

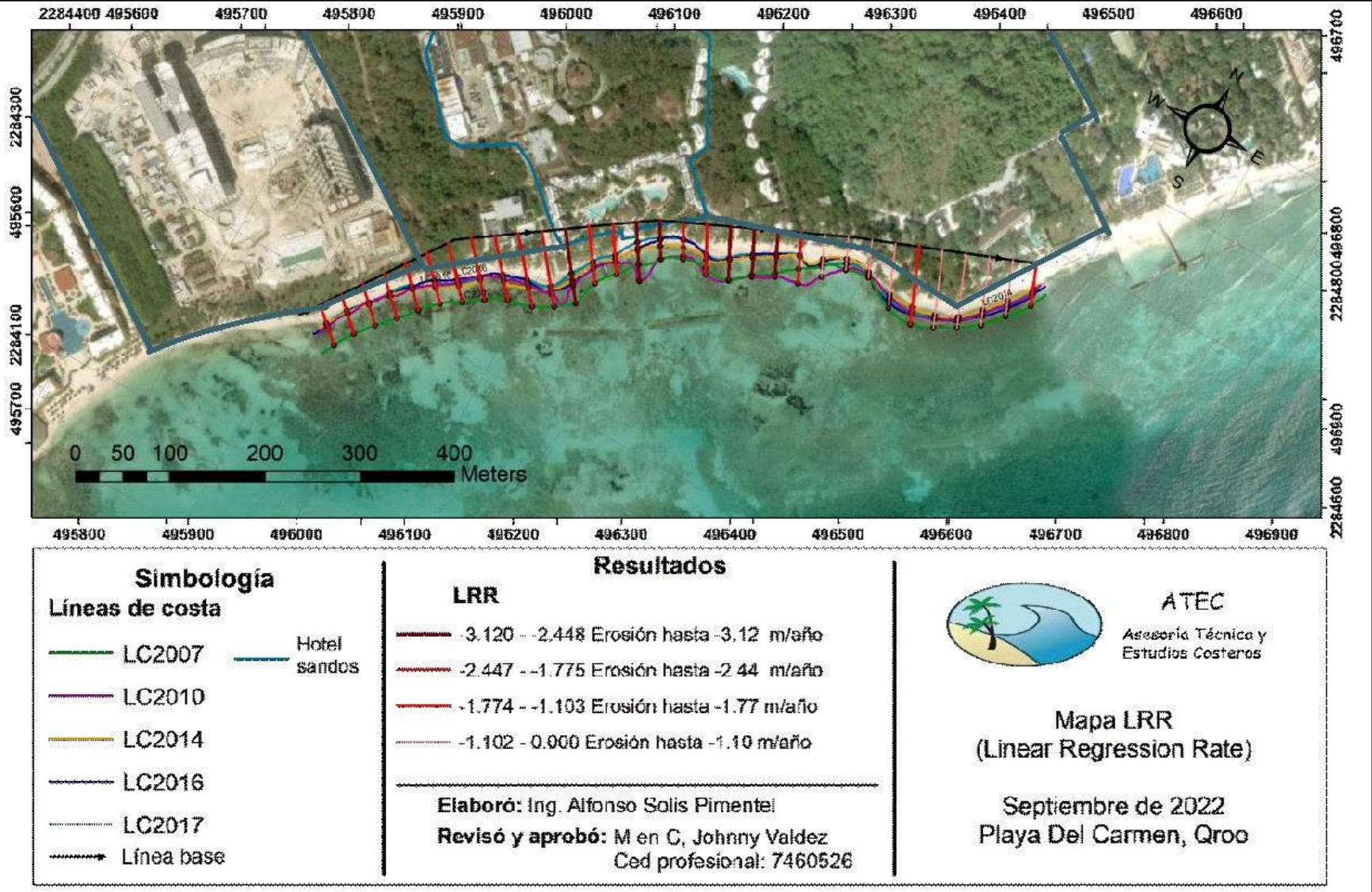


Figura 6-36. Mapa de Tasa de Regresión Lineal "LRR"

## CARACTERIZACIÓN DE CORRIENTES

Una vez establecido las principales variables que generan la hidrodinámica en la zona, se procede a realizar el modelo numérico que las incluye, este modelo combina una altura de ola (la más recurrente, para este caso ENE, con una altura de 0.99 m y un periodo de 7 s) y la variación del nivel de marea a lo largo del tiempo (tres componentes, N2, M2 y S2), esto nos permite calcular cuales son las corrientes y su dirección las cuales son las principales modificadoras del fondo batimétrico cercano a la costa.

Para la condición sin estructuras observamos una corriente débil sobre la costa, menor a los 0.30 m/s, la cual tiene una dirección preferencial que es función de la llenante (dirección hacia el SW) y vaciante (dirección NE) de la marea, aunque su magnitud cambia debido al oleaje.

Cercano a la Punta Esmeralda, durante la llenante las corrientes se vuelven más fuertes en esta zona (Figura 6-37), aunque se observa que las mayores corrientes están sobre el canal de Cozumel, el cual está a casi un kilómetro de distancia de la línea de costa, las velocidades son mayores a los 0.60 m/s. Durante la llenante la dirección preferencial de las corrientes es hacia el NW ((Figura 6-37), estas tienen una mayor magnitud debido a la dirección del oleaje en combinación con la marea. Las corrientes en la zona de estudio van de los 0.20-0.35m/s, se observan áreas de velocidades de 0.25 m/s frente a la zona de estudio, donde hay un cambio en la línea de costa, justo en medio la zona media del predio.

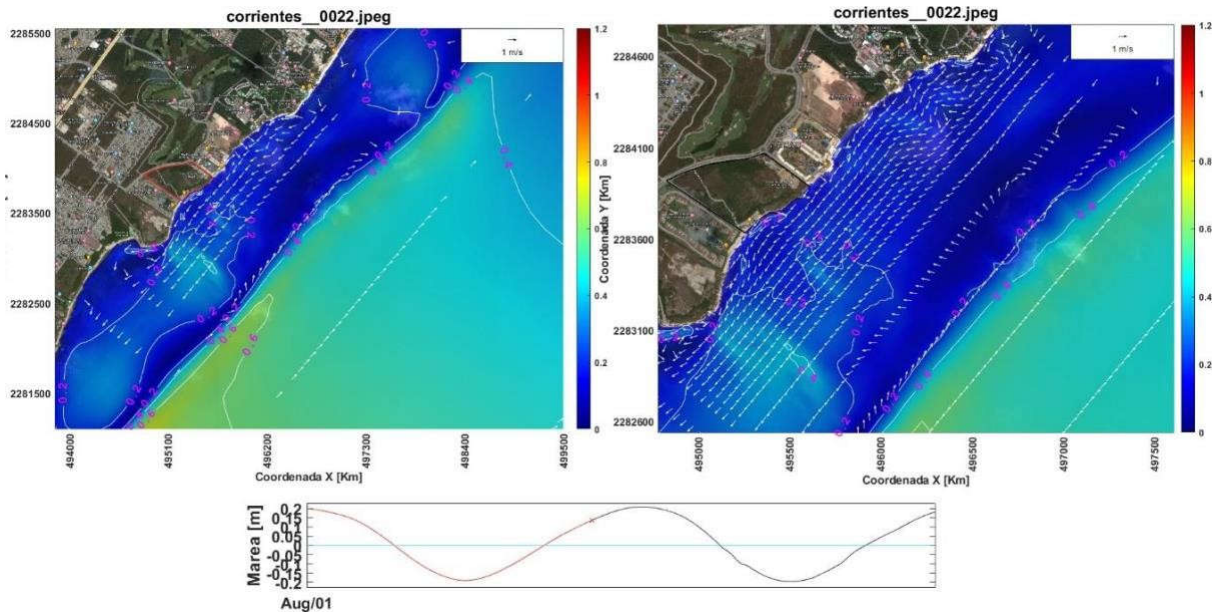


Figura 6-37. Corrientes generadas durante la llenante.

Durante la vaciante observamos que en el cambio de línea de costa en la zona media del predio hay corrientes de hasta 0.35 m/s, con los vectores observamos que esta concentración tiene una salida hacia el mar hacia el sur del predio (Figura 6-38).

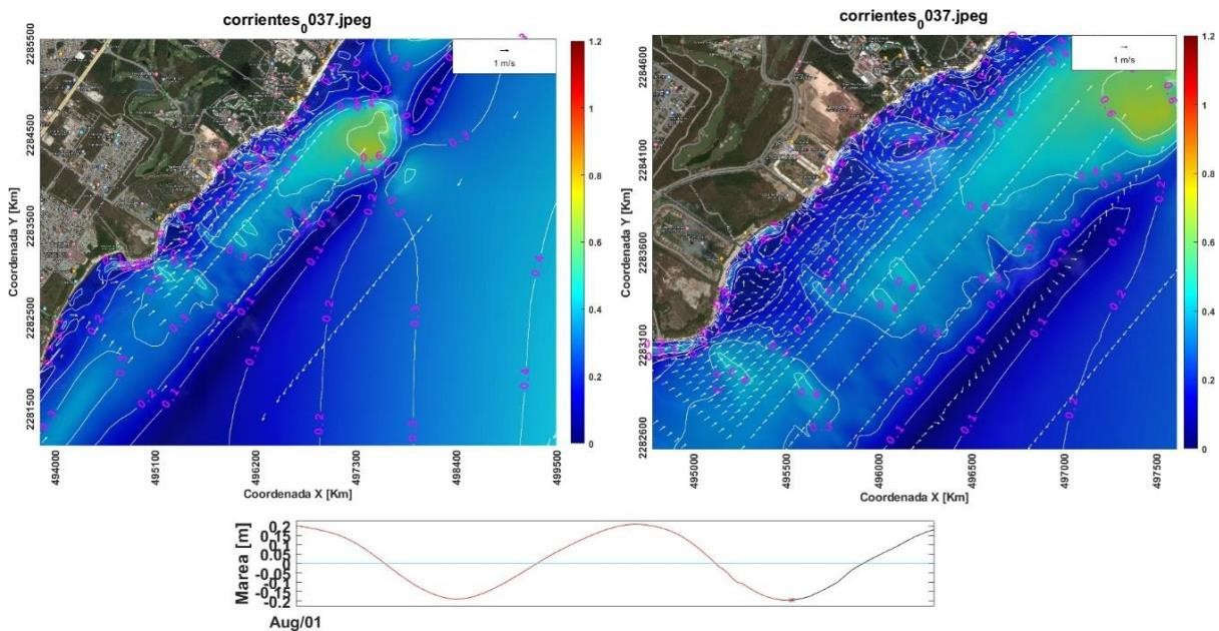


Figura 6-38. Corrientes generadas durante la vaciante.

## DISEÑO DE ROMPEOLAS SUMERGIDO

Los rompeolas son construcciones que protegen la infraestructura portuaria o la costa

misma de la influencia de las olas. Pueden ser construidos de piedras, hormigón o estacas de madera que sobresalen del agua.

Actualmente, los rompeolas sumergidos permeables representan una alternativa para la protección de costas, donde un cierto grado de trasmisión de energía del oleaje es aceptable, como sería en el caso de protección de playas turísticas (Ruiz y Flores, 2008).

La energía del oleaje puede ser disipada por diferentes procesos a causa de la interacción que existe entre las ondas con el fondo, provocando variaciones en la altura y dirección de propagación (Benassai, 2006; R. Dean & Dalrymple, 2004; Sorensen, 1993). Tomando esta premisa, Reef Beach, una división de Reef Ball Foundation, dedicada de manera exclusiva a la protección y restauración de la zona costera por medio de la construcción de arrecifes artificiales que cumplan la función de un rompeolas sumergido menciona en su página de internet: ocho de cada diez sitios evaluados no son aptos para utilizar estructuras Reef Ball y obtener resultados positivos. Esto se debe, generalmente a las variaciones extremas de marea, demasiada profundidad cerca de la costa, falta de transporte adecuado de arena o tipo de fondo inadecuado. Se hace énfasis en que la cresta de los arrecifes debe estar ubicada muy ligeramente por debajo de la línea de marea y a una distancia entre 10 y 100 metros de la costa para poder obtener resultados positivos. Si el área del proyecto tiene más de 3 metros de profundidad, Reef Beach no recomienda el uso de las estructuras debido a que la más alta solo alcanza 2.5 metros de altura.

La forma y el diseño de las Reef Ball, semiesférico con un agujero central interconectado con agujeros hacía el exterior, genera un efecto de remolino en el interior de la estructura que disipa la energía de las olas modificando, sin impedir, el paso de las corrientes (Figura 6-39). Esto tiene como consecuencia que los sedimentos puedan asentarse de manera natural en la línea de costa y, con el tiempo, incrementen el área de playa.

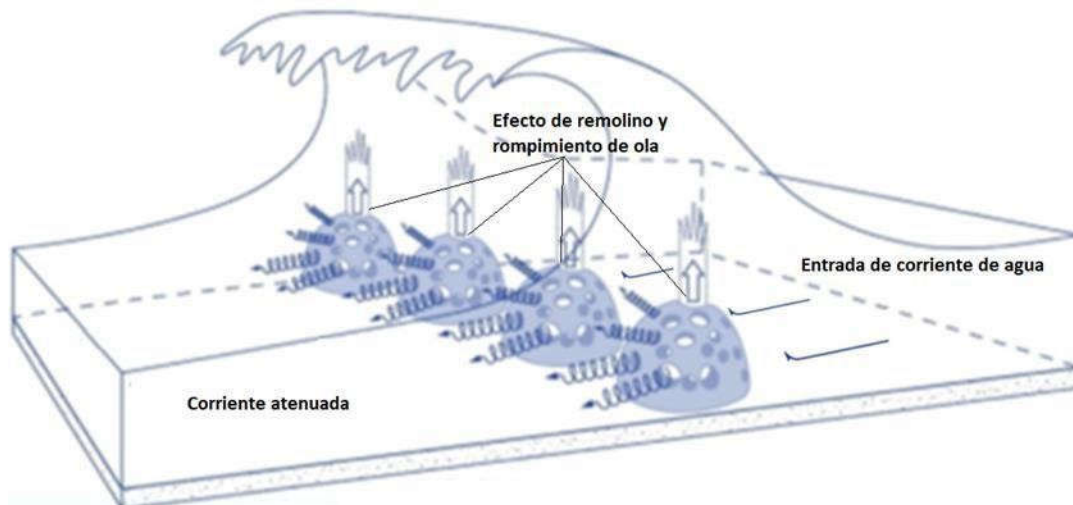


Figura 6-39. Esquema de disipación de energía de oleaje por efecto de Reef-Ball™

Con base en lo anterior, y en conjunto con el Ing. Javier Dajer Cross (Representante de Reef Ball en México), se realizó un diseño de rompeolas considerando estructuras Pallet Ball (Figura 6-40) ubicadas a una profundidad máxima de -1.5 metros.

## Pallet Ball



Figura 6-40. Características Pallet Ball™

Se pretende crear un rompeolas sumergido compuesto de 4 secciones de 50 metros de longitud aproximadamente. Cada sección estará conformada por 4 o 5 filas de 39 unidades pallet ball, con una separación entre secciones de 15 m. Las siguientes figuras muestran aspectos del diseño. En el 10.3 se incluyen los planos de detalle del proyecto.



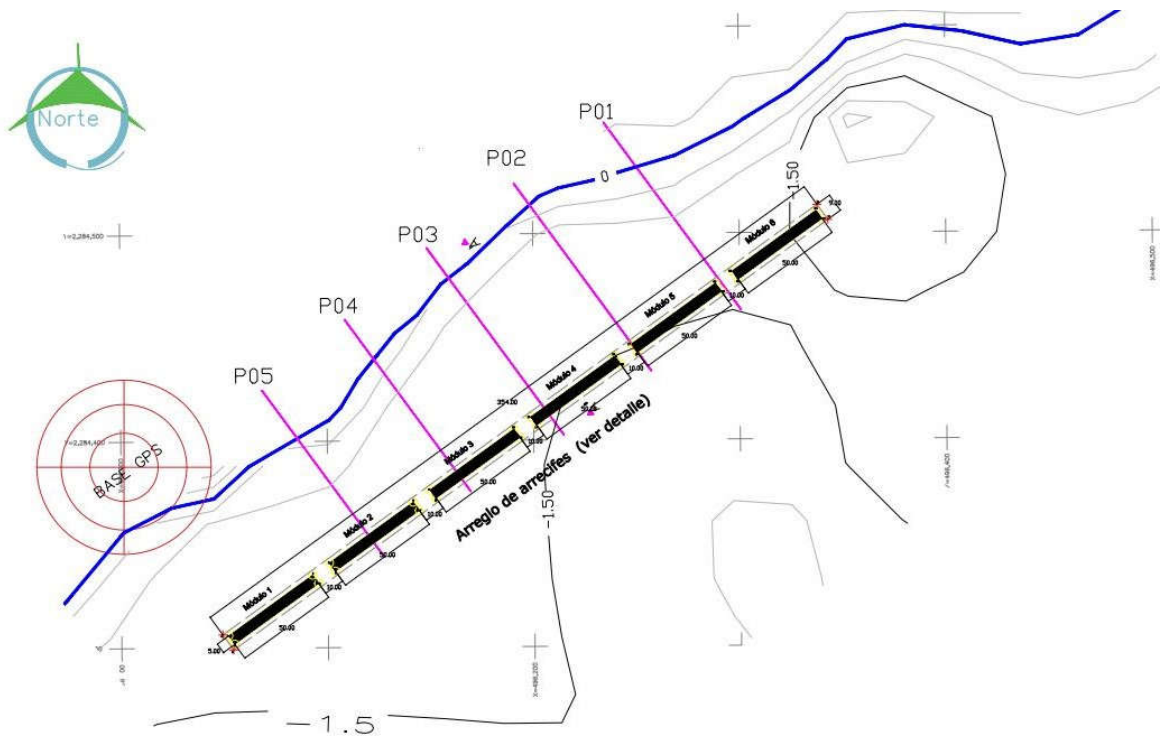
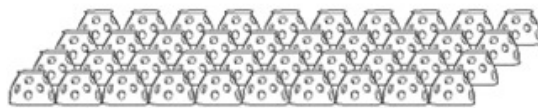


Figura 6-41. Planta general de ubicación de arrecifes artificiales

## TOTAL DE UNIDADES POR MÓDULO



4 FILAS DE 39 UNIDADES  
 TOTAL: 156 piezas  
 D=1.20m c/u  
 h=0.88m

Pallet Ball

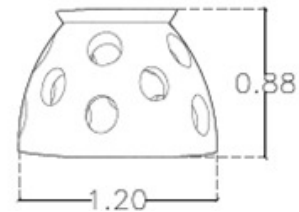


Figura 6-42. Detalle del arreglo de módulos de arrecifes artificiales.

## 7 CONCLUSIONES

Derivado de los estudios y análisis descritos a lo largo del documento se emiten las siguientes conclusiones:

- Los datos obtenidos en campo y complementados a través de los estudios de modelación numérica han generado resultados que ayudan a representar las condiciones morfológicas e hidrodinámicas actuales del sitio del proyecto.
- De la caracterización morfológica del sitio, es concluyente que el frente costero del complejo hotelero presenta zonas críticas de erosión, especialmente en el extremo

noreste, donde se observa escasa presencia de sedimentos (material arenoso), predominando roca caliza en la zona de playa.

- Los estadísticos calculados muestran que el 100% del frente costero de la zona de estudio se encuentra en una erosión crónica, de igual forma, los predios aledaños también presentan valores de erosión.
- Del análisis realizado con las imágenes históricas disponibles, se observa que la zona de estudio se encuentra en constante erosión.
- Además de las mencionadas, otra causa importante es debido a la ubicación geográfica de la zona de estudio, que es altamente vulnerable a los ciclones tropicales, agregando de esta forma una mayor complejidad al problema de la erosión costera.
- El estadístico que calcula el cambio entre la línea de costa más antigua y la línea más reciente disponible (NSM), arrojó datos que muestran que en promedio la playa se erosionó -18.57 m y alcanzó un valor máximo de erosión de -31.91 m.
- La tasa de erosión calculada con el estadístico de Tasa de Regresión Lineal (LRR), muestra una tendencia de que en promedio la playa en la zona de estudio se erosiona a razón de -1.80 m/año y alcanza valores máximos de hasta -3.12 m/año.
- Con la combinación entre los niveles de marea y la dirección preferencial anual del oleaje se han generados mapas de vectores con los cuales se observan los patrones de corrientes (dirección y magnitud). Los resultados indican que predominan las corrientes costeras en dirección SW, con velocidades que rondan los 0.25-0.35[m/s], siendo estas las que generan el movimiento de sedimento, y las cuales tienen salidas hacia el sur del predio, en punta Esmeralda. Por otro lado, se observa que durante eventos de oleaje normal (perpendicular a la costa) en condiciones de vaciante se presentan corrientes de hasta 0.35[m/s], con los vectores observamos que esta concentración tiene una salida hacia el mar adentro lo que sugiere el transporte

de sedimento “costa afuera”.

Del análisis anterior se infiere que la celda litoral objeto del proyecto tiene muy poco movimiento de arena, pues por un lado carece de aportes externos de sedimento (deriva litoral) y es vulnerable a las retenciones de arrastre de sedimentos en el extremo NE.

Así pues, se concluye que para la estabilización del tramo costero en cuestión se requerirían intervenciones suaves que retengan arena sin eliminar por completo su movimiento natural hacia el SW, en este tenor, como alternativa de intervención se recomiendan estructuras permeables de baja coronación, que disipen la energía del oleaje incidente a la costa; como lo es el arrecife artificial, que fue propuesto en el presente documento, la expectativa de la recuperación de la playa, se espera suceda después del primer año de la operación del Arrecife Artificial.

## 8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Appendini, C. M., Salles, P., Tonatiuh Mendoza, E., López, J., & Torres-Freyermuth, A. (2012). Longshore Sediment Transport on the Northern Coast of the Yucatan Peninsula. *Journal of Coastal Research*, 1404–1417. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-11-00162.1>

Barbariol, F., Davison, S., Falcieri, F., Marcello, Ferretti, R., Ricchi, A., Sclavo, M., & Benetazzo, A. (2021). Wind Waves in the Mediterranean Sea: An ERA5 Reanalysis Wind-Based Climatology FULL TEXT Introduction. In *Frontiers in Marine Science*.

Basrak, B. (2011). Fisher-Tippett Theorem. In M. Lovric (Ed.), *International Encyclopedia of Statistical Science* (pp. 525–526). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-04898-2\\_254](https://doi.org/10.1007/978-3-642-04898-2_254)

Bouchahma, M., Yan, W., & Ouessar, M. (2012). Island Coastline Change Detection Based on Image Processing and Remote Sensing. *Computer and Information Science*, 5(3). <https://doi.org/10.5539/cis.v5n3p27>

Callaghan, K., Engelbrecht, J., & Kemp, J. (2015). The Use of Landsat and Aerial Photography for the Assessment of Coastal Erosion and Erosion Susceptibility in False Bay, South Africa.

South African Journal of Geomatics, 4(2), 65–79. <https://doi.org/10.4314/sajg.v4i2.1>

*Classification of Soils for Engineering Purposes: Annual Book of ASTM Standards*, D 2487-83, 04.08, American Society for Testing and Materials, 1985, pp. 395-408. Evett, Jack and Cheng Liu (2007), *Soils and Foundations* (7 edición), Prentice Hall, pp. TBD, [ISBN0132221381](https://doi.org/10.1002/9781118132222).

Deltares. (2014a). Delft3D FLOW Hydro-Morphodynamics User Manual (D. Systems (ed.)). [https://oss.deltares.nl/documents/183920/185723/Delft3D-FLOW\\_User\\_Manual.pdf](https://oss.deltares.nl/documents/183920/185723/Delft3D-FLOW_User_Manual.pdf)

Deltares. (2014b). WAVE. Delft3D Modeling Suite, 1–226.

Di, K., Ma, R., Wang, J., & Li, R. (2014). Coastal Mapping and Change Detection Using January 2003.

Di, Kaichang, Ma, R., Wang, J., & Li, R. (2003). Coastal Mapping and Change Detection Using High-Resolution IKONOS Satellite Imagery. Proceedings of the 2003 Annual National Conference on Digital Government Research, 1–4.

Dirección General de Puertos CGP y MM (SCT). (2001). Manual de Dimensionamiento Portuario. <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/CGPMM/PNDP2008/doc/mdi/dcap03.pdf>

Egbert, G. D., & Erofeeva, S. Y. (2002). Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 19(2), 183–204. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2002\)019<0183: EIMOBO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2002)019<0183: EIMOBO>2.0.CO;2)

Egbert, G. D., Bennett, A. F., & Foreman, M. G. G. (1994). TOPEX/POSEIDON tides estimated using a global inverse model. *Journal of Geophysical Research*, 99(C12). <https://doi.org/10.1029/94jc01894>

Enríquez, C., Mariño-Tapia, I. J., & Herrera-Silveira, J. A. (2010). Dispersion in the Yucatan coastal zone: Implications for red tide events. *Continental Shelf Research*, 30(2), 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2009.10.005>

François THOMAS, Y., Nicolae-Lerma, A., & Posada, B. O. (2012). Atlas climatológico del Mar Caribe Colombiano. In Serie de Publicaciones especiales (Issue 25).

González, Orlando, & Millán, Zuly. (2016). Granulometría de los sedimentos fluviales del

canal principal y llanura aluvial del río Portuguesa, Venezuela. *Revista de Investigación*, 40(87), 122-147. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1010-29142016000100007&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142016000100007&lng=es&tlng=es).

Hasselmann, K., Barnett, T. P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D. E., Eake, K., Euring, J. A., Gignapp, A., Hasselmann, D. E., Kruseman, P., Meerburg, A., Mullen, P., Olbers, D. J., Richren, K., Sell, W., & Walden, H. (1973). Measurements of wind-wave growth and swell decay during the joint North Sea wave project (JONSWAP). July 2015.

Índice Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. 2015. Publicado por el Centro de Análisis para la Investigación en Innovación (CAIINNO) septiembre 2016. Disponible en: <http://www.caiinno.org/wp-content/uploads/2016/01/INCTICAIINNO2015.pdf>

Lesser, G. R., Roelvink, J. A., van Kester, J. A. T. M., & Stelling, G. S. (2004). Development and validation of a three-dimensional morphological model. *Coastal Engineering*, 51(8–9), 883–915. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2004.07.014>

Li, X., & Damen, M. C. J. (2010). Coastline change detection with satellite remote sensing for environmental management of the Pearl River Estuary, China. *Journal of Marine Systems*, 82(SUPPL.), S54–S61. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2010.02.005>

Lira-Pantoja, M. A., Torres-Freyermuth, A., Appendini, C. M., Fernández, D., Salles, P., Mendoza, E. T., López, J., & Pedrozo-Acuña, A. (2012). Chronic beach erosion induced by coastal structures in Chelem, Yucatán. *Proceedings of the Coastal Engineering Conference*, June. <https://doi.org/10.9753/icce.v33.sediment.125>

Lukens, K. E., & Berbery, E. H. (2019). Winter storm tracks and related weather in the NCEP climate forecast system weeks 3-4 reforecasts for North America. *Weather and Forecasting*, 34(3), 751–772. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-18-0113.1>

Markina, M., Gavrikov, A., Gulev, S., & Barnier, B. (2018). Developing configuration of WRF model for long-term high-resolution wind wave hindcast over the North Atlantic with WAVEWATCH III. *Ocean Dynamics*, 68(11), 1593–1604. <https://doi.org/10.1007/s10236-018-1215-z>

Medellín, G., Torres-Freyermuth, A., Tomasicchio, G. R., Francone, A., Tereszkievicz, P. A., Lusito, L., Palemón-Arcos, L., & López, J. (2018). Field and numerical study of resistance and resilience on a sea breeze dominated beach in Yucatan (Mexico). *Water (Switzerland)*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/w10121806>

Modesto, O. F., & Ernesto, A. V. (2015). Software MARV 1.0, Tidal Prediction in Mexico. Available at: <http://predmar.cicese.mx/>. CICESE. <http://predmar.cicese.mx/>

Montoya-Ramírez, R. D., & Osorio-Arias, A. (2007). Los Modelos De Generación De Oleaje De Viento: Características, Evolución Y Futuras Aplicaciones En Colombia. *Avances En Recursos Hidráulicos*, 15, 47–74.

Pawlowicz, R., Beardsley, B., & Lentz, S. (2002). Classical tidal harmonic analysis including werror estimates in MATLAB using T\_TIDE. *Computers and Geosciences*, 28(8), 929–937. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(02\)00013-4](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(02)00013-4)

Roberto Ruiz, J., Z. Flores & L. Frago Sandoval. (2013). Reflexión del oleaje en rompeolas superficiales permeables a talud. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 34(2), 27-40. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1680-03382013000200003&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382013000200003&lng=es&tlng=es)

Roelvink, D., & Reniers, A. (2012). A guide to modeling coastal morphology. In *Advances in Coastal and Ocean Engineering*. <https://doi.org/10.1142/9789814304269>

Ruiz Beltrán, A. P., & Rioja-Nieto, R. (2017). VARIACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA DEL NOROESTE DE YUCATÁN EN EL PERIODO 2004-2014. February.

Ruiz, G., Mendoza, E., Silva, R., Posada, G., Dulce, P., Escalante, E., & Ruiz, F. (2009). Caracterización Del Regimen De Oleaje Y Viento De 1948-2007 En El Litoral Mexicano. 16(1).

Ruiz-Martínez, G., Mariño-Tapia, I., Baldwin, E. G. M., Casarín, R. S., & Ortiz, C. E. E. (2016). Identifying Coastal Defence Schemes through Morphodynamic Numerical Simulations along the Northern Coast of Yucatan, Mexico. *Journal of Coastal Research*, 319(3), 651–669. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-15-00009.1>

Ruiz-Martínez, Gabriel, Silva-Casarín, Rodolfo, & Posada-Vanegas, Gregorio. (2013). Comparación morfodinámica de la costa noroeste del estado de Quintana Roo, México.

*Tecnología y ciencias del agua*, 4(3), 47-65. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222013000300003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000300003&lng=es&tlng=es).

SEDETUR. 2021. ¿Cómo vamos en turismo? Febrero 2020-febrero 2021. <https://sedeturqroo.gob.mx/ARCHIVOS/COMO%20VAMOS%20FEBRERO%202021%20.pdf>

Stopa, J. E., Cheung, K. F., Tolman, H. L., & Chawla, A. (2013). Patterns and cycles in the Climate Forecast System Reanalysis wind and wave data. *Ocean Modelling*, 70, 207–220. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2012.10.005>

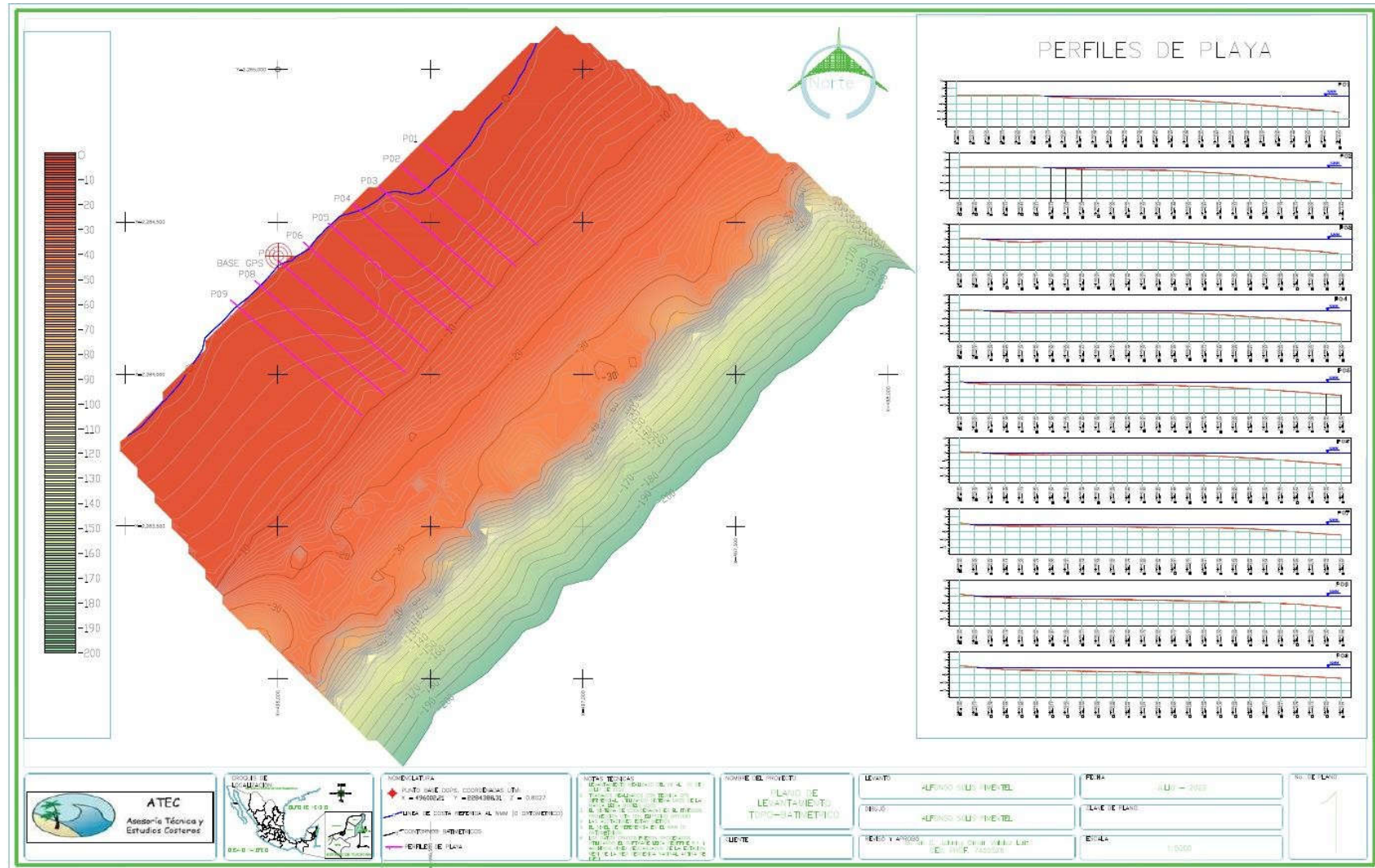
Torres Rodríguez, V., Márquez García, A., Bolongaro Crevenna, A., Chavarría Hernández, J., Expósito Díaz, G., & Márquez García, E. (2010). Tasa de erosión y vulnerabilidad costera en el estado de Campeche debidos a efectos del cambio climático. *Vulnerabilidad de Las Zonas Costeras Mexicanas Ante El Cambio Climático*, 325–344. [http://www.anide.edu.mx/archivos/CAP15\\_Tasa\\_erosion\\_Costera\\_Campeche.pdf](http://www.anide.edu.mx/archivos/CAP15_Tasa_erosion_Costera_Campeche.pdf)

Wright, L. D., Coleman, J. M., of Naval Research. Geography Programs, U. S. O., & Louisiana State University (Baton Rouge, L.). C. S. I. (1973). Variations in Morphology of Major River Deltas as Functions of Ocean Wave and River Discharge Regimes. Coastal Studies Institute, Center for Wetland Resources, Louisiana State Univ. <https://books.google.com.mx/books?id=4VthHQAACAAJ>

## 9 ANEXOS








# PLANO DEL LEVANTAMIENTO TOPOBATIMÉTRICO





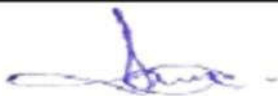


# REPORTES DE RESULTADOS ESTUDIO GRANULOMÉTRICO






Muestra 1

	<b>SUPERVISION Y CONTROL DE OBRA</b> <b>S.A DE C.V.</b>				
<b>CONTROL DE CALIDAD DE BASE HIDRAÚLICA</b> <b>(N-CMT-4-02-002/16).</b>					
CLIENTE:	ATEC.	REGISTRO No.:	SUC-3655 - 3658		
UBICACIÓN:	Playa del Carmen	FECHA DE RECIBO:	13-jul-22		
		FECHA DE INFORME:	16-jul-22		
DATOS	MATERIAL PARA ESTUDIO DE:		ARENA DE MAR DRAGADO (D-50) MUESTRA # 1		
	DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DEL MATERIAL:		ARENA DE MAR DRAGADO		
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO:		TOMADO EN OBRA		
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO:		REMOCION Y EXTRACCION		
P.E.S.S. KG/M3		1127 KG/M3			
P.E.S MAX. KG/M3		-			
HUMEDAD OP. %		-			
P.E. LUG. KG/M3		-			
HUMED LUAR %		28.0%			
GRANULOMETRIA	MALLA	% RETENIDO			
	EN 50.0	% QUE PASA			
	60.000	100			
	37.600	1 1/2"	100		
	25.000	1"	100		
	18.000	3/4"	100		
	8.500	3/8"	100		
	4.750	No. 4	100		
	2.000	No. 8	100		
	0.850	No. 18	100		
	0.425	No. 30	88		
	0.250	No. 60	80		
0.150	No. 100	10			
0.075	No. 200	0			
					
C.B.R. , %		-	5 min	PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MALLA Núm. 8.5	
EXPANSIÓN, %		-	-	ABSORCION %	
EQUIVALENTE DE ARENA, %		-	40 min	DENSIDAD DE SÓLIDOS	
DESGASTE LOS ANGELES, %		-	35 máx	DURABILIDAD	
PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA Núm. 0.425					
LIMITE LIQUIDO %		-	25 máx	EQUIV. HUM. DE CAMPO %	
LIMITE PLASTICO %		-	-	CONTRACCION LINEAL %	
INDICE PLASTICO %		-	8 máx	CLASIFICACION SUCS	
PARTICULAS LAJEADAS %		-	40 máx	PARTICULAS ALARGADAS %	
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES:					
GRAVA =		0%			
ARENA =		100%			
FINOS =		0%			
Proporción:		100%			
EL AGREGADO MUESTREADO CORRESPONDE A UNA ARENA ORGANICO LIMO, MAL GRADUADO CORRESPONDE A UN (D-57) LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y MECANICAS, SE REPRESENTA MAS DETALLADO EN ESTA GRAFICA DE LA BASE HIDRAULICA PARA EL CONOCIMIENTO DEL PROYECTO.					
	Coordinador De laboratorio:		Gerencia tecnica:		
					
	ING. EDILBERTO CRUZ R.		ING. NEWTON A. VALES C.		
		Código:FR50-PR14		Revisión: 01	
				Fecha: 05/01/2021	
				Area 04 Terraceria	

Muestra 2

		<b>SUPERVISION Y CONTROL DE OBRA S.A DE C.V.</b>		
<b>CONTROL DE CALIDAD DE BASE HIDRAULICA (N-CMT-4-02-002/16).</b>				
<b>CLIENTE:</b> ATEC.		<b>REGISTRO No.:</b> SUC-3659 - 3660		
<b>OBRA:</b>		<b>FECHA DE RECIBO:</b> 13-jul-22		
<b>UBICACIÓN:</b> Playa del Carmen		<b>FECHA DE INFORME:</b> 16-jul-22		
<b>D A T O S</b>	<b>MATERIAL PARA ESTUDIO DE:</b> ARENA DE MAR DRAGADO (D-50) MUESTRA # 2			
	<b>DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL MATERIAL:</b> ARENA DE MAR DRAGADO			
	<b>CLASE DE DEPÓSITO MUESTREADO:</b> TOMADO EN OBRA			
	<b>TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO:</b> REMOCION Y EXTRACCION			
<b>P.E.S.S. KG/M3</b>	<b>1127 KG/M3</b>			
<b>P.E.S.MAX. KG/M3</b>				
<b>HUMEDAD OP. %</b>				
<b>P.E. LUG. KG/M3</b>				
<b>HUMED LUGAR %</b>	<b>36.6%</b>			
<b>G R A N U L O M E T R I A</b>	<b>MALLA</b>	<b>% RETENIDO</b>		
	<b>EN 50.0</b>	<b>% QUE PASA</b>		
<b>DESIGNACION DE LA MALLA</b>				
				
<b>ABERTURA DE LA MALLA</b>				
<b>C.B.R. %</b>		<b>6 min</b>	<b>PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MALLA Núm. 8.5</b>	
<b>EXPANSIÓN, %</b>			<b>ABSORCION %</b>	
<b>EQUIVALENTE DE ARENA, %</b>		<b>40 min</b>	<b>DENSIDAD DE SÓLIDOS</b>	
<b>DESGASTE LOS ANGELES, %</b>		<b>35 máx</b>	<b>DURABILIDAD</b>	
<b>PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA Núm. 0.425</b>				
<b>LIMITE LIQUIDO %</b>		<b>25 máx</b>	<b>EGUIV. HUM. DE CAMPO %</b>	
<b>LIMITE PLASTICO %</b>			<b>CONTRACCION LINEAL %</b>	
<b>INDICE PLASTICO %</b>		<b>6 máx</b>	<b>CLASIFICACION SUCS</b>	
<b>PARTICULAS LAJEADAS %</b>		<b>40 máx</b>	<b>PARTICULAS ALARGADAS %</b>	
<b>OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES:</b>				
<b>GRAVA =</b>	<b>0%</b>	EL AGREGADO MUESTREADO CORRESPONDE A UNA ARENA ORGANICO LIMO, MAL GRADUADO CORRESPONDE A UN (D-5) LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y MECANICAS, SE REPRESENTA MAS DETALLADO EN ESTA GRAFICA DE LA BASE HIDRAULICA PARA EL CONOCIMIENTO DEL PROYECTO.		
<b>ARENA =</b>	<b>93%</b>			
<b>FINOS =</b>	<b>7%</b>			
<b>Proporcion:</b>	<b>100%</b>			
	<b>Coordinador De laboratorio:</b>	<b>Gerencia tecnica:</b>	<b>Código:FR50-PR14</b>	
			<b>Revision: 01</b>	
	<b>ING. EDILBERTO CRUZ R.</b>	<b>ING. NEWTON A. VALES C.</b>	<b>Fecha: 05/01/2021</b>	
			<b>Area 04 Terraceria</b>	

Muestra 3

		<b>SUPERVISION Y CONTROL DE OBRA</b> <b>S.A DE C.V.</b>		
<b>CONTROL DE CALIDAD DE BASE HIDRAULICA</b> <b>(N-CMT-4-02-002/16).</b>				
CLIENTE: <b>ATEC.</b>		REGISTRO No.: <b>SUC-3661 - 3662</b>		
UBICACIÓN: <b>Playa del Carmen</b>		FECHA DE RECIBO: <b>13-jul-22</b>		
		FECHA DE INFORME: <b>16-jul-22</b>		
<b>D A T O S</b>	MATERIAL PARA ESTUDIO DE: <b>ARENA DE MAR DRAGADO (D-50) MUESTRA # 3</b>			
	DESCRIPCION PETROGRAFICA DEL MATERIAL: <b>ARENA DE MAR DRAGADO</b>			
	CLASE DE DEPOSITO MUESTREADO: <b>TOMADO EN OBRA</b>			
	TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO: <b>REMOCION Y EXTRACCION</b>			
P.E.S.S. KG/M3: <b>1117 KG/M3</b>				
P.E.S. MAX. KG/M3: <b>-</b>				
HUMEDAD OP. %: <b>-</b>				
P.E. LUG. KG/M3: <b>-</b>				
HUMED LUGAR %: <b>28.3%</b>				
<b>G R A N U L O M E T R I A</b>	MALLA: <b>% RETENIDO</b>			
	EN 50.0: <b>% QUE PASA</b>			
	60.000		100	
	37.600	1 1/2"	100	
	25.000	1"	100	
	18.000	3/4"	100	
	8.600	3/8"	100	
	4.750	No. 4	100	
	2.000	No. 8	100	
	0.850	No. 18	99	
	0.425	No. 30	90	
0.250	No. 60	13		
0.150	No. 100	4		
0.075	No. 200	1		
C.B.R. %: <b>-</b>		6 min	PRUEBAS EN MAT. MAYOR QUE LA MALLA Núm. 9.6	
EXPANSIÓN, %: <b>-</b>		-	ABSORCIÓN %: <b>-</b>	
EQUIVALENTE DE ARENA, %: <b>-</b>		40 min	DENSIDAD DE SÓLIDOS: <b>-</b>	
DESGASTE LOS ANGELES, %: <b>-</b>		36 máx	DURABILIDAD: <b>-</b>	
<b>PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR LA MALLA Núm. 0.425</b>				
LIMITE LIQUIDO %: <b>-</b>		26 máx	EQUIV. HUM. DE CAMPO %: <b>N/A.</b>	
LIMITE PLASTICO %: <b>-</b>		-	CONTRACCION LINEAL %: <b>N/A.</b>	
INDICE PLASTICO %: <b>-</b>		6 máx	CLASIFICACION SUCS: <b>SW - SP.</b>	
PARTICULAS LAJEADAS %: <b>-</b>		40 máx	PARTICULAS ALARGADAS %: <b>N/A.</b>	
<b>OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES:</b>				
GRAVA = <b>0%</b>		EL AGREGADO MUESTREADO CORRESPONDE A UNA ARENA ORGANICO LIMO, MAL GRADUADO CORRESPONDE A UN (D-13) LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y MECANICAS, SE REPRESENTA MAS DETALLADO EN ESTA GRAFICA DE LA BASE HIDRAULICA PARA EL CONOCIMIENTO DEL PROYECTO.		
ARENA = <b>99%</b>				
FINOS = <b>1%</b>				
Proporción: <b>100%</b>				
	Coordinador De laboratorio:		Gerencia tecnica:	
				
	<b>ING. EDILBERTO CRUZ R.</b>		<b>ING. NEWTON A. VALES C.</b>	
		Código:FR50-PR14	Revision: 01	
		Fecha: 05/01/2021	Area 04 Terraceria	

