MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

EL CONTENIDO DE ESTE ARCHIVO NO PODRÁ SER ALTERADO O MODIFICADO TOTAL O PARCIALMENTE, TODA VEZ QUE PUEDE CONSTITUIR EL DELITO DE FALSIFICACIÓN DE DOCUMENTOS DE CONFORMIDAD CON EL ARTÍCULO 244, FRACCIÓN III DEL CÓDIGO PENAL FEDERAL, QUE PUEDE DAR LUGAR A UNA SANCIÓN DE **PENA PRIVATIVA DE LA LIBERTAD** DE SEIS MESES A CINCO AÑOS Y DE CIENTO OCHENTA A TRESCIENTOS SESENTA DÍAS MULTA.

DIRECION GENERAL DE
IMPACTO Y RIESGO
AMBIENTAL

CAPÍTULO I.

DATOS GENERALES DEL PROYECTO, DEL PROMOVENTE, DEL RESPONSABLE DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. DATOS GENERALES DEL PROYECTO, DEL PROMOVENTE, DEL RESPONSABLE DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 7

I.1 DATOS GENERALES DEL PROYECTO 7

I.1.1 Nombre del Proyecto 7

I.2 DATOS DEL PROMOVENTE 7

I.2.1 Nombre o Razón Social 7

I.2.2 Registro Federal del contribuyente 7

I.2.3 Nombre y cargo del Representante Legal 7

I.2.4 Dirección del Promovente para oír y recibir notificaciones 8

I.3 DATOS DEL RESPONSABLE DE LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL 8

I.3.1 Empresa o Razón Social 8

I.3.2 Técnico responsable de la Elaboración de Impacto Ambiental 8

I.3.3 Dirección del Responsable Técnico del Estudio 9

I.4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 9

I.4.1 Información general del Proyecto 9

I.4.2 Naturaleza del Proyecto 12

I.4.3 Justificación 14

I.4.4 Ubicación del Proyecto 16

I.4.5 Especificaciones técnicas de obra 36

I.4.6 Superficies generales del Proyecto 45

1.4.7 Indicar los tipos de obras o actividades del Proyecto conforme al artículo 5 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental 46

I.4.8 Inversión requerida 47

I.4.9 Características particulares del Proyecto 50

I.4.9.1 Etapa 1. Barreras de contención 51

I.4.9.2 Etapa 2. Barreras rompeolas 52

I.4.9.3 Etapa 3. Vertido controlado de arena 54

I.4.9.4 Dunas artificiales 54

I.4.9.5 Revegetación de las dunas artificiales 56

I.4.9.6 Sistema de riego para el establecimiento vegetal 57
I.4.9.7 Pasos de duna 58
I.4.10 Alternativas de construcción del Proyecto 60
I.4.11 Programa de trabajo 62
I.4.12 Ubicación, descripción de obras y actividades provisionales y asociadas 68
I.4.12.1 Bodega provisional para la recepción y resguardo de materiales 68
I.4.12.2 Equipo temporal de bombeo y conducción 69
I.4.12.3 Celdas temporales de vertido 70
I.4.12.4 Señalización y delimitación de las áreas de trabajo 70
I.4.12.5 Áreas temporales para el manejo de residuos sólidos urbanos 70
I.4.12.6 Manejo temporal de combustibles e insumos 71
I.4.12.7 Servicios sanitarios para el personal 71
I.4.12.8 Retiro de las obras e instalaciones provisionales 72
I.4.13 Descripción de los servicios requeridos 72
I.4.14 Preparación de Sitio y Construcción 76
I.4.14.1 Preparación del sitio 76
I.4.14.2 Construcción 82
I.4.15 Operación y mantenimiento 91
I.4.17.1 Mantenimiento de los geotubos 92
I.4.17.2 Mantenimiento del perfil arenoso 93
I.4.17.3 Mantenimiento de las dunas y la revegetación 93
I.4.17.4 Mantenimiento de los pasos de duna 93
I.4.17.5 Monitoreo posterior a eventos extraordinarios 94
I.4.16 Abandono del sitio 94
I.4.17 Residuos 94
I.4.17.1 Residuos sólidos urbanos 97
I.4.17.2 Prevención de residuos de manejo especial 97
I.4.17.3 Prevención de residuos peligrosos 98
I.4.17.4 Emisiones a la atmósfera 99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Condiciones actuales del frente costero, donde se observa la reducción de la playa seca y la proximidad del agua a las instalaciones del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa. 10
Figura 2. Sectores con pérdida y discontinuidad de la playa seca y exposición de la infraestructura existente a la dinámica marina. 10
Figura 3. Ubicación Regional del Proyecto en el Municipio de Puerto Morelos. 17
Figura 4. Ubicación y distribución espacial de las obras y elementos que integran el Proyecto. 18
Figura 5. Ubicación del banco de arena propuesto con respecto al área de ejecución de las obras del Proyecto. 19
Figura 6. Plano de ubicación y distribución de las barreras de contención C1 y C2 correspondientes a la Etapa 1 del Proyecto. 31
Figura 7. Plano de ubicación y distribución de las barreras rompeolas correspondientes a la Etapa 2 del Proyecto. 32
Figura 8. Plano de ubicación y distribución de los polígonos de vertido 1 y 2 correspondientes a la Etapa 3 del Proyecto. 33
Figura 9. Plano de ubicación y distribución de las dunas artificiales y pasos de duna del Proyecto. ..34
Figura 10. Plano de ubicación del Banco de Arena del Proyecto. 35
Figura 11. Características técnicas de los geotextiles TR 4000 considerados para las barreras de la etapa 1. 53
Figura 12. Características técnicas de los geotextiles TR6000 HF considerados para las barreras de la etapa 2. 53
Figura 13. Ventajas técnicas de los geotextiles considerados para las barreras de las etapas 1 y 2. ..54
Figura 14. Esquema conceptual de la configuración en planta y sección transversal de las dunas artificiales. Se muestra la distribución de sus dimensiones generales, el núcleo de geotextil, la cobertura arenosa, los taludes suavizados y la revegetación con especies nativas. El esquema es ilustrativo. 55
Figura 15. Esquema conceptual de revegetación de las dunas artificiales. Se representa la distribución propuesta de especies rastreras y pioneras en el talud frontal, herbáceas y gramíneas en las zonas media y alta, y elementos arbustivos hacia la porción terrestre, mediante un arreglo irregular en tresbolillo. 57
Figura 16. Esquema conceptual de los pasos de duna. Vista en planta, alzado longitudinal y sección constructiva de la pasarela peatonal elevada propuesta para atravesar las secciones dunares, con barandales bilaterales, apoyos puntuales y altura adaptable al perfil definitivo de la duna. 60
Figura 17. Ubicación de la bodega provisional y movible para el Proyecto. 69
Figura 18. Imágenes ilustrativas del proceso constructivo con geotubos. 82
Figura 19. Imagen ilustrativa de las estacas o pines de sujeción 83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM Z16 de la barrera de contención 1 (C1). 20
Tabla 2. Coordenadas UTM Z16 de la barrera de contención 2 (C2). 20
Tabla 3. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 1. 21
Tabla 4. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 2. 21
Tabla 5. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 3. 21
Tabla 6. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 4. 21
Tabla 7. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 5. 22
Tabla 8. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 6. 22
Tabla 9. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 7. 22
Tabla 10. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 8. 22
Tabla 11. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 9. 23
Tabla 12. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 10. 23
Tabla 13. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 11. 23
Tabla 14. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 12. 23
Tabla 15. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 13. 24
Tabla 16. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 14. 24
Tabla 17. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 15. 24
Tabla 18. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 16. 24
Tabla 19. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 17. 25
Tabla 20. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 18. 25
Tabla 21. Coordenadas UTM Z16 del polígono de Vertido 1. 25
Tabla 22. Coordenadas UTM Z16 del polígono de Vertido 2. 26
Tabla 23. Coordenadas UTM Z16 de la Duna Artificial 1. 26
Tabla 24. Coordenadas UTM Z16 de la Duna Artificial 2. 26
Tabla 25. Coordenadas UTM Z16 de la Duna Artificial 3. 27
Tabla 26. Coordenadas UTM Z16 de la Duna Artificial 4. 27
Tabla 27. Coordenadas UTM Z16 de la Duna Artificial 5. 27
Tabla 28. Coordenadas UTM Z16 de la Duna Artificial 6. 28
Tabla 29. Coordenadas UTM Z16 del Paso de Duna 1. 28
Tabla 30. Coordenadas UTM Z16 del Paso de Duna 2. 28
Tabla 31. Coordenadas UTM Z16 del Paso de Duna 3. 29
Tabla 32. Coordenadas UTM Z16 del Paso de Duna 4. 29
Tabla 33. Coordenadas UTM Z16 del Paso de Duna 5. 29
Tabla 34. Coordenadas UTM Z16 del Paso de Duna 6. 30
Tabla 35. Coordenadas UTM Z16 del Banco de Arena. 30
Tabla 36. Especificaciones técnicas de las barreras de contención correspondientes a la Etapa 1 36
Tabla 37. Especificaciones técnicas de las barreras rompeolas correspondientes a la Etapa 2 38
Tabla 38. Especificaciones técnicas del vertido de arena correspondiente a la Etapa 3. 40
Tabla 39. Especificaciones técnicas y volumen estimado de arena para las dunas artificiales 42

Tabla 40. Especificaciones técnicas de los pasos de duna 43
Tabla 41. Especificaciones técnicas del Banco IRRM 44
Tabla 42. Distribución de superficies en ZFMT/playa seca y zona marina 45
Tabla 43.Estimación preliminar de la inversión directa requerida para las obras del Proyecto 48
Tabla 44. Integración de la inversión estimada del Proyecto y previsión para medidas ambientales 50
Tabla 45. Características particulares de las obras que integran el Proyecto 51
Tabla 46. Propuesta preliminar de revegetación de las dunas artificiales 56
Tabla 47. Programa general de trabajo para las etapas de preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento del Proyecto. 63
Tabla 48. Coordenadas de la bodega provisional 68
Tabla 49. Equipo temporal de bombeo, conducción y apoyo 69
Tabla 50. Insumos, servicios, maquinaria y equipos requeridos por etapa 73
Tabla 51. Programa general de inspección y mantenimiento 92
Tabla 52. Generación estimada de residuos, descargas y emisiones por etapa 95

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

I.1 DATOS GENERALES DEL PROYECTO

I.1.1 Nombre del Proyecto

"PROYECTO INTEGRAL DE RESTAURACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL LITORAL COSTERO DEL HOTEL DREAMS PUERTO MORELOS RESORT & SPA"

I.2 DATOS DEL PROMOVENTE

I.2.1 Nombre o Razón Social

SUBCARPETA: LEGAL

ANEXO LEGAL 1. ACTA CONSTITUTIVA

I.2.2 Registro Federal del contribuyente

I.2.3 Nombre y cargo del Representante Legal

SUBCARPETA: LEGAL

ANEXO LEGAL 3. PODER NOTARIAL

ANEXO LEGAL 4. INE REPRESENTANTE LEGAL

ANEXO LEGAL 5. RFC REPRESENTANTE LEGAL

I.2.4 Dirección del Promovente para oír y recibir notificaciones

I.3 DATOS DEL RESPONSABLE DE LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

I.3.1 Empresa o Razón Social

I.3.2 Técnico responsable de la Elaboración de Impacto Ambiental

Declaro bajo protesta de decir verdad que los resultados de la Manifestación de Impacto Ambiental del Proyecto se obtuvieron a través de la aplicación de las mejores técnicas y metodologías comúnmente utilizadas por la comunidad científica del país y del uso de la mayor información disponible, y que las medidas de prevención, mitigación, compensación y restauración sugeridas son las más efectivas para atenuar los impactos ambientales (Artículo 36 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental).

Nombre y firma electrónica digital del responsable de la elaboración del estudio de impacto ambiental.

Nota: La responsabilidad respecto del contenido del presente documento corresponderá a quien lo elabore. Si se comprueba que en la elaboración de los documentos en cuestión la información es falsa, el responsable será sancionado de conformidad con el Capítulo IV del Título Sexto de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), sin perjuicio de las sanciones que resulten de la aplicación de otras disposiciones jurídicas relacionadas.

I.3.3 Dirección del Responsable Técnico del Estudio

I.4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

I.4.1 Información general del Proyecto

El proyecto denominado **"Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa"**, en lo sucesivo el **Proyecto**, se pretende desarrollar en la franja costera y zona marina somera localizada frente al citado complejo turístico, en el municipio de Puerto Morelos, estado de Quintana Roo.

El área de intervención comprende la playa y la zona marina somera adyacente. Estos componentes integran un sistema costero dinámico en el que interactúan el oleaje, las corrientes litorales, el transporte de sedimentos, el viento, las variaciones del nivel del mar y los fenómenos hidrometeorológicos característicos del Caribe mexicano.

Con base en los estudios técnicos disponibles y las visitas realizadas al sitio, se identificó *un proceso de erosión litoral* que ha ocasionado la reducción progresiva y, en algunos sectores, la pérdida significativa de la playa seca. Esta condición ha reducido la franja de amortiguamiento existente entre el mar y las instalaciones del hotel, permitiendo que el oleaje alcance directamente distintas estructuras ubicadas en el frente de la propiedad y favorezca procesos de socavación, desgaste y deterioro.

La permanencia de estas condiciones podría incrementar la vulnerabilidad de las instalaciones ante tormentas, huracanes, mareas de tormenta y eventos extraordinarios de oleaje. Asimismo, la disminución de la playa seca representa la pérdida de un componente natural relevante para la disipación de energía, el intercambio de sedimentos, la transición entre los ambientes marino y terrestre y el desarrollo de procesos ecológicos asociados con los sustratos arenosos.

Las condiciones observadas durante las visitas técnicas al sitio permiten reconocer sectores con reducción significativa o ausencia de playa seca, así como la proximidad inmediata del agua a diferentes instalaciones localizadas en el frente costero. Esta situación evidencia la pérdida de la franja natural de amortiguamiento y la exposición de la infraestructura existente a la acción recurrente del oleaje, como se muestra en las figuras siguientes.



Figura 1. Condiciones actuales del frente costero, donde se observa la reducción de la playa seca y la proximidad del agua a las instalaciones del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa.



Figura 2. Sectores con pérdida y discontinuidad de la playa seca y exposición de la infraestructura existente a la dinámica marina.

Las condiciones mostradas permiten advertir que la problemática no se limita a la disminución de una superficie destinada al uso recreativo, sino que comprende la pérdida de un recurso natural que funciona como zona de amortiguamiento, espacio de intercambio sedimentario y transición entre los

ambientes marino y terrestre. Asimismo, la reducción de la playa seca incrementa la vulnerabilidad del frente costero y limita su capacidad para disipar la energía del oleaje y mantener procesos ecológicos asociados con los ambientes arenosos.

Ante estas condiciones, el Proyecto tiene como objetivo llevar a cabo la **restauración y estabilización integral del sistema playa-duna**, mediante la ejecución articulada de obras marinas de atenuación del oleaje, estructuras para la retención de sedimentos, aportación controlada de arena, conformación de dunas artificiales, revegetación con especies costeras nativas y ordenamiento del tránsito peatonal.

El Proyecto se encuentra integrado por los componentes siguientes:

A. Barreras de contención

La primera etapa comprende la instalación de dos barreras de contención, identificadas como **C1 y C2**, dispuestas de manera paralela al frente costero conforme al plano de conjunto. Las barreras estarán integradas por **14 geotubos de 20.00 m de longitud y 2.00 m de diámetro**, rellenados con arena mediante hidrollenado. La suma nominal de las piezas será de 280.00 m; sin embargo, debido a su disposición y adecuación a la configuración del frente costero, las estructuras tendrán una longitud efectiva aproximada de **269.09 m** y una superficie conjunta de **540.60 m²**. Su función será reducir el contacto directo del oleaje con la costa, favorecer la retención del material arenoso y contribuir a la estabilización del perfil litoral.

B. Barreras rompeolas

La segunda etapa contempla la instalación de un sistema discontinuo de barreras rompeolas en la zona marina somera, a una distancia mayor respecto de la costa, con el propósito de disminuir la energía del oleaje antes de su llegada al frente costero. El sistema estará integrado por **18 geotubos de 20.00 m de longitud y 2.50 m de diámetro**, con una superficie individual de 50.00 m² y una superficie conjunta de **900.00 m²**. Los elementos se colocarán de manera discontinua y, en las secciones previstas, mediante filas traslapadas. Los espacios entre las estructuras permitirán conservar la circulación del agua y evitar la formación de una barrera completamente cerrada.

C. Vertido, extendido y nivelación de arena

La tercera etapa comprende la aportación controlada de material arenoso dentro de dos polígonos denominados **Vertido V1 y Vertido V2**. El polígono V1 tendrá una superficie de **1,090.65 m²**, mientras que el polígono V2 abarcará **1,479.10 m²**. En conjunto, el vertido se realizará sobre una superficie aproximada de **2,569.75 m²** y a lo largo de una longitud aproximada de **257.62 m**.

De acuerdo con la volumetría disponible, se requerirán aproximadamente **3,507.61 m³ de arena para V1** y **4,576.82 m³ para V2**, lo que representa un volumen total estimado de **8,084.43 m³**. La arena será distribuida, extendida y nivelada de acuerdo con las secciones, cotas y pendientes previstas en el diseño, con la finalidad de compensar parcialmente el déficit sedimentario y restituir el perfil de playa.

D. Conformación y revegetación de dunas artificiales

Como parte de la restauración del componente terrestre, se conformarán **seis dunas artificiales**, cada una con dimensiones aproximadas de **30.00 m de longitud por 3.00 m de ancho** y una superficie individual de 90.00 m². En conjunto, ocuparán una superficie de **540.00 m²**. Cada duna estará constituida por un núcleo de geotextil relleno con arena, cubierto posteriormente con material arenoso para suavizar su perfil y generar un sustrato adecuado para el establecimiento de vegetación costera nativa. Las dunas favorecerán la retención de arena, la estabilización del sustrato, la recuperación de cobertura vegetal y la conformación de una franja de amortiguamiento entre la playa y las instalaciones existentes.

E. Pasos de duna

Para ordenar el tránsito peatonal y proteger las áreas restauradas, se habilitarán **seis pasos de duna**, cada uno con dimensiones de **5.00 m de longitud por 2.00 m de ancho** y una superficie individual de 10.00 m². En conjunto, ocuparán una superficie de **60.00 m²**. Los pasos permitirán concentrar el tránsito en sitios definidos y reducir la compactación de la arena, el pisoteo de la vegetación y la apertura de senderos informales.

F. Banco de arena

La arena requerida para el hidrollenado de los geotubos, el vertido y la conformación de las dunas provendrá del sitio identificado como **Banco IRRM**, localizado en la zona marina. El banco presenta una superficie aproximada de **35,003.00 m²**, un espesor promedio aprovechable de 0.88 m y un volumen estimado de **30,802.00 m³ de arena**. Su aprovechamiento estará sujeto a la autorización correspondiente y a la comprobación de la compatibilidad física, granulométrica y ambiental del material con el sitio de colocación. En conjunto, estos componentes conforman una estrategia integral dirigida a atender las porciones marina, intermareal, de playa seca y dunar del sistema costero.

I.4.2 Naturaleza del Proyecto

Por su naturaleza, el Proyecto corresponde a una intervención integral de **restauración y estabilización del sistema playa-duna**, actualmente sujeto a procesos de erosión, pérdida de playa seca, déficit sedimentario y exposición directa de las instalaciones existentes a la acción del oleaje. El

Proyecto combina obras de protección litoral de carácter semiblando, manejo de sedimentos y restauración del componente dunar. Su diseño parte del reconocimiento de que la problemática erosiva no puede atenderse mediante una acción aislada, debido a que la dinámica del litoral se encuentra determinada por la interacción entre el oleaje, las corrientes, el transporte de sedimentos, la configuración del perfil de playa, el viento y la vegetación costera.

Las barreras de contención y rompeolas estarán conformadas por geotubos rellenos con arena. Estos elementos tendrán como función disminuir parcialmente la energía del oleaje y favorecer la retención del material sedimentario dentro del sistema, sin conformar una estructura rígida y completamente impermeable.

La aportación controlada de arena permitirá compensar parcialmente el déficit sedimentario y restituir el perfil de playa. El material será distribuido y nivelado de acuerdo con la configuración prevista, procurando una transición gradual compatible con las condiciones morfológicas del sitio.
La intervención incorpora, además, la conformación de dunas artificiales revegetadas con especies costeras nativas. Este componente resulta fundamental porque la restauración no se limita a la formación de playa seca, sino que busca restablecer la relación funcional entre la playa y la franja dunar.

Las dunas actúan como reservorios temporales de sedimentos y contribuyen a amortiguar la acción del viento y de los eventos hidrometeorológicos. La vegetación participa en la fijación de arena, la estabilización superficial del sustrato, la incorporación de materia orgánica y la generación de espacios potenciales de refugio y desplazamiento para fauna asociada con los ambientes costeros.
Los elementos de geotextil empleados en las dunas funcionarán como un soporte inicial para contener el material arenoso mientras se establece la vegetación. Estos elementos permanecerán cubiertos con arena para evitar su exposición, degradación, fragmentación o dispersión. Conforme se desarrolle la cobertura vegetal, sus sistemas radiculares contribuirán progresivamente a la estabilización del sustrato.

La restauración propuesta no pretende reproducir de manera inmediata todos los atributos estructurales y ecológicos de una duna natural madura. Su finalidad es establecer condiciones físicas y biológicas iniciales que favorezcan la retención de arena, el desarrollo de vegetación nativa y la recuperación gradual de funciones ambientales. En este sentido, el Proyecto se diferencia de una intervención convencional limitada al vertido de arena, debido a que:

- Atiende un proceso erosivo existente y la pérdida de playa seca.
- Integra acciones en las porciones marina, intermareal y terrestre del sistema costero.
- Incorpora medidas para reducir la energía del oleaje y favorecer la retención de sedimentos.
- Considera la aportación de arena como parte de una estrategia integral y no como una actividad aislada.

- Incluye la conformación y revegetación de dunas artificiales.
- Empleará especies costeras nativas procedentes de viveros autorizados.
- Ordenará el tránsito peatonal mediante pasos de duna.
- Considera medidas de prevención, mitigación, mantenimiento y monitoreo.
- Busca incrementar la estabilidad y resiliencia del sistema playa-duna frente a los procesos erosivos y fenómenos hidrometeorológicos.

El desempeño de las obras deberá verificarse mediante el seguimiento del perfil de playa, el comportamiento de los sedimentos, la estabilidad de los geotubos, la integridad de los geotextiles, la supervivencia de las plantas, la cobertura vegetal alcanzada y la eventual presencia de nuevos procesos erosivos. Por tanto, la naturaleza del Proyecto corresponde a una intervención de restauración litoral que combina infraestructura semiblanda, manejo sedimentario y recuperación del componente dunar, con el propósito de favorecer la estabilidad física y la funcionalidad ambiental del sistema costero.

I.4.3 Justificación

La ejecución del Proyecto se justifica por la necesidad de atender de manera integral el proceso de erosión y la inestabilidad del frente costero localizado frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa. Los estudios técnicos disponibles y las visitas realizadas al sitio muestran una reducción significativa de la playa seca. Esta condición ha disminuido la franja de amortiguamiento entre el mar y las instalaciones del hotel, permitiendo que el oleaje incida directamente sobre distintas estructuras y favorezca procesos de socavación, desgaste y deterioro.

La continuidad de estos procesos podría incrementar la vulnerabilidad de las instalaciones ante tormentas, huracanes, mareas de tormenta y eventos extraordinarios de oleaje. Por ello, resulta necesario implementar medidas que reduzcan la exposición actual y contribuyan a restablecer una franja litoral con mayor capacidad de amortiguamiento. No obstante, la justificación del Proyecto no se limita a la protección de la infraestructura o a la disponibilidad recreativa de una playa. La playa seca constituye un recurso natural que cumple funciones físicas, ambientales y ecológicas relevantes, entre ellas:

- Intercambio y almacenamiento temporal de sedimentos.
- Disipación parcial de la energía del oleaje.
- Transición entre los ambientes marino y terrestre.
- Espacio potencial para el desplazamiento, descanso, alimentación y, en su caso, anidación de fauna costera.
- Hábitat para organismos asociados con los sustratos arenosos.
- Continuidad física y ecológica entre la playa, la vegetación costera y las dunas.
- Amortiguamiento frente a eventos hidrometeorológicos.

- Contribución al valor paisajístico y ambiental del litoral.

Desde el punto de vista funcional, la playa y las dunas son componentes interdependientes. La playa permite el intercambio y almacenamiento de sedimentos, mientras que las dunas actúan como reservorios de arena y como zonas de amortiguamiento frente al viento, las mareas de tormenta y el oleaje extraordinario. La pérdida o degradación de cualquiera de estos componentes disminuye la estabilidad y capacidad de recuperación del sistema costero. La aportación aislada de arena no representaría por sí misma una solución integral, debido a que el material podría ser removido nuevamente si no se atienden las condiciones hidrodinámicas y sedimentarias que favorecen su pérdida. De manera similar, la instalación exclusiva de estructuras de protección, sin restituir el perfil de playa ni atender el componente dunar, mantendría un sistema simplificado y con funcionalidad ambiental limitada.

Por esta razón, el Proyecto integra barreras de atenuación del oleaje, estructuras de retención de sedimentos, aportación controlada de arena, conformación de dunas artificiales, revegetación con especies nativas y pasos peatonales controlados. La complementariedad de estas acciones permitirá atender de manera coordinada las porciones marina, intermareal y terrestre del litoral. La conformación de las dunas artificiales se justifica por su contribución potencial a la recuperación de las funciones siguientes:

- Retención y fijación de la arena transportada por el viento.
- Reducción de la erosión eólica del sustrato.
- Almacenamiento temporal de sedimentos dentro del sistema costero.
- Amortiguamiento frente al viento y los eventos hidrometeorológicos.
- Protección gradual de la zona terrestre localizada detrás de la playa.
- Recuperación de la cobertura vegetal con especies costeras nativas.
- Generación de espacios potenciales de refugio y desplazamiento para fauna.
- Mejoramiento de la continuidad ecológica y paisajística entre la playa y el componente terrestre.

La revegetación con especies pioneras y fijadoras de arena permitirá que sus sistemas radiculares contribuyan a retener el sustrato y disminuir su movilidad superficial. Conforme se establezca la cobertura vegetal, podrá favorecerse la acumulación gradual de arena transportada por el viento y la integración de las estructuras con el paisaje costero. Frente al escenario de no intervención, se mantendrían las condiciones que actualmente favorecen la pérdida de sedimentos, la reducción de la playa seca y la exposición de las instalaciones a la acción directa del oleaje. Bajo este escenario, la erosión podría continuar y aumentar la vulnerabilidad física y ambiental del frente costero.

La alternativa propuesta se considera adecuada porque combina acciones de distinta naturaleza y evita depender exclusivamente de una sola medida. No obstante, su viabilidad estará condicionada

a la comprobación de que las obras son compatibles con la dinámica litoral y con los ecosistemas presentes, así como a la correcta aplicación de las medidas de prevención, mitigación, restauración y seguimiento. El Proyecto incluirá programas y acciones para evaluar:

- La estabilidad y evolución del perfil de playa.
- El comportamiento y permanencia de los sedimentos.
- La estabilidad de las barreras de geotubos.
- La integridad y cobertura de los elementos de geotextil.
- La supervivencia y desarrollo de las especies vegetales.
- La cobertura alcanzada en las franjas dunares.
- La presencia de procesos erosivos posteriores a la construcción.
- La calidad del agua y la dispersión de sedimentos durante las obras.
- La ausencia de afectaciones no previstas sobre los ecosistemas marinos y costeros adyacentes.

En consecuencia, el Proyecto se justifica como una intervención de **restauración y estabilización integral del sistema playa-duna**, en la que las obras de atenuación del oleaje, la aportación de arena y la conformación de dunas artificiales representan componentes complementarios dirigidos a reducir la vulnerabilidad del frente costero y favorecer la recuperación gradual de su estabilidad, funcionalidad ambiental y resiliencia.

I.4.4 Ubicación del Proyecto

Entidad federativa: Quintana Roo

Municipio: Puerto Morelos

Calle y número, código postal y localidad, en caso aplicable: Bahía de Petempich, supermanzana 12, manzana 31, lote 14-02, C.P. 77580, Puerto Morelos, Quintana Roo.

Ubicación específica de las obras: El Proyecto se desarrollará en la franja costera ubicada frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, comprendiendo la zona de playa, y la zona marina somera adyacente, donde se ejecutarán las obras de restauración y estabilización litoral, restitución del perfil de playa y conformación de franjas dunares revegetadas.

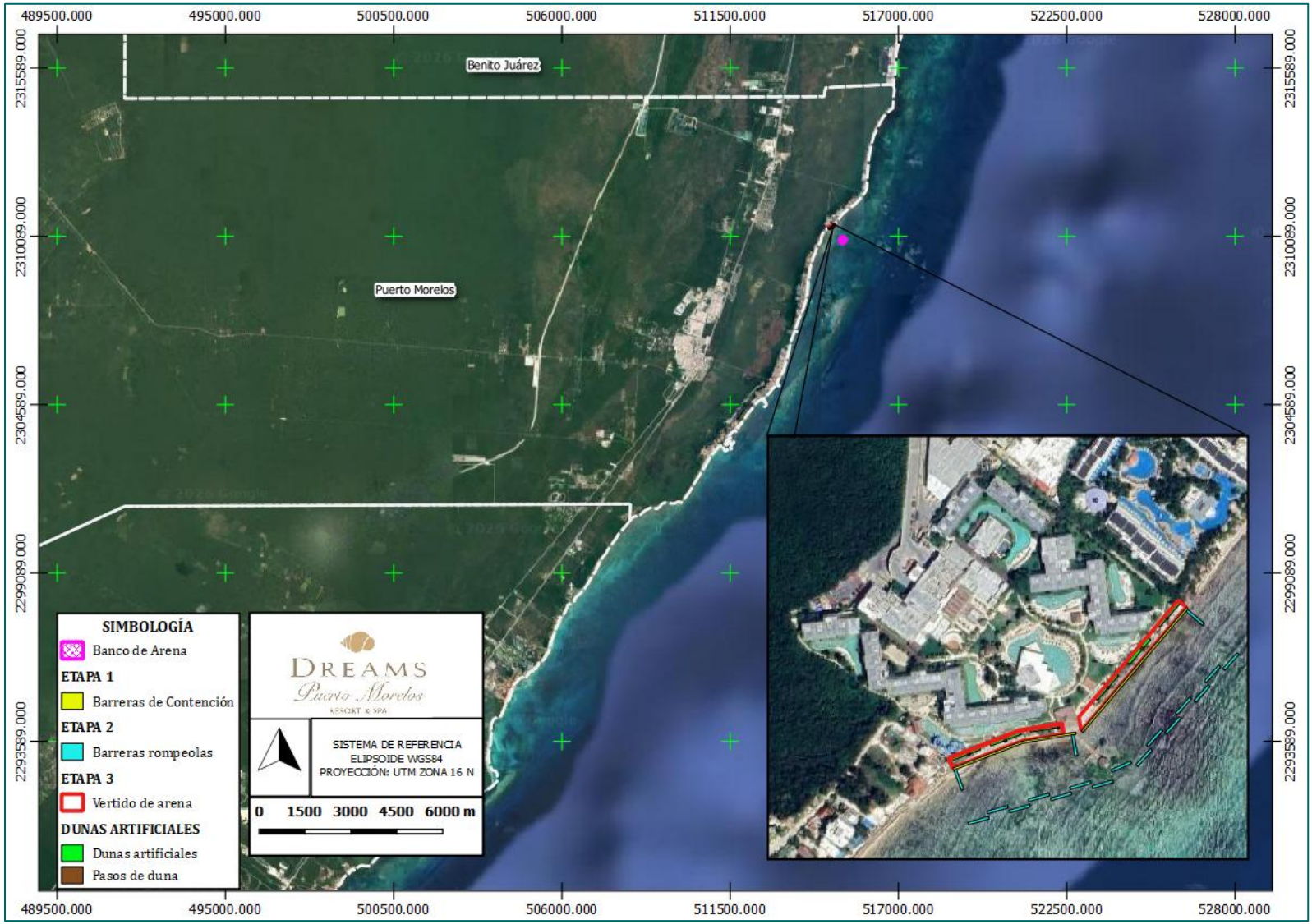


Figura 3. Ubicación Regional del Proyecto en el Municipio de Puerto Morelos.



Figura 4. Ubicación y distribución espacial de las obras y elementos que integran el Proyecto.

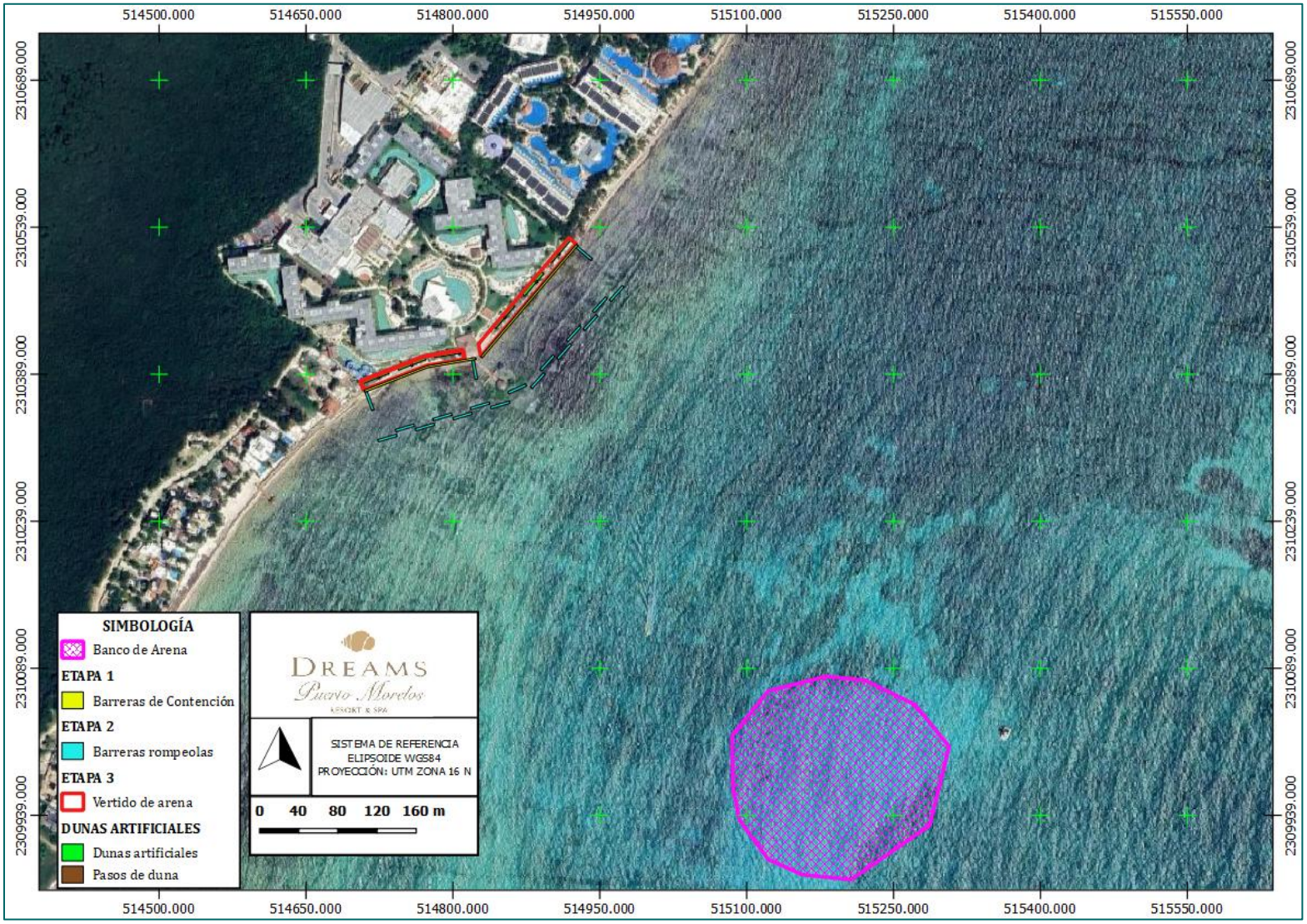


Figura 5. Ubicación del banco de arena propuesto con respecto al área de ejecución de las obras del Proyecto.

En lo siguiente, se presentan las coordenadas UTM Zona 16 de las obras que incluye el Proyecto:

ETAPA 1: BARRERAS DE CONTENCIÓN
SUPERFICIE: 540.60 m²

Tabla 1. Coordenadas UTM Z16 de la barrera de contención 1 (C1).

VERTICE	X	Y
P1	514709.4849	2310373.0230
P2	514741.8202	2310385.5280
P3	514774.1554	2310398.0330
P4	514798.9301	2310402.2670
P5	514823.7048	2310406.5010
P6	514824.0369	2310404.5290
P7	514799.3634	2310400.3120
P8	514774.5928	2310396.1130
P9	514742.4481	2310383.6270
P10	514710.3985	2310371.0570
SUPERFICIE		238.80 m²

Tabla 2. Coordenadas UTM Z16 de la barrera de contención 2 (C2).

VERTICE	X	Y
P1	514828.7269	2310407.3650
P2	514877.6502	2310464.8050
P3	514926.5735	2310522.2460
P4	514928.0959	2310520.9490
P5	514879.1727	2310463.5080
P6	514830.2494	2310406.0680
SUPERFICIE		301.80

ETAPA 2: BARRERAS ROMPEOLAS
SUPERFICIE: 900.00 m²

Tabla 3. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 1.

Punto	X	Y
P1	514710.3985	2310371.0570
P2	514717.4100	2310352.3260
P3	514719.7514	2310353.2020
P4	514712.7398	2310371.9330
SUPERFICIE		50 m²

Tabla 4. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 2.

Punto	X	Y
P1	514819.6468	2310403.7790
P2	514823.0160	2310384.0650
P3	514825.4803	2310384.4860
P4	514822.1110	2310404.2000
SUPERFICIE		50 m²

Tabla 5. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 3.

Punto	X	Y
P1	514925.9805	2310518.4240
P2	514941.2086	2310505.4580
P3	514942.8293	2310507.3620
P4	514927.6012	2310520.3270
SUPERFICIE		50 m²

Tabla 6. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 4.

Punto	X	Y
P1	514723.406	2310322.67
P2	514724.109	2310320.27
P3	514743.302	2310325.89
P4	514742.598	2310328.29
SUPERFICIE		50 m²

Tabla 7. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 5.

Punto	X	Y
P1	514741.209	2310333.03
P2	514741.912	2310330.63
P3	514761.105	2310336.26
P4	514760.401	2310338.65
SUPERFICIE		50 m^2

Tabla 8. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 6.

Punto	X	Y
P1	514761.7971	2310333.9210
P2	514762.5004	2310331.5220
P3	514781.6926	2310337.1480
P4	514780.9893	2310339.5470
SUPERFICIE		50 m^2

Tabla 9. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 7.

Punto	X	Y
P1	514779.6000	2310344.2820
P2	514780.3033	2310341.8830
P3	514799.4955	2310347.5100
P4	514798.7922	2310349.9090
SUPERFICIE		50 m^2

Tabla 10. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 8.

Punto	X	Y
P1	514800.1881	2310345.1760
P2	514800.8915	2310342.7770
P3	514820.0837	2310348.4030
P4	514819.3804	2310350.8020
SUPERFICIE		50 m^2

Tabla 11. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 9.

Punto	X	Y
P1	514817.9910	2310355.5370
P2	514818.6943	2310353.1380
P3	514837.8866	2310358.7650
P4	514837.1833	2310361.1640
SUPERFICIE		50 m^2

Tabla 12. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 10.

Punto	X	Y
P1	514838.5792	2310356.4310
P2	514839.2825	2310354.0320
P3	514858.4748	2310359.6580
P4	514857.7715	2310362.0570
SUPERFICIE		50 m^2

Tabla 13. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 11.

Punto	X	Y
P1	514856.3660	2310371.4500
P2	514857.3964	2310369.1720
P3	514875.6188	2310377.4150
P4	514874.5884	2310379.6920
SUPERFICIE		50 m^2

Tabla 14. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 12.

Punto	X	Y
P1	514879.4703	2310376.2680
P2	514881.3238	2310374.5900
P3	514894.7448	2310389.4180
P4	514892.8913	2310391.0960
SUPERFICIE		50 m^2

Tabla 15. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 13.

Punto	X	Y
P1	514889.1842	2310394.4510
P2	514891.0378	2310392.7740
P3	514904.4588	2310407.6020
P4	514902.6052	2310409.2790
SUPERFICIE		50 m^2

Tabla 16. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 14.

Punto	X	Y
P1	514906.3123	2310405.9240
P2	514908.1658	2310404.2470
P3	514921.5869	2310419.0750
P4	514919.7333	2310420.7520
SUPERFICIE		50 m^2

Tabla 17. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 15.

Punto	X	Y
P1	514916.0263	2310424.1080
P2	514917.8798	2310422.4300
P3	514931.3008	2310437.2580
P4	514929.4473	2310438.9360
SUPERFICIE		50 m^2

Tabla 18. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 16.

Punto	X	Y
P1	514933.1543	2310435.5810
P2	514935.0079	2310433.9020
P3	514948.4289	2310448.7310
P4	514946.5754	2310450.4090
SUPERFICIE		50 m^2

Tabla 19. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 17.

Punto	X	Y
P1	514942.8683	2310453.7640
P2	514944.7218	2310452.0860
P3	514958.1429	2310466.9150
P4	514956.2893	2310468.5920
SUPERFICIE		50 m^2

Tabla 20. Coordenadas UTM Z16 del geotubo 18.

Punto	X	Y
P1	514959.9964	2310465.2370
P2	514961.8499	2310463.5590
P3	514975.2709	2310478.3880
P4	514973.4174	2310480.0650
SUPERFICIE		50 m^2

ETAPA 3: VERTIDO DE ARENA
SUPERFICIE: 2,569.75 m^2

Tabla 21. Coordenadas UTM Z16 del polígono de Vertido 1.

Punto	X	Y
P1	514709.4849	2310373.0230
P2	514741.8202	2310385.5280
P3	514774.1554	2310398.0330
PV4	514812.3157	2310404.5550
PV5	514810.6551	2310414.4160
PV6	514771.4830	2310407.7210
PV7	514738.6805	2310395.0360
PV8	514705.8780	2310382.3500
SUPERFICIE		1,090.65 m2

Tabla 22. Coordenadas UTM Z16 del polígono de Vertido 2.

Punto	X	Y
P1	514828.7269	2310407.3650
P2	514877.6502	2310464.8050
P3	514926.5735	2310522.2460
PV4	514918.8180	2310528.5390
PV5	514872.6779	2310474.4520
PV6	514826.5378	2310420.3640
SUPERFICIE		1,479.10 m²

DUNAS ARTIFICIALES
SUPERFICIE: 540.00 m²

Tabla 23. Coordenadas UTM Z16 de la Duna Artificial 1.

Punto	X	Y
1	514713.79	2310375.64
2	514712.21	2310378.19
3	514737.71	2310393.99
4	514739.29	2310391.44
1	514713.79	2310375.64
SUPERFICIE		90 m²

Tabla 24. Coordenadas UTM Z16 de la Duna Artificial 2.

Punto	X	Y
1	514744.82	2310393.48
2	514743.74	2310396.28
3	514771.72	2310407.10
4	514772.80	2310404.30
1	514744.82	2310393.48
SUPERFICIE		90 m²

Tabla 25. Coordenadas UTM Z16 de la Duna Artificial 3.

Punto	X	Y
1	514776.65	2310405.56
2	514776.15	2310408.52
3	514805.72	2310413.57
4	514806.22	2310410.62
1	514776.65	2310405.56
SUPERFICIE		90 m^2

Tabla 26. Coordenadas UTM Z16 de la Duna Artificial 4.

Punto	X	Y
1	514843.98	2310436.09
2	514841.69	2310438.04
3	514861.15	2310460.88
4	514863.43	2310458.93
1	514843.98	2310436.09
SUPERFICIE		90 m^2

Tabla 27. Coordenadas UTM Z16 de la Duna Artificial 5.

Punto	X	Y
1	514873.70	2310469.23
2	514871.42	2310471.18
3	514890.87	2310494.01
4	514893.15	2310492.07
1	514873.70	2310469.23
SUPERFICIE		90 m^2

Tabla 28. Coordenadas UTM Z16 de la Duna Artificial 6.

Punto	X	Y
1	514901.65	2310503.76
2	514899.36	2310505.70
3	514918.82	2310528.54
4	514921.10	2310526.59
1	514901.65	2310503.76
SUPERFICIE		90 m^2

PASO DE DUNAS ARTIFICIALES
SUPERFICIE: 60.00 m^2

Tabla 29. Coordenadas UTM Z16 del Paso de Duna 1.

Punto	X	Y
1	514726.66	2310388.32
2	514728.36	2310389.37
3	514731.00	2310385.12
4	514729.30	2310384.07
1	514726.66	2310388.32
SUPERFICIE		10 m^2

Tabla 30. Coordenadas UTM Z16 del Paso de Duna 2.

Punto	X	Y
1	514756.04	2310401.75
2	514757.91	2310402.47
3	514759.71	2310397.81
4	514757.85	2310397.09
1	514756.04	2310401.75
SUPERFICIE		10 m^2

Tabla 31. Coordenadas UTM Z16 del Paso de Duna 3.

Punto	X	Y
1	514800.42	2310413.74
2	514802.39	2310414.08
3	514803.23	2310409.15
4	514801.26	2310408.81
1	514800.42	2310413.74
SUPERFICIE		10 m^2

Tabla 32. Coordenadas UTM Z16 del Paso de Duna 4.

Punto	X	Y
1	514850.01	2310449.34
2	514851.31	2310450.87
3	514855.11	2310447.62
4	514853.82	2310446.10
1	514850.01	2310449.34
SUPERFICIE		10 m^2

Tabla 33. Coordenadas UTM Z16 del Paso de Duna 5.

Punto	X	Y
1	514882.20	2310485.46
2	514883.50	2310486.98
3	514887.30	2310483.74
4	514886.01	2310482.22
1	514882.20	2310485.46
SUPERFICIE		10 m^2

Tabla 34. Coordenadas UTM Z16 del Paso de Duna 6.

Punto	X	Y
1	514905.09	2310513.96
2	514906.38	2310515.49
3	514910.19	2310512.24
4	514908.89	2310510.72
1	514905.09	2310513.96
SUPERFICIE		10 m^2

BANCO DE ARENA
SUPERFICIE: 35,003.00 m^2

Tabla 35. Coordenadas UTM Z16 del Banco de Arena.

Punto	X	Y
1	515181.52	2310081.01
2	515122.60	2310066.19
3	515085.50	2310020.50
4	515086.28	2309968.05
5	515093.13	2309934.24
6	515122.67	2309894.00
7	515157.34	2309878.59
8	515207.00	2309873.46
9	515287.37	2309928.79
10	515307.32	2310009.31
11	515272.67	2310051.96
12	515221.50	2310077.01
SUPERFICIE		35,003 m^2

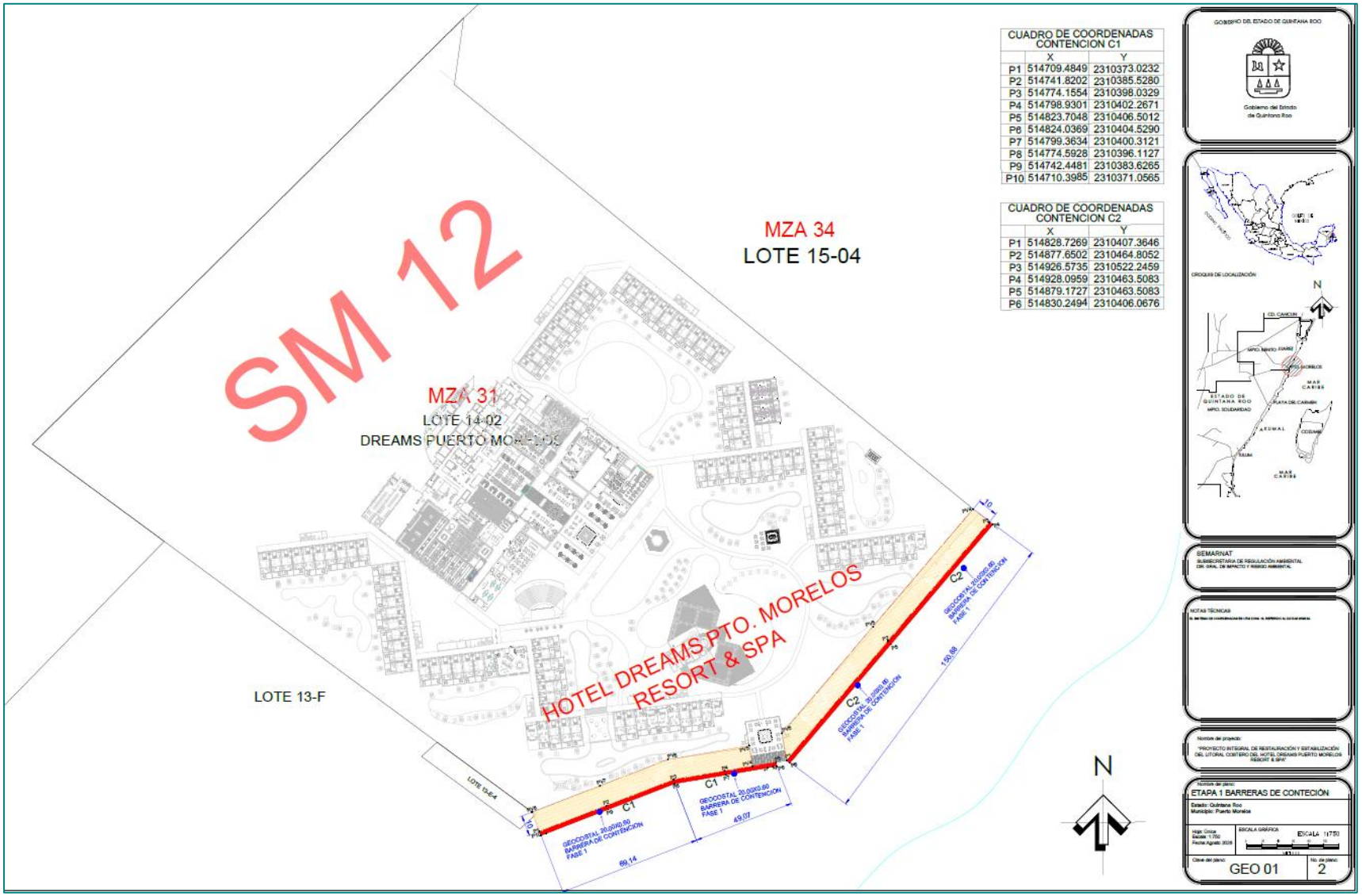


Figura 6. Plano de ubicación y distribución de las barreras de contención C1 y C2 correspondientes a la Etapa 1 del Proyecto.

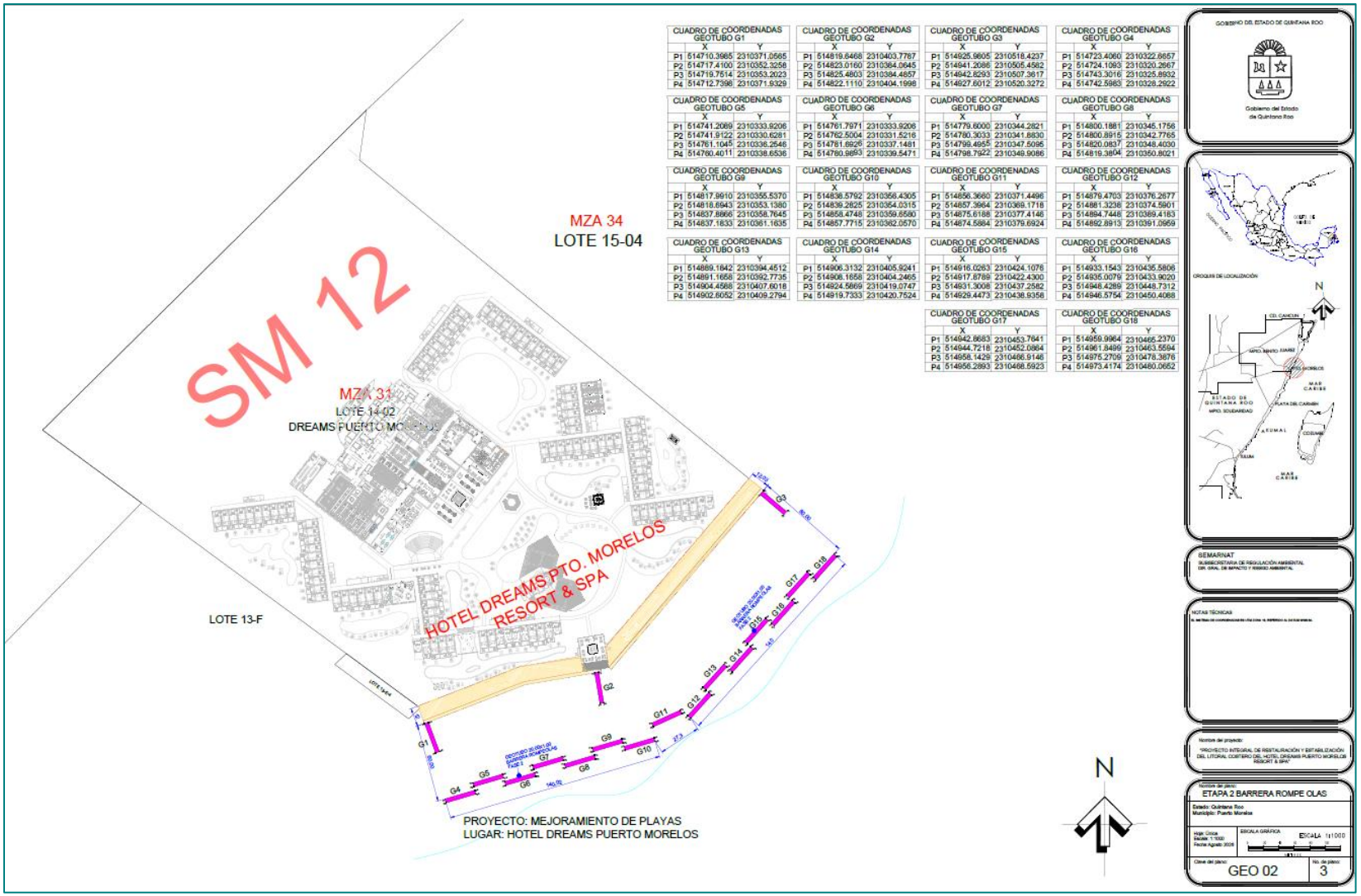


Figura 7. Plano de ubicación y distribución de las barreras rompeolas correspondientes a la Etapa 2 del Proyecto.

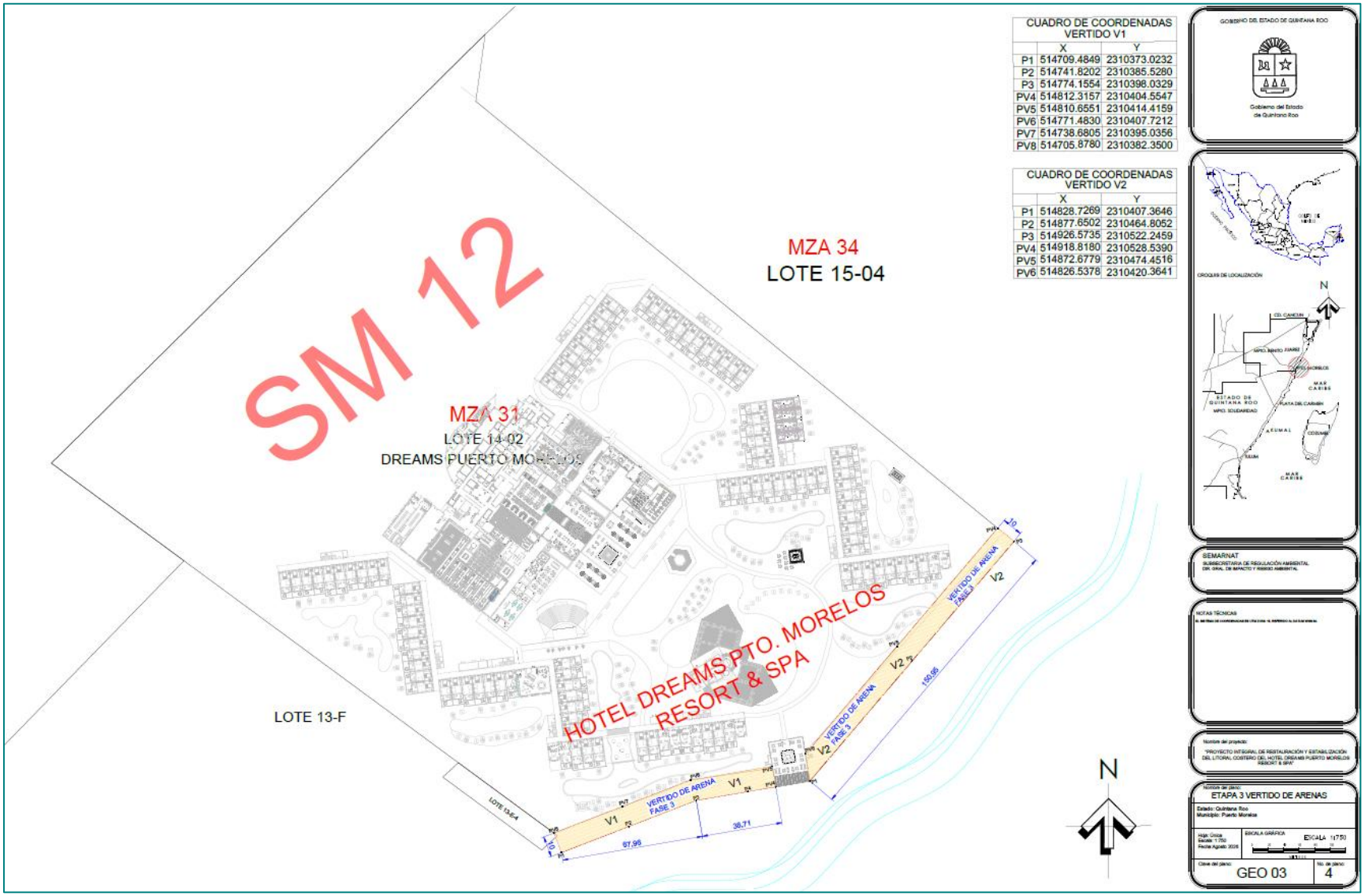


Figura 8. Plano de ubicación y distribución de los polígonos de vertido 1 y 2 correspondientes a la Etapa 3 del Proyecto.

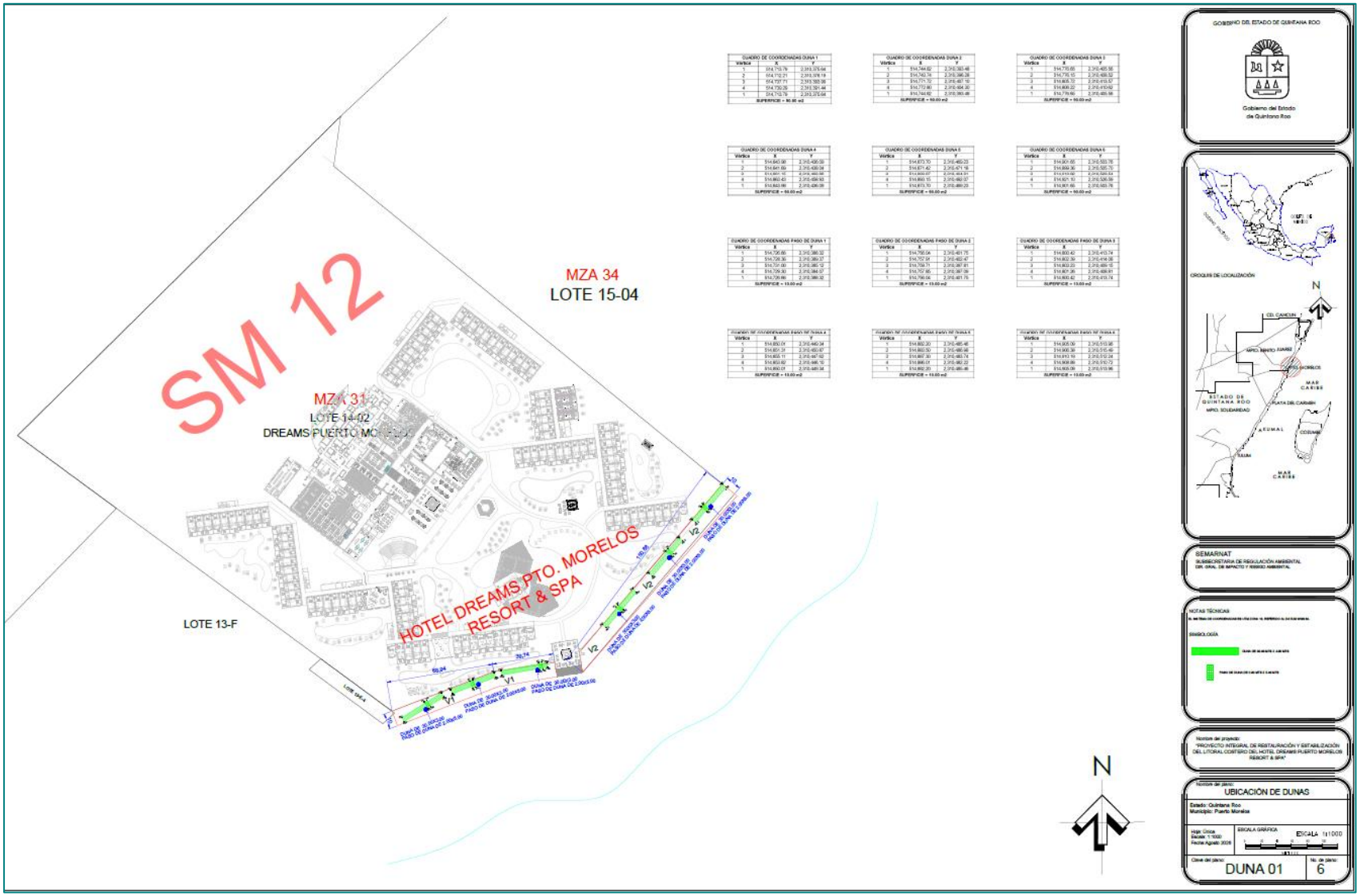
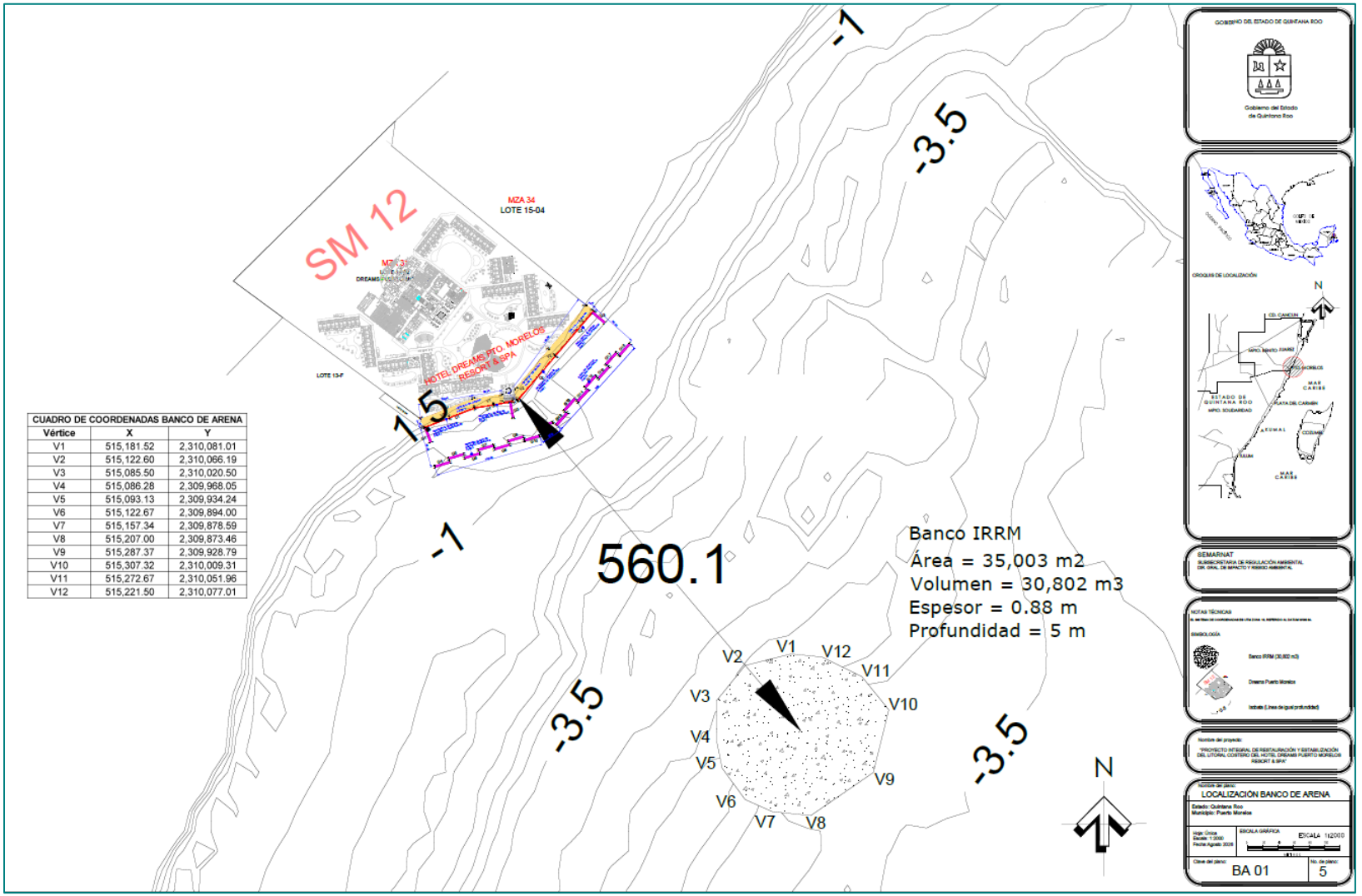


Figura 9. Plano de ubicación y distribución de las dunas artificiales y pasos de duna del Proyecto.



CUADRO DE COORDENADAS BANCO DE ARENA		
Vértice	X	Y
V1	515,181.52	2,310,081.01
V2	515,122.60	2,310,066.19
V3	515,085.50	2,310,020.50
V4	515,086.28	2,309,968.05
V5	515,093.13	2,309,934.24
V6	515,122.67	2,309,894.00
V7	515,157.34	2,309,878.59
V8	515,207.00	2,309,873.46
V9	515,287.37	2,309,928.79
V10	515,307.32	2,310,009.31
V11	515,272.67	2,310,051.96
V12	515,221.50	2,310,077.01

Figura 10. Plano de ubicación del Banco de Arena del Proyecto.

I.4.5 Especificaciones técnicas de obra

ETAPA 1

La primera etapa del Proyecto contempla la instalación de una barrera de contención conformada por **14 geotubos**, cada uno con dimensiones nominales de **20.00 m de longitud y 2.00 m de diámetro**. Los geotubos serán rellenados con arena mediante un procedimiento de hidrollenado y se distribuirán en dos secciones, identificadas en el plano de conjunto como **Barrera de Contención 1 (C1)** y **Barrera de Contención 2 (C2)**.

La barrera C1 estará conformada por **seis geotubos**, cuya longitud nominal conjunta será de 120.00 m. De acuerdo con las dimensiones señaladas en el plano, esta barrera tendrá una longitud efectiva de **118.21 m**, integrada por dos segmentos de 69.14 y 49.07 m. Por su parte, la barrera C2 estará integrada por **ocho geotubos**, con una longitud nominal conjunta de 160.00 m y una longitud efectiva de **150.88 m**.

En conjunto, los 14 geotubos representan una longitud nominal de **280.00 m**. No obstante, debido a su disposición espacial, uniones y adecuación a la configuración del frente costero, las dos barreras tendrán una longitud efectiva total de **269.09 m**.

Para estimar la superficie de ocupación se consideró la longitud efectiva de cada barrera y el diámetro nominal de los geotubos. De esta manera, la barrera C1 ocupará aproximadamente **238.38 m²**, mientras que la barrera C2 ocupará aproximadamente **301.80 m²**, resultando en una superficie total estimada de **540.60 m²**.

El volumen de arena requerido para el llenado de cada geotubo será de **62.84 m³**, considerando una sección circular de 2.00 m de diámetro y una longitud de 20.00 m. En consecuencia, para los 14 geotubos se requerirá un volumen total aproximado de **879.76 m³ de arena**.

Tabla 36. Especificaciones técnicas de las barreras de contención correspondientes a la Etapa 1

Obra	Longitud nominal (m)	Longitud efectiva (m)	Longitud por geotubo (m)	Diámetro (m)	Número de geotubos	Superficie estimada de ocupación (m²)	Volumen de arena (m³)
Barrera de Contención 1 (C1)	120.00	118.21	20.00	2.00	6	238.38	377.04
Barrera de Contención 2 (C2)	160.00	150.88	20.00	2.00	8	301.80	502.72
Total	**280.00**	**269.09**	—	—	**14**	**540.60**	**879.76**

Aclaraciones técnicas:

- La **longitud nominal** corresponde a la suma de las longitudes individuales de los geotubos asignados a cada barrera.
- La **longitud efectiva** corresponde a las dimensiones representadas en el plano de conjunto: 118.21 m para C1 y 150.88 m para C2.
- La diferencia de **10.91 m** entre la longitud nominal de 280.00 m y la longitud efectiva de 269.09 m se relaciona con la disposición espacial de las piezas, sus uniones y su adecuación a la configuración del frente costero.
- El volumen de llenado se calculó considerando una sección circular de 2.00 m de diámetro, equivalente a un radio de 1.00 m:

$$V=\pi r^2 L=3.1416(1.00)^2(20.00)=62.84\ m^3$$

- Por lo tanto, el volumen total requerido será:

$$V_{total}=14(62.84)=879.76\ m^3$$

Nota: *La distribución de seis geotubos en la barrera C1 y ocho en la barrera C2 se determina con base en las longitudes nominales requeridas para cada sección. Las cantidades, dimensiones y disposición deberán corresponder con la volumetría y el plano ejecutivo definitivos del Proyecto.*

ETAPA 2

La segunda etapa del Proyecto contempla la instalación de un sistema de barreras rompeolas mediante la colocación de **18 geotubos**, cada uno con dimensiones nominales de **20.00 m de longitud y 2.50 m de diámetro**. Los elementos serán rellenados con arena mediante hidrollenado y se instalarán mar adentro, conforme a la distribución establecida en el plano de diseño del Proyecto.
Los geotubos se dispondrán de manera discontinua en secciones de aproximadamente **40.00 m de longitud** y, en los sitios definidos por el diseño, se colocarán en dos filas traslapadas. Esta configuración permitirá mantener espacios entre las estructuras para favorecer la circulación del agua.

Cada geotubo tendrá una superficie nominal de ocupación de **50.00 m²**, obtenida al multiplicar sus 20.00 m de longitud por los 2.50 m correspondientes a su diámetro o ancho nominal de ocupación. En consecuencia, los 18 geotubos representarán una superficie nominal total de **900.00 m²**.

La suma de las longitudes individuales de los 18 geotubos corresponde a una longitud nominal acumulada de **360.00 m**. Esta longitud no representa un frente continuo de obra, debido a que los elementos estarán separados y algunos se dispondrán en dos filas traslapadas, de acuerdo con el diseño de las barreras rompeolas.

Conforme a la volumetría del Proyecto, cada geotubo requerirá aproximadamente **98.80 m³ de arena** para su llenado. Por lo tanto, para los 18 elementos se requerirá un volumen total aproximado de **1,778.40 m³ de arena**. Una vez colocados, los geotubos tendrán una altura sobresaliente aproximada de entre **0.50 y 0.60 m respecto del nivel medio del mar**.

Tabla 37. Especificaciones técnicas de las barreras rompeolas correspondientes a la Etapa 2

Obra	Longitud por geotubo (m)	Diámetro (m)	Superficie por geotubo (m²)	Número de geotubos	Longitud nominal total (m)	Superficie total (m²)	Volumen de arena por geotubo (m³)	Volumen total de arena (m³)
Barreras rompeolas	20.00	2.50	50.00	18	360.00	900.00	98.80	1,778.40

Cálculo de la superficie de ocupación

La superficie nominal correspondiente a cada geotubo se estimó mediante la siguiente operación:

$$S_{geotubo}=20.00\ m\times 2.50\ m=50.00\ m^2$$

Por consiguiente, la superficie nominal total de los 18 geotubos será:

$$S_{total}=18\times 50.00\ m^2=900.00\ m^2$$

Cálculo del volumen de arena

De acuerdo con la volumetría proporcionada para el Proyecto, el volumen de arena requerido para el llenado de cada geotubo es de **98.80 m³**. Por lo tanto:

$$V_{total}=18\times 98.80\ m^3=1,778.40\ m^3$$

Aclaraciones técnicas:

- La longitud nominal acumulada de **360.00 m** corresponde a la suma de las longitudes individuales de los 18 geotubos:

$$18\times 20.00\ m=360.00\ m$$

- La superficie de **50.00 m² por geotubo** representa su superficie nominal de ocupación, calculada a partir de su longitud y diámetro.
- La superficie total de **900.00 m²** corresponde a la suma de las superficies individuales de los 18 geotubos.

- Los 900.00 m² no constituyen necesariamente un polígono continuo, debido a que los geotubos estarán distribuidos de manera discontinua y algunos se colocarán en dos filas traslapadas.
- La altura de **0.50 a 0.60 m** corresponde a la porción aproximada de los geotubos que sobresaldrá respecto del nivel medio del mar y no a su diámetro total.
- La ubicación, separación, orientación y disposición definitiva de cada elemento deberán corresponder con el plano ejecutivo de las barreras rompeolas.

Nota: *La presente caracterización considera* ***18 geotubos****, conforme al diseño del Proyecto. En consecuencia, el volumen total de arena requerido para la Etapa 2 es de* ***1,778.40 m³****, calculado a partir del volumen unitario de 98.80 m³ señalado en la volumetría.*

ETAPA 3

La tercera etapa del Proyecto contempla el **vertido, extendido y nivelación de arena** dentro de los polígonos establecidos en el plano de conjunto. La actividad se realizará a lo largo de una longitud aproximada de **257.62 m** del frente costero y comprenderá una superficie total de **2,569.75 m²**.

Para efectos de diseño, programación y cálculo volumétrico, la superficie de intervención se dividió en dos polígonos, identificados como **Vertido V1** y **Vertido V2**. El polígono V1 tendrá una superficie de **1,090.65 m²**, mientras que el polígono V2 comprenderá **1,479.10 m²**.

La volumetría proporcionada establece un requerimiento de **3,507.61 m³ de arena para V1** y de **4,576.82 m³ para V2**. En consecuencia, la Etapa 3 requerirá un volumen total aproximado de **8,084.43 m³ de arena**.

La arena se colocará exclusivamente dentro de los polígonos definidos para esta actividad. Su distribución se realizará de manera gradual, considerando las condiciones topográficas y batimétricas del sitio, así como las cotas y secciones establecidas en la volumetría. Posteriormente, el material será extendido y nivelado para obtener una transición gradual y una pendiente acorde con la configuración del frente costero.

El suministro de arena podrá realizarse mediante bombeo desde un banco de arena autorizado o mediante el transporte de material en vehículos especializados.

En cualquiera de los casos, la procedencia del material deberá estar debidamente autorizada y deberá acreditarse su compatibilidad física, granulométrica y ambiental con el sitio de colocación.

Tabla 38. Especificaciones técnicas del vertido de arena correspondiente a la Etapa 3.

Obra	Zona de vertido	Longitud aproximada total (m)	Superficie (m^2)	Volumen de arena (m^3)
Vertido de arena 1	V1	106.67	1,090.65	3,507.61
Vertido de arena 2	V2	150.95	1,479.10	4,576.82
Total de la Etapa 3	**V1 + V2**	**257.62**	**2,569.75**	**8,084.43**

Integración de la superficie

La superficie total de intervención se obtiene mediante la suma de los dos polígonos de vertido:

$$S_{total} = S_{V1} + S_{V2}$$

$$S_{total} = 1{,}090.65 + 1{,}479.10$$

$$S_{total} = 2{,}569.75\ m^2$$

Integración del volumen de arena

El volumen total de arena correspondiente a la Etapa 3 se obtiene mediante la suma de los volúmenes calculados para V1 y V2:

$$V_{total} = VV1 + VV2$$

$$V_{total} = 3{,}507.61 + 4{,}576.82$$

$$V_{total} = 8{,}084.43\ m^3$$

Aclaraciones técnicas

- La Etapa 3 comprende dos polígonos de intervención: **V1 y V2**.
- La longitud aproximada total de **257.62 m** corresponde al desarrollo longitudinal conjunto de ambos polígonos en el frente costero.
- La superficie de **1,090.65 m²** corresponde al polígono V1 y la superficie de **1,479.10 m²** al polígono V2.
- La superficie total de **2,569.75 m²** proviene directamente de la delimitación de los polígonos del Proyecto, por lo que no se establece un ancho uniforme para el vertido.
- Los volúmenes fueron determinados mediante las secciones, dimensiones y cotas consideradas en la volumetría, no mediante la aplicación de una capa de espesor uniforme.
- El volumen de arena correspondiente a esta etapa es independiente del material requerido para el hidrollenado de los geotubos de las etapas 1 y 2.

DUNAS ARTIFICIALES Y PASOS DE DUNA

DUNAS ARTIFICIALES:

El Proyecto contempla la conformación de **seis dunas artificiales**, cada una con dimensiones aproximadas de **30.00 m de longitud por 3.00 m de ancho**, mediante un núcleo constituido por un tubo de geotextil marino de polipropileno tejido de alta tenacidad, tipo **GC1200MB o de características equivalentes**, relleno con arena.

Cada geotubo tendrá una longitud de **30.00 m**, una circunferencia nominal de **6.80 m** y una altura máxima de llenado de **1.30 m**. Estas dimensiones permitirán obtener un núcleo con un ancho lleno aproximado de **3.00 m**, compatible con la superficie prevista para cada duna.

La superficie individual en planta será de **90.00 m²**; por lo tanto, las seis dunas ocuparán una superficie total de **540.00 m²**.

$$S_{duna} = 30.00\ m \times 3.00\ m = 90.00\ m^2$$
$$S_{total} = 6 \times 90.00\ m^2 = 540.00\ m^2$$

Volumen de arena para el hidrollenado

El Proyecto contempla la utilización de seis geotubos de 30.00 m de longitud para la conformación del núcleo de las dunas artificiales. Para efectos de la estimación preliminar se consideró una capacidad volumétrica de 1.49 m³ de arena por metro lineal, obteniéndose un requerimiento aproximado de 44.70 m³ por elemento y un volumen total de **268.20 m³ de arena** para el hidrollenado de los seis geotubos.

Nota técnica: La capacidad volumétrica corresponde a un parámetro preliminar de diseño compatible con la geometría propuesta. El volumen definitivo deberá verificarse mediante la ficha técnica y la simulación específica del geotubo seleccionado, considerando su circunferencia, altura, sección llena y porcentaje máximo de llenado.

El volumen requerido para cada geotubo será:

$$V_{geotubo} = 30.00\ m \times 1.4899\ m^3/m = 44.70\ m^3$$

Por consiguiente, el volumen de arena requerido para el hidrollenado de los seis geotubos será:

$$V_{hidrollenado} = 6 \times 44.70\ m^3 = 268.20\ m^3$$

Volumen de arena para la cubierta exterior

Sobre el núcleo de geotextil se colocará una cubierta de arena con un espesor aproximado de **0.30 m**, destinada a cubrir el material sintético y proporcionar el sustrato para la revegetación.
El volumen estimado de la cubierta para cada duna será:

$$V_{\text{cubierta por duna}} = 30.00\ \text{m} \times 3.00\ \text{m} \times 0.30\ \text{m} = 27.00\ \text{m}^3$$

Para las seis dunas:

$$V_{\text{cubierta total}} = 6 \times 27.00\ \text{m}^3 = 162.00\ \text{m}^3$$

Por lo tanto, el requerimiento integral de arena será:

$$V_{\text{total}} = 268.20 + 162.00 = 430.20\ \text{m}^3$$

Tabla 39. Especificaciones técnicas y volumen estimado de arena para las dunas artificiales

Elemento	Cantidad	Longitud por elemento (m)	Ancho aproximado (m)	Circunferencia del geotubo (m)	Altura máxima de llenado (m)	Superficie por elemento (m^2)	Arena para hidrollenado por elemento (m^3)	Arena para cubierta por elemento (m^3)	Volumen total por elemento (m^3)
Duna artificial con núcleo de geotextil	6	30.00	3.00	6.80	1.30	90.00	44.70	27.00	71.70
Total	**6**	**180.00**	—	—	—	**540.00**	**268.20**	**162.00**	**430.20**

Anotaciones técnicas

- El volumen de **268.20 m^3** corresponde exclusivamente a la arena utilizada para el hidrollenado de los seis geotubos.
- El volumen de **162.00 m^3** corresponde a una cubierta de arena de 0.30 m calculada sobre la superficie en planta de las seis dunas.
- El volumen integral estimado para la conformación de las dunas artificiales será de **430.20 m^3 de arena**.
- El cálculo supone que los seis geotubos tendrán la misma sección transversal, porcentaje de llenado y características que el elemento utilizado como referencia.

- La altura de 1.30 m corresponde a la altura máxima del núcleo de geotextil lleno; la configuración exterior podrá modificarse ligeramente al colocar la cubierta de arena.
- El volumen de la cubierta constituye una estimación basada en la superficie horizontal de las dunas. Si la arena se coloca siguiendo completamente los taludes y la superficie curva del núcleo.

PASOS DE DUNA:

El Proyecto contempla la habilitación de **seis pasos de duna**, cuya finalidad será ordenar y concentrar el tránsito peatonal en sitios previamente definidos, evitando el paso disperso sobre las dunas artificiales y las áreas destinadas a la revegetación.

Cada paso tendrá dimensiones aproximadas de **5.00 m de longitud por 2.00 m de ancho**, equivalentes a una superficie individual de **10.00 m²**. En conjunto, los seis pasos de duna ocuparán una superficie total de **60.00 m²**.

La superficie individual se obtiene mediante:

$$S_{paso}=5.00\ m\times 2.00\ m=10.00\ m^2$$

La superficie total correspondiente a los seis pasos será:

$$S_{total}=6\times 10.00\ m^2=60.00\ m^2$$

Los pasos se ubicarán entre las secciones de duna artificial, conforme al plano de conjunto del Proyecto. Su delimitación permitirá mantener la continuidad de las áreas restauradas y reducir el pisoteo, la compactación del sustrato, la pérdida de arena y el deterioro de la vegetación costera.

Tabla 40. Especificaciones técnicas de los pasos de duna

Elemento	Cantidad	Longitud por elemento (m)	Ancho por elemento (m)	Superficie por elemento (m²)	Longitud conjunta (m)	Superficie total (m²)
Paso de duna	6	5.00	2.00	10.00	30.00	60.00

Anotaciones técnicas

- Cada paso de duna tendrá una superficie de **10.00 m²**.
- Los seis pasos comprenderán una superficie total de **60.00 m²**.
- La longitud conjunta de 30.00 m corresponde a la suma de las longitudes individuales de los seis pasos y no representa un corredor continuo.

- Los pasos se distribuirán de manera intermitente entre las dunas artificiales, de acuerdo con su ubicación en el plano del Proyecto.
- El ancho de **2.00 m** permitirá delimitar el área autorizada para el tránsito peatonal y evitar la apertura de senderos adicionales.
- No se deberá permitir el tránsito peatonal fuera de los pasos delimitados, con la finalidad de evitar la compactación de la arena y el daño a la vegetación.
- La superficie de los pasos se contabiliza de manera independiente de los **540.00 m²** correspondientes a las seis dunas artificiales.

BANCO DE ARENA

Para el suministro de arena requerido por las obras del Proyecto se considera el sitio denominado **Banco IRRM**, delimitado mediante un polígono de 12 vértices. De acuerdo con la información técnica disponible, el banco comprende una superficie aproximada de **35,003.00 m²**, con un espesor promedio aprovechable de **0.88 m**, a una profundidad aproximada de **5.00 m**.

A partir de estas dimensiones se estima un volumen disponible de aproximadamente **30,802.00 m³ de arena**, conforme a la delimitación y volumetría representadas en el plano.

Tabla 41. Especificaciones técnicas del Banco IRRM

Banco de arena	Número de vértices	Superficie (m^2)	Espesor promedio aprovechable (m)	Profundidad aproximada (m)	Volumen estimado (m^3)
Banco IRRM	12	35,003.00	0.88	5.00	30,802.00

El volumen teórico se obtiene mediante:

$$V = S \times e$$

$$V = 35{,}003.00\ m^2 \times 0.88\ m = 30{,}802.64\ m^3$$

El resultado calculado es congruente, por redondeo, con los **30,802.00 m³** indicados en la volumetría.

Nota técnica: *La superficie y el volumen corresponden al polígono delimitado para el Banco IRRM. El volumen estimado se calculó considerando un espesor promedio uniforme de 0.88 m. El volumen efectivamente aprovechable deberá ajustarse a las condiciones reales del sedimento y a los límites establecidos en la autorización correspondiente.*

ANEXOS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS: Las especificaciones técnicas, planos y archivos geoespaciales correspondientes a las obras que integran el Proyecto se presentan en la carpeta de **Anexos**, específicamente en la subcarpeta denominada **"2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS OBRAS"**. Para facilitar su identificación y consulta, la información se encuentra organizada en seis subcarpetas: **1. Etapa 1**, correspondiente a las barreras de contención; **2. Etapa 2**, relativa a las barreras rompeolas; **3. Etapa 3**, referente al vertido de arena;

4. Dunas, que contiene la información de las dunas artificiales y los pasos de duna; **5. Banco de arena**, correspondiente al Banco IRRM.

Dentro de cada subcarpeta se incluyen, según corresponda, los archivos técnicos y cartográficos en formatos **CSV, DWG, DXF, KML, PDF y SHP**, los cuales contienen los cuadros de coordenadas, polígonos de intervención, planos constructivos, delimitación espacial, superficies, dimensiones y demás especificaciones asociadas con cada componente del Proyecto. Estos archivos permiten consultar la ubicación georreferenciada y las características técnicas de las obras, así como verificar su correspondencia con la información presentada en esta Manifestación de Impacto Ambiental.

I.4.6 Superficies generales del Proyecto

Las obras del Proyecto comprenden componentes ubicados tanto en la Zona Federal Marítimo Terrestre y playa seca como en la zona marina. Para efectos del presente resumen, las áreas de vertido de arena, dunas artificiales y pasos de duna se consideran dentro de la superficie que quedará conformada como playa seca; mientras que las barreras de contención, las barreras rompeolas y el banco de arena se consideran dentro de la zona marina.

Tabla 42. Distribución de superficies en ZFMT/playa seca y zona marina

Zona de ubicación	Etapa o componente	Elemento	Cantidad	Superficie individual (m²)	Superficie total (m²)
ZFMT */ playa seca	Etapa 3. Vertido de arena	Vertido V1	1 polígono	1,090.65	1,090.65
	Etapa 3. Vertido de arena	Vertido V2	1 polígono	1,479.10	1,479.10
	Restauración del sistema dunar	Dunas artificiales 1–6	6	90.00	540.00
	Acceso peatonal controlado	Pasos de duna 1–6	6	10.00	60.00
Subtotal ZFMT/playa seca	—	—	—	—	**3,169.75**
Zona marina	Etapa 1. Barreras de contención	Barrera de Contención C1	1	238.80	238.80
	Etapa 1. Barreras de contención	Barrera de Contención C2	1	301.80	301.80
	Etapa 2. Barreras rompeolas	Geotubos G1–G18	18	50.00	900.00
Subtotal de obras en zona marina	—	—	—	—	**1,440.60**
Zona marina: banco de arena	Extracción de material	Banco IRRM	1 polígono	35,003.00	35,003.00

Zona de ubicación	Etapa o componente	Elemento	Cantidad	Superficie individual (m^2)	Superficie total (m^2)
Subtotal zona marina, incluido el banco	—	—	—	—	36,443.60
SUPERFICIE TOTAL DEL PROYECTO	—	—	—	—	39,613.35

* La concesión de ZOFEMAT se encuentra en trámite desde enero de 2025, con número de bitácora **09/KU-0018/01/25**

La integración queda de la siguiente forma:

$$S_{ZFMT/playa\ seca}=1,090.65+1,479.10+540.00+60.00=3,169.75\ \ m^2$$

$$S_{obras\ marinas}=238.80+301.80+900.00=1,440.60\ \ m^2$$

$$S_{zona\ marina\ con\ banco}=1,440.60+35,003.00=36,443.60\ \ m^2$$

$$S_{total}=3,169.75+36,443.60=39,613.35\ \ m^2$$

- Nota 1: La superficie de 3,169.75 m^2 agrupa los componentes que se prevé quedarán en ZFMT y playa seca: vertido de arena, dunas artificiales y pasos de duna.
- Nota 2: La superficie de las obras marinas frente al hotel será de 1,440.60 m^2, integrada por las barreras de contención y las barreras rompeolas.
- Nota 3: El Banco IRRM comprende 35,003.00 m^2 y se presenta separadamente dentro de la zona marina, porque constituye el área de extracción de arena y no forma parte del desplante de las obras frente al hotel.
- Nota 4: La superficie total de 39,613.35 m^2 corresponde a la suma aritmética de las áreas reportadas. No representa un polígono continuo de intervención.

1.4.7 Indicar los tipos de obras o actividades del Proyecto conforme al artículo 5 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental

Artículo 5o.- Quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización de la Secretaría en materia de impacto ambiental:

A) HIDRAULICAS;
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:

a) Las que tengan como propósito la protección, embellecimiento y ornato, mediante la utilización de especies nativas;
b) Las actividades recreativas cuando no requieran de algún tipo de obra civil, y
c) La construcción de viviendas unifamiliares para las comunidades asentadas en los ecosistemas costeros

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

I. Cualquier tipo de obra civil, con excepción de la construcción de viviendas unifamiliares para las comunidades asentadas en estos ecosistemas, y

II. Cualquier actividad que tenga fines u objetivos comerciales, con excepción de las actividades pesqueras que no se encuentran previstas en la fracción XII del artículo 28 de la Ley, y que de acuerdo con la Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentables y su reglamento no requieren de la presentación de una manifestación de impacto ambiental, así como de las de navegación, autoconsumo o subsistencia de las comunidades asentadas en estos ecosistemas.

S) OBRAS EN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS:

Cualquier tipo de obra o instalación dentro de las áreas naturales protegidas de competencia de la Federación.

I.4.8 Inversión requerida

Para la ejecución de las obras se estima una inversión directa preliminar de $12,993,680.37 (doce millones novecientos noventa y tres mil seiscientos ochenta pesos 37/100 M.N.). Para la integración del presupuesto se consideraron:

- 14 geotubos para las barreras de contención C1 y C2.
- 18 geotubos para las barreras rompeolas.
- Un volumen conjunto de 2,658.16 m³ para el hidrollenado de los geotubos de las etapas 1 y 2.
- Un volumen de 8,084.43 m³ para el vertido de arena en V1 y V2.
- Seis dunas artificiales con núcleo de geotextil.
- Aproximadamente 1,350 plantas costeras nativas.
- Seis pasos elevados de duna.
- Control topográfico durante la ejecución de las obras.

Los importes son preliminares y podrán modificarse como resultado de la disponibilidad de materiales, las condiciones operativas del Banco IRRM y los términos y condicionantes establecidos por las autoridades competentes.

Tabla 43.Estimación preliminar de la inversión directa requerida para las obras del Proyecto

Partida	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario actualizado	Importe estimado
1	**Barreras de contención y barreras rompeolas**				
1.1	Suministro y colocación de geotubos para las etapas 1 y 2, considerando el volumen de hidrollenado	2,658.16	m³	$2,354.24	$6,257,951.92
1.2	Suministro y colocación de señalización marina	2	servicios	$64,328.00	$128,656.00
	Subtotal de barreras de contención y rompeolas				**$6,386,607.92**
2	**Dunas artificiales, revegetación y pasos de duna**				
2.1	Suministro y colocación de seis geotubos con tapete antisocavación para la conformación de las dunas artificiales	268.20	m³	$4,356.22	$1,168,338.20
2.2	Renta y operación de maquinaria, incluyendo operador y combustible	10.39[1]	semanas	$62,040.00	$644,571.43
2.3	Suministro de plantas costeras nativas procedentes de viveros autorizados	1,350	piezas	$66.00	$89,100.00
2.4	Maniobras, riego y mantenimiento inicial para el establecimiento de la vegetación	6	meses	$118,800.00	$712,800.00
2.5	Suministro de materiales y construcción de pasos elevados de duna	6	piezas	$247,500.00	$1,485,000.00
2.6	Extracción, conducción y colocación de arena para la	162.00	m³	$171.67	$27,809.89

Partida	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario actualizado	Importe estimado
	cubierta exterior de 0.30 m de las dunas				
	Subtotal de dunas artificiales, revegetación y pasos de duna				**$4,127,619.52**
3	**Vertido, extendido y nivelación de arena**				
3.1	Extracción, conducción, vertido, extendido y nivelación de arena procedente del Banco IRRM	8,084.43	m^3	$171.67	$1,387,821.77
3.2	Renta y operación de maquinaria, incluyendo operador y combustible	10.06[1]	semanas	$62,040.00	$624,131.16
	Subtotal del vertido de arena				**$2,011,952.93**
4	**Control topográfico**				
4.1	Trazo, nivelación y control de las obras mediante cuadrilla topográfica	25	semanas	$18,700.00	$467,500.00
	Subtotal de control topográfico				**$467,500.00**
	Inversión directa estimada de las obras				**$12,993,680.37**

Costo estimado de las medidas ambientales

Para efectos de previsión presupuestal se considera destinar un monto equivalente al **15 % de la inversión directa de las obras** para la elaboración, implementación y seguimiento de las medidas de prevención, mitigación, compensación y restauración ambiental.

Esta previsión podrá comprender, entre otros conceptos:

- Aplicación del Programa de Rescate, Ahuyentamiento y Reubicación de Fauna Marina.
- Supervisión y vigilancia ambiental de los frentes terrestres y marinos.
- Protección de tortugas marinas y atención de posibles eventos de anidación.
- Instalación y supervisión de mallas antidispersión.
- Seguimiento del aprovechamiento del Banco IRRM.
- Monitoreo del perfil de playa y del comportamiento de los sedimentos.
- Inspección de los geotubos y sus sistemas de anclaje.

- Seguimiento de la revegetación de las dunas.
- Reposición de plantas durante el periodo de establecimiento.
- Manejo de residuos y atención de derrames accidentales.
- Elaboración de informes y cumplimiento de términos y condicionantes.

El porcentaje señalado no constituye una tarifa establecida, sino una reserva presupuestal preliminar destinada a garantizar la disponibilidad de recursos para atender las obligaciones ambientales asociadas con el Proyecto. Se adaptará finalmente a las medidas de mitigación, compensación y prevención, así como de los Programas Ambientales que resulten al final del proceso de evaluación de impacto ambiental.

La inversión directa estimada es:

$$I_{obra}=\$12,993,680.37$$

Por lo tanto:

$$C_{medidas}=\$12,993,680.37\times 0.15$$

$$C_{medidas}=\$1,949,052.06$$

Tabla 44. Integración de la inversión estimada del Proyecto y previsión para medidas ambientales

Concepto	Base de cálculo	Porcentaje	Importe estimado
Inversión directa estimada de las obras	—	—	$12,993,680.37
Previsión para gestión, seguimiento y medidas ambientales	$12,993,680.37	15 %	$1,949,052.06
Inversión total estimada del Proyecto	—	—	**$14,942,732.43**

De manera preliminar, se estima destinar **$1,949,052.06** (un millón novecientos cuarenta y nueve mil cincuenta y dos pesos 06/100 M.N.) para la gestión, implementación y seguimiento de las medidas ambientales.

*En consecuencia, la inversión total preliminar del Proyecto será de **$14,942,732.43** (catorce millones novecientos cuarenta y dos mil setecientos treinta y dos pesos 43/100 M.N.).*

I.4.9 Características particulares del Proyecto

Las obras se distribuirán en la zona marina y la porción de playa seca comprendida dentro de la Zona Federal Marítimo Terrestre. De manera asociada, se considera el aprovechamiento controlado del banco de arena identificado como Banco IRRM, cuyo material será utilizado para el llenado de los elementos de geotextil y la restitución del perfil arenoso.

Las características principales de los componentes se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 45. Características particulares de las obras que integran el Proyecto

Componente	Ubicación general	Cantidad	Dimensiones y características principales	Superficie
Etapa 1. Barreras de contención C1 y C2	Franja marina próxima al frente costero	14 geotubos	20.00 m de longitud y 2.00 m de diámetro por elemento; longitud nominal acumulada de 280.00 m y longitud efectiva aproximada de 269.09 m	540.60 m²
Etapa 2. Barreras rompeolas	Zona marina somera, a mayor distancia de la costa	18 geotubos	20.00 m de longitud y 2.50 m de diámetro por elemento; superficie individual de 50.00 m²	900.00 m²
Etapa 3. Vertido controlado de arena	Frente costero, polígonos V1 y V2	2 polígonos	Longitud aproximada de intervención de 257.62 m; ancho variable definido por los polígonos del Proyecto.	2,569.75 m²
Dunas artificiales	ZFMT	6 secciones	30.00 m de longitud y 3.00 m de ancho por sección; núcleo de geotextil con altura máxima de llenado de 1.30 m y cobertura arenosa aproximada de 0.30 m	540.00 m²
Pasos de duna	Espacios previstos entre las secciones de duna	6 pasos	5.00 m de longitud y 2.00 m de ancho por paso	60.00 m²
Banco de arena IRRM	Zona marina definida en el plano correspondiente	1 polígono	Área de 35,003.00 m²; espesor medio aprovechable estimado de 0.88 m y volumen disponible aproximado de 30,802.00 m³	35,003.00 m²

La superficie correspondiente al banco de arena se reporta de manera independiente, dado que constituye un área de aprovechamiento de material y no una superficie ocupada permanentemente por las obras del frente costero.

I.4.9.1 Etapa 1. Barreras de contención

La primera etapa contempla la instalación de 14 geotubos de 20.00 m de longitud y 2.00 m de diámetro, distribuidos en dos tramos identificados como C1 y C2. En conjunto, las piezas representan

una longitud nominal de 280.00 m; sin embargo, debido a su disposición, uniones y adecuación a la configuración del frente costero, la obra presenta una longitud efectiva aproximada de 269.09 m.

El tramo C1 ocupará aproximadamente 238.80 m² y el tramo C2 aproximadamente 301.80 m², dando como resultado una superficie total de 540.60 m². El volumen estimado de arena requerido para su llenado será de 879.76 m³.

Los elementos serán fabricados con geotextil tejido de alta resistencia, con características iguales o equivalentes a TR4000, sujeto a la validación del diseño ejecutivo, las condiciones de instalación y las especificaciones del fabricante.

Su función será disminuir la incidencia directa del oleaje sobre determinados sectores del frente costero, favorecer la retención de sedimentos y contribuir a la estabilización del material arenoso incorporado al sistema.

I.4.9.2 Etapa 2. Barreras rompeolas

La segunda etapa estará integrada por 18 geotubos de 20.00 m de longitud y 2.50 m de diámetro, colocados en la zona marina somera mediante secciones discontinuas. Cada elemento tendrá una superficie aproximada de 50.00 m², por lo que la superficie total de esta etapa será de 900.00 m².

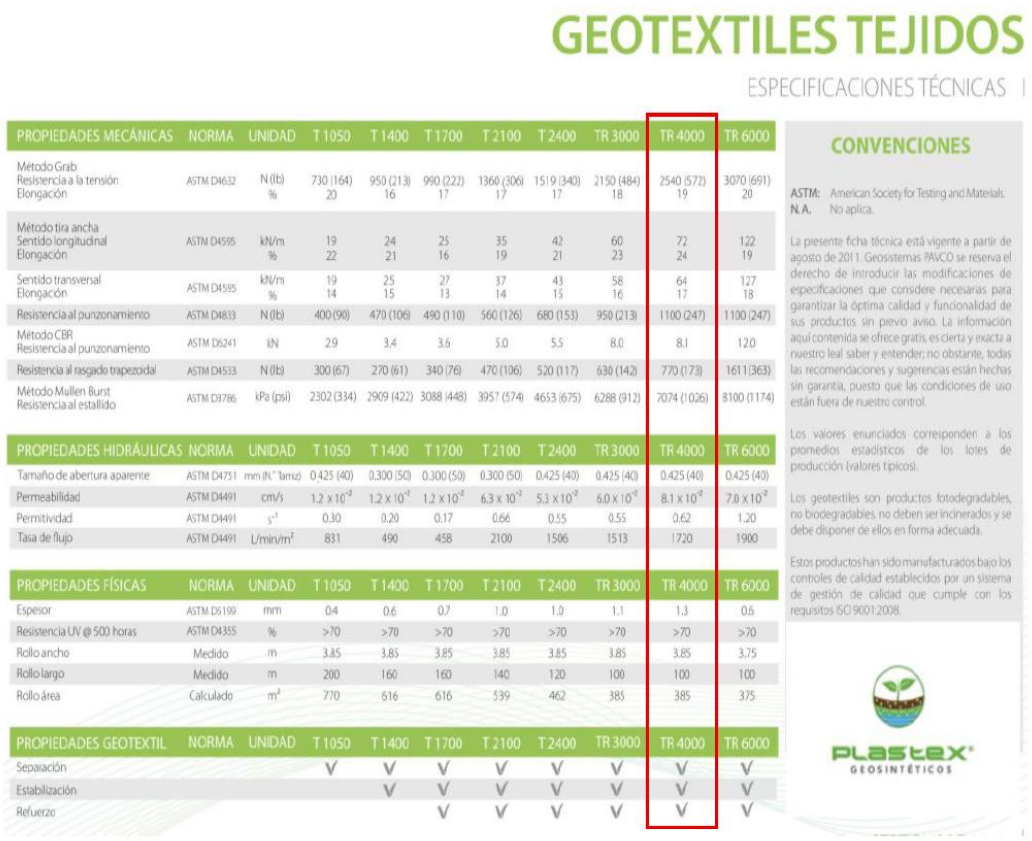
La longitud nominal acumulada de los elementos será de 360.00 m. El volumen estimado de llenado será de 98.80 m³ por geotubo, equivalente a un volumen total aproximado de 1,778.40 m³ de arena. Los elementos serán fabricados con geotextil tejido de alta resistencia, con características iguales o equivalentes a TR600 HF, sujeto a la validación del diseño ejecutivo y de las solicitaciones hidrodinámicas del sitio.

La disposición discontinua permitirá atenuar parcialmente la energía del oleaje sin establecer un cierre completo de la circulación del agua.

Geotextil a utilizar

- 1ra Etapa BARRERA DE CONTENCION: El geotextil a utilizar para la fabricación de Geotubos o Geocostales para conformar la barrera de contención será la **TR4000** de la marca **PLASTEX GEOSINTETICOS.**

- 2da Etapa BARERRA ROMPEOLAS: El geotextil a utilizar para la fabricación de Geotubos o Geocostales para conformar la barrera de contención será la **TR600 HF** de la marca **PLASTEX GEOSINTETICOS.**



GEOTEXTILES TEJIDOS

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	UNIDAD	T 1050	T 1400	T 1700	T 2100	T 2400	TR 3000	TR 4000	TR 6000
Método Grab Resistencia a la tensión Elongación	ASTM D4632	N (lb) %	730 (164) 20	950 (213) 16	990 (222) 17	1360 (306) 17	1519 (340) 17	2150 (484) 18	2540 (572) 19	3070 (691) 20
Método tira ancha Sentido longitudinal Elongación	ASTM D4595	kN/m %	19 22	24 21	25 16	35 19	42 21	60 23	72 24	122 19
Sentido transversal Elongación	ASTM D4595	kN/m %	19 14	25 15	27 13	37 14	43 15	58 16	64 17	127 18
Resistencia al punzonamiento	ASTM D4833	N (lb)	400 (90)	470 (106)	490 (110)	560 (126)	680 (153)	950 (213)	1100 (247)	1100 (247)
Método CBR Resistencia al punzonamiento	ASTM D6241	kN	2.9	3.4	3.6	5.0	5.5	8.0	8.1	12.0
Resistencia al rasgado trapezoidal	ASTM D4533	N (lb)	300 (67)	270 (61)	340 (76)	470 (106)	520 (117)	630 (142)	770 (173)	1611 (363)
Método Mullen Burst Resistencia al estallido	ASTM D3786	kPa (psi)	2302 (334)	2909 (422)	3088 (448)	3957 (574)	4653 (675)	6288 (912)	7074 (1026)	8100 (1174)

PROPIEDADES HIDRÁULICAS	NORMA	UNIDAD	T 1050	T 1400	T 1700	T 2100	T 2400	TR 3000	TR 4000	TR 6000
Tamaño de abertura aparente	ASTM D4751	mm (N.° Tamiz)	0.425 (40)	0.300 (50)	0.300 (50)	0.300 (50)	0.425 (40)	0.425 (40)	0.425 (40)	0.425 (40)
Permeabilidad	ASTM D4491	cm/s	1.2×10^{-2}	1.2×10^{-1}	1.2×10^{-2}	6.3×10^{-2}	5.3×10^{-2}	6.0×10^{-2}	8.1×10^{-2}	7.0×10^{-2}
Permitividad	ASTM D4491	s^{-1}	0.30	0.20	0.17	0.66	0.55	0.55	0.62	1.20
Tasa de flujo	ASTM D4491	L/min/m²	831	490	458	2100	1506	1513	1720	1900

PROPIEDADES FÍSICAS	NORMA	UNIDAD	T 1050	T 1400	T 1700	T 2100	T 2400	TR 3000	TR 4000	TR 6000
Espesor	ASTM D5199	mm	0.4	0.6	0.7	1.0	1.0	1.1	1.3	0.6
Resistencia UV @ 500 horas	ASTM D4355	%	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70
Rollo ancho	Medido	m	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.75
Rollo largo	Medido	m	200	160	160	140	120	100	100	100
Rollo área	Calculado	m²	770	616	616	539	462	385	385	375

PROPIEDADES GEOTEXTIL	NORMA	UNIDAD	T 1050	T 1400	T 1700	T 2100	T 2400	TR 3000	TR 4000	TR 6000
Separación			V	V	V	V	V	V	V	V
Estabilización				V	V	V	V	V	V	V
Refuerzo					V	V	V	V	V	V

CONVENCIONES

ASTM: American Society for Testing and Materials.
N.A. No aplica.

La presente ficha técnica está vigente a partir de agosto de 2011. Geosistemas PAVCO se reserva el derecho de introducir las modificaciones de especificaciones que considere necesarias para garantizar la óptima calidad y funcionalidad de sus productos sin previo aviso. La información aquí contenida se ofrece gratis, es cierta y exacta a nuestro leal saber y entender; no obstante, todas las recomendaciones y sugerencias están hechas sin garantía, puesto que las condiciones de uso están fuera de nuestro control.

Los valores enunciados corresponden a los promedios estadísticos de los lotes de producción (valores típicos).

Los geotextiles son productos fotodegradables, no biodegradables, no deben ser incinerados y se debe disponer de ellos en forma adecuada.

Estos productos han sido manufacturados bajo los controles de calidad establecidos por un sistema de gestión de calidad que cumple con los requisitos ISO 9001:2008.

plastex® GEOSINTÉTICOS

Figura 11. Características técnicas de los geotextiles TR 4000 considerados para las barreras de la etapa 1.

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	UNIDAD	TR5000 HF	TR6000 HF	TR7000 HF
Método Grab Resistencia a la Tensión Elongación	ASTM D4632	N %	2800 13	3300 19	4200 14
Método de la Tira Ancha Sentido Longitudinal Elongación	ASTM D4595	kN/m %	90 13	110 13	140 14
Sentido Transversal Elongación	ASTM D4595	kN/m %	90 14	110 14	140 14
Resistencia al Punzonamiento CBR	ASTM D6241	kN	9.0	10.0	12.0
Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D4533	N	1300	1800	3400
PROPIDADES HIDRÁULICAS	**NORMA**	**UNIDAD**	**TR5000 HF**	**TR6000 HF**	**TR7000 HF**
Tasa de Flujo en el Plano	ASTM D4716[3]	l/h-m	11.26	12.24	13.09
Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D4751	mm (Tamiz)	0.425 (40)	0.425 (40)	0.300 (60)
Permeabilidad	ASTM D4491	cm/s	12.0×10^{-2}	9.0×10^{-2}	4.70×10^{-2}
Permitividad	ASTM D4491	s^{-1}	0.97	0.60	0.36
Tasa de flujo	ASTM D4491	l/min/m²	2430	1800	1024
PROPIEDADES FÍSICAS	**NORMA**	**UNIDAD**	**TR5000 HF**	**TR6000 HF**	**TR7000 HF**
Espesor	ASTM D5199	mm	1.20	1.40	1.50
Resistencia UV (%Retenido@500 hr)	ASTM D4355	%	>70	>70	>70
Rollo ancho	Medido	m	3.85	3.85	3.85
Rollo largo	Medido	m	100	80	80
Rollo área	Calculado	m²	385	308	308

Nota:
1. Los valores de las propiedades de esta especificación son vigentes a partir de marzo de 2021 y están sujetos a modificaciones sin previo aviso.
2. Los valores publicados corresponden al sentido más desfavorable del Geotextil. Los Valores MARV corresponden a los valores promedio menos dos veces la desviación estándar.
3. Ensayo modificado ajustando algunos parámetros en combinación con la ISO12958 e incluyendo aditamentos especiales para optimizar el ensayo en bajos espesores.
4. La fabricación de nuestras soluciones opera bajo un sistema integrado de gestión de acuerdo con los requerimientos de las normas (ISO 9001; ISO 14001; OHSAS 18001).
   Los valores de las propiedades que aparecen en esta especificación son obtenidos en nuestro laboratorio de control de calidad que cuenta con acreditación GAI LAP (The Geosynthetic Institute).

CONVENCIONES:
ASTM: American Society for Testing and Materials. • **N. A.:** No aplica.

Operamos bajo sistemas internacionales de control de calidad; Contamos con la acreditación **GAI LAP (The Geosynthetic Institute).**

La presente ficha técnica está vigente a partir de mayo de 2021. Nos reservamos el derecho de introducir las modificaciones de especificaciones que considere necesarias para garantizar la óptima calidad y funcionalidad de sus productos sin previo aviso. La información aquí contenida se ofrece gratis, es cierta y exacta a nuestro leal saber y entender; no obstante, todas las recomendaciones y sugerencias están hechas sin garantía, puesto que las condiciones de uso están fuera de nuestro control y es responsabilidad exclusiva del usuario. Por favor verificar los datos de esta especificación con el Departamento de Ingeniería para confirmar que la información está vigente.

Figura 12. Características técnicas de los geotextiles TR6000 HF considerados para las barreras de la etapa 2.



Figura 13. Ventajas técnicas de los geotextiles considerados para las barreras de las etapas 1 y 2.

I.4.9.3 Etapa 3. Vertido controlado de arena

La tercera etapa comprende la aportación, distribución y nivelación controlada de arena dentro de dos polígonos identificados como V1 y V2. El polígono V1 tendrá una superficie de 1,090.65 m² y el polígono V2 una superficie de 1,479.10 m², para una superficie total de intervención de 2,569.75 m².

La longitud aproximada del frente de intervención será de 257.62 m. Debido a las diferencias observadas entre los documentos antecedentes respecto del ancho del vertido, la delimitación de esta obra se sustentará en los polígonos y coordenadas del plano ingresado, sin establecer un ancho uniforme para toda la superficie.

El volumen calculado para V1 será de 3,507.61 m³ y para V2 de 4,576.82 m³, dando como resultado un volumen total aproximado de 8,084.43 m³ de arena. La arena será extendida y nivelada con una pendiente compatible con la configuración morfológica del sitio, evitando la formación de montículos, depresiones, escarpes artificiales o superficies innecesariamente compactadas.

I.4.9.4 Dunas artificiales

Se conformarán seis secciones de duna artificial, cada una de 30.00 m de longitud por 3.00 m de ancho, equivalentes a 90.00 m² por sección y a una superficie conjunta de 540.00 m². Cada duna

contará con un núcleo constituido por un tubo de geotextil de alta tenacidad, con longitud aproximada de 30.00 m, circunferencia preliminar de 6.80 m y altura máxima de llenado de 1.30 m.

El volumen preliminar de llenado será de aproximadamente 44.70 m³ por elemento, equivalente a 268.20 m³ para los seis núcleos. Sobre los núcleos se colocará una cobertura arenosa promedio de 0.30 m, equivalente a 27.00 m³ por duna y 162.00 m³ para las seis secciones. En consecuencia, el volumen total preliminar de arena requerido para la conformación de las dunas será de aproximadamente 430.20 m³.

La geometría definitiva deberá suavizarse mediante taludes tendidos e irregulares, evitando que la obra adopte una apariencia prismática. Los elementos de geotextil deberán permanecer cubiertos con arena durante la operación del Proyecto.

Las dunas artificiales tendrán como propósito recup erar parte de las funciones físicas y ambientales del componente dunar, entre ellas la retención de arena transportada por el viento, la disminución de la erosión eólica, el almacenamiento temporal de sedimentos, el amortiguamiento ante eventos hidrometeorológicos y el establecimiento de vegetación nativa asociada al litoral.

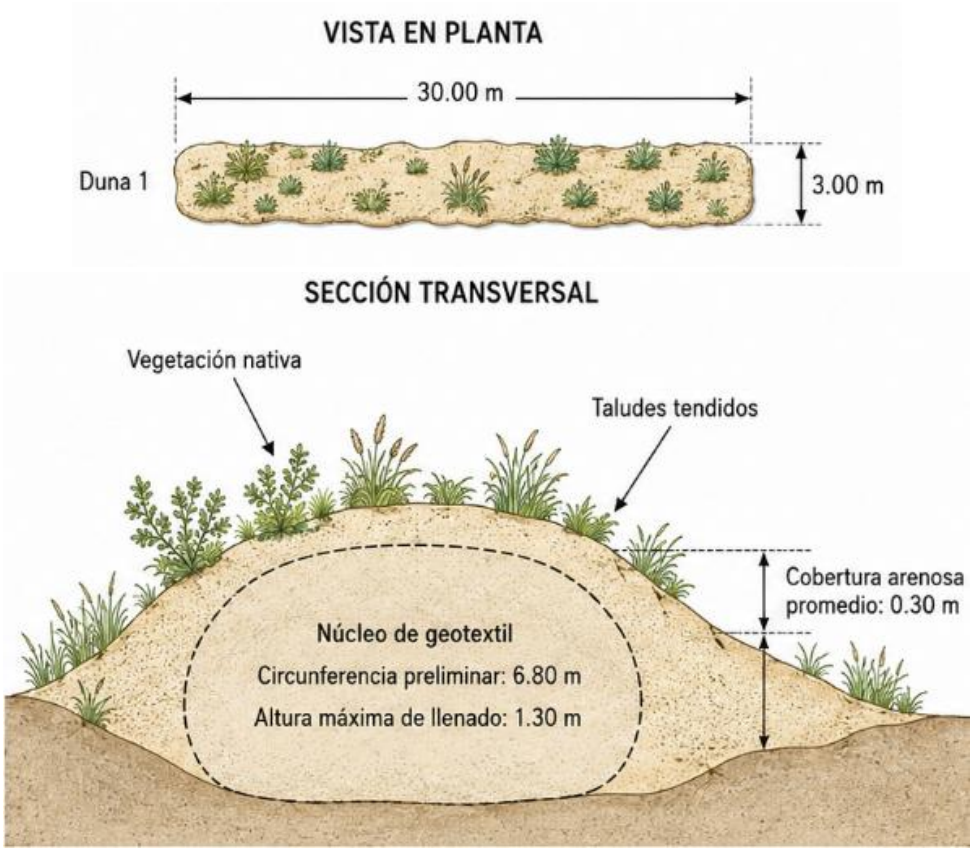


Figura 14. Esquema conceptual de la configuración en planta y sección transversal de las dunas artificiales. Se muestra la distribución de sus dimensiones generales, el núcleo de geotextil, la cobertura arenosa, los taludes suavizados y la revegetación con especies nativas. El esquema es ilustrativo.

I.4.9.5 Revegetación de las dunas artificiales

La superficie de las dunas será revegetada con especies nativas de playa y duna costera, adquiridas en viveros autorizados y, preferentemente, de procedencia regional. No se utilizarán especies invasoras, ejemplares extraídos de poblaciones silvestres ni especies ajenas a los ecosistemas costeros de Quintana Roo. Se propone una densidad promedio inicial de 2.5 plantas por metro cuadrado. Para una superficie de 540.00 m² se estima la plantación aproximada de 1,350 ejemplares.

La distribución será irregular y en tresbolillo, evitando alineamientos rígidos. Las especies rastreras, herbáceas y gramíneas se plantarán con espaciamientos aproximados de 0.50 a 0.70 m, mientras que los arbustos se distribuirán a distancias de entre 1.20 y 1.50 m.

Tabla 46. Propuesta preliminar de revegetación de las dunas artificiales

Estrato	Especie propuesta	Nombre común de referencia	Cantidad aproximada	Espaciamiento
Rastrero	*Ipomoea pes-caprae*	Riñonina de playa	324	0.50–0.70 m
Rastrero	*Canavalia rosea*	Frijol de playa	270	0.50–0.70 m
Herbáceo/gramínea	*Sporobolus virginicus*	Zacate de playa	216	0.50–0.70 m
Herbáceo suculento	*Sesuvium portulacastrum*	Verdolaga de playa	162	0.50–0.70 m
Gramínea	*Uniola paniculata*	Avena de mar	108	0.60–0.80 m
Arbustivo	*Scaevola plumieri*	Inkberry o tabaquillo de playa	162	1.20–1.50 m
Arbustivo	*Suriana maritima*	Pantsil o bay cedar	108	1.20–1.50 m
Total estimado			**1,350 plantas**	

La composición podrá ajustarse con base en el levantamiento florístico del sitio, la disponibilidad de ejemplares en viveros autorizados y las recomendaciones del responsable ambiental. Se mantendrá la densidad general y se evitará sustituir especies nativas por ornamentales.

Las especies rastreras y pioneras se concentrarán en las superficies con mayor exposición al viento y en los taludes frontales. Las gramíneas se colocarán principalmente en las zonas media y alta de las dunas, mientras que los elementos arbustivos se distribuirán preferentemente hacia la porción posterior.

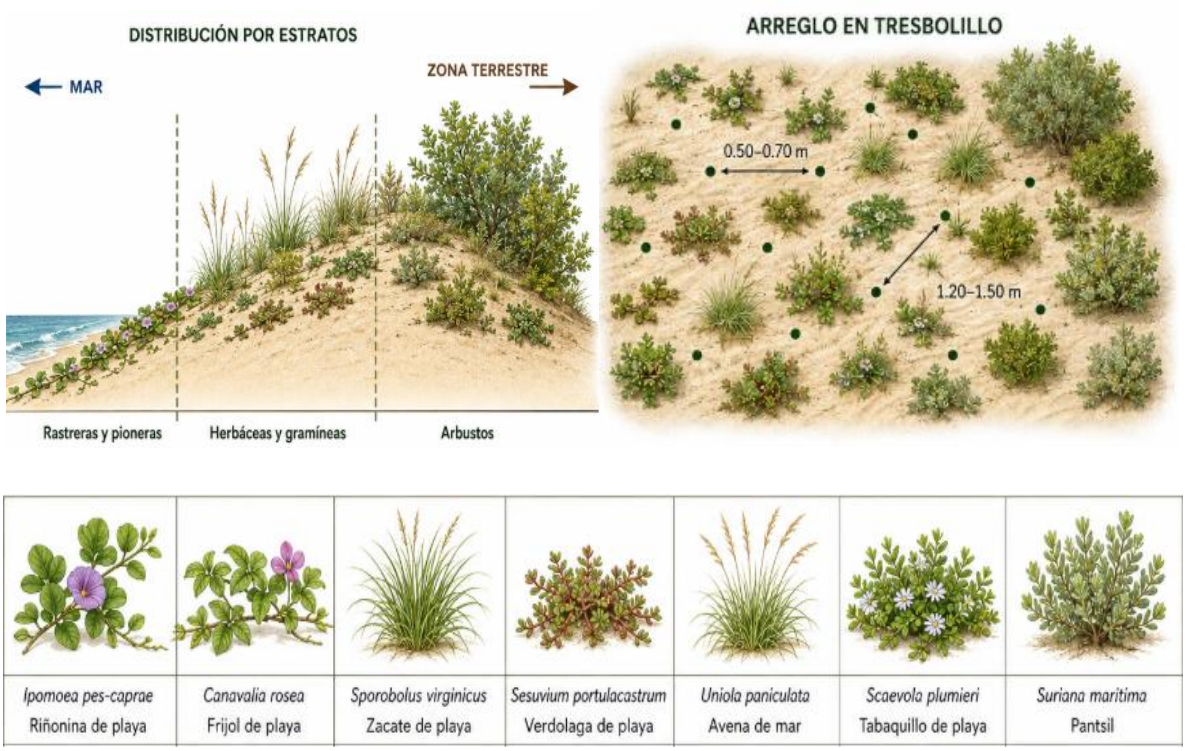


Figura 15. Esquema conceptual de revegetación de las dunas artificiales. Se representa la distribución propuesta de especies rastreras y pioneras en el talud frontal, herbáceas y gramíneas en las zonas media y alta, y elementos arbustivos hacia la porción terrestre, mediante un arreglo irregular en tresbolillo.

I.4.9.6 Sistema de riego para el establecimiento vegetal

No se instalará un sistema permanente de riego. Durante el periodo inicial de establecimiento se utilizará un sistema temporal de riego por goteo de bajo caudal, abastecido exclusivamente con agua dulce. Este sistema permitirá dirigir el agua a la base de las plantas y evitar la erosión superficial provocada por riegos a presión.

Como programa inicial se propone:

- Tres riegos por semana durante las primeras dos semanas.
- Dos riegos por semana entre las semanas 3 y 8.
- Un riego por semana entre las semanas 9 y 12.
- Suspensión gradual del riego cuando las plantas presenten establecimiento y crecimiento activo.

La frecuencia podrá reducirse o suspenderse durante periodos de lluvia y se ajustará en función de la humedad del sustrato, la época del año y la respuesta de la vegetación. Una vez concluido el periodo de establecimiento se retirarán las mangueras y demás elementos del sistema temporal.

I.4.9.7 Pasos de duna

Con la finalidad de ordenar el acceso peatonal a la playa y evitar el tránsito directo sobre las dunas artificiales y su vegetación, se propone la construcción de seis pasos de duna elevados. Estos se ubicarán en secciones seleccionadas estratégicamente, de acuerdo con las necesidades de operación y circulación del complejo hotelero, así como con la distribución definitiva de las obras de restauración dunar.

Cada paso tendrá dimensiones generales de 5.00 m de longitud por 2.00 m de ancho, equivalentes a una superficie individual de 10.00 m² y a una superficie total de 60.00 m². Las dimensiones, pendientes y elevaciones definitivas se ajustarán al perfil final de las dunas y deberán quedar establecidas en los planos y cálculos estructurales correspondientes.

La estructura se elevará aproximadamente entre 0.50 y 1.00 m sobre el sistema dunar, dependiendo del perfil definitivo del terreno. Esta separación permitirá el desplazamiento superficial de la arena transportada por el viento y evitará, en la medida de lo posible, que la pasarela constituya una barrera para la dinámica eólica natural o favorezca procesos localizados de erosión y acumulación de sedimentos.
Los accesos se resolverán mediante rampas con transiciones graduales, evitando escalones y cambios abruptos de nivel. El diseño procurará facilitar la circulación de todas las personas, incluidas aquellas con movilidad reducida. No obstante, la pendiente longitudinal, los descansos, el ancho libre, los elementos de protección y las condiciones de accesibilidad deberán verificarse mediante el diseño ejecutivo correspondiente, considerando la elevación real de cada paso.

Por su configuración y por el empleo de materiales compatibles con el entorno costero, los pasos contribuirán positivamente a la integración paisajística del Proyecto y permitirán observar las dunas revegetadas sin ingresar directamente a ellas.

Los pasos se construirán preferentemente con madera de tzalam (*Lysiloma latisiliquum*) o con otra madera dura regional que presente durabilidad y resistencia equivalentes ante las condiciones de humedad, salinidad y exposición solar propias del ambiente costero. La madera deberá proceder de aserraderos o proveedores legalmente autorizados y contar con la documentación forestal que acredite su procedencia. No se utilizará madera de manglar ni material extraído de poblaciones silvestres del sitio del Proyecto. La mayor parte de los componentes será cortada, dimensionada y preparada previamente fuera del frente de playa. En el sitio únicamente se efectuarán ajustes menores, con el propósito de reducir la generación y dispersión de aserrín, virutas y fragmentos de madera.

Pilotes de soporte: La estructura se sostendrá mediante elementos verticales de madera tipo pilote o poste, con un diámetro aproximado de 0.25 m. Los pilotes se empotrarán directamente en el sustrato arenoso mediante la apertura localizada de barrenos.

Subestructura y cubierta: Sobre los pilotes se fijarán vigas y largueros de madera para formar la subestructura principal. De manera perpendicular a estos elementos se colocarán rastreles o travesaños, con una separación máxima aproximada de 0.60 m, los cuales servirán como soporte para las tablas que conformarán la cubierta.

Las tablas se instalarán mediante tornillería y herrajes de acero inoxidable o de otro material con resistencia equivalente a la corrosión marina. Entre ellas se mantendrá una separación aproximada de 8 a 12 mm, con la finalidad de favorecer el drenaje, reducir la acumulación de agua y permitir la salida de pequeñas cantidades de arena. La superficie de circulación tendrá acabado antiderrapante, bordes uniformes y transiciones graduales. Las orillas de las tablas serán pulidas para eliminar astillas, filos o superficies ásperas que pudieran representar un riesgo para las personas usuarias.

Durante los trabajos de ajuste y pulido se colocará una lona o barrera de contención alrededor del área de trabajo para recolectar el aserrín, las virutas y los fragmentos producidos, evitando su dispersión sobre la playa o la vegetación. Al finalizar cada jornada, estos materiales serán retirados del frente costero y manejados como residuos sólidos. Todos los herrajes, tornillos, placas y elementos de unión serán de acero inoxidable o de materiales aptos para ambientes costeros. No se permitirá la presencia de elementos sobresalientes, bordes cortantes o fijaciones expuestas.

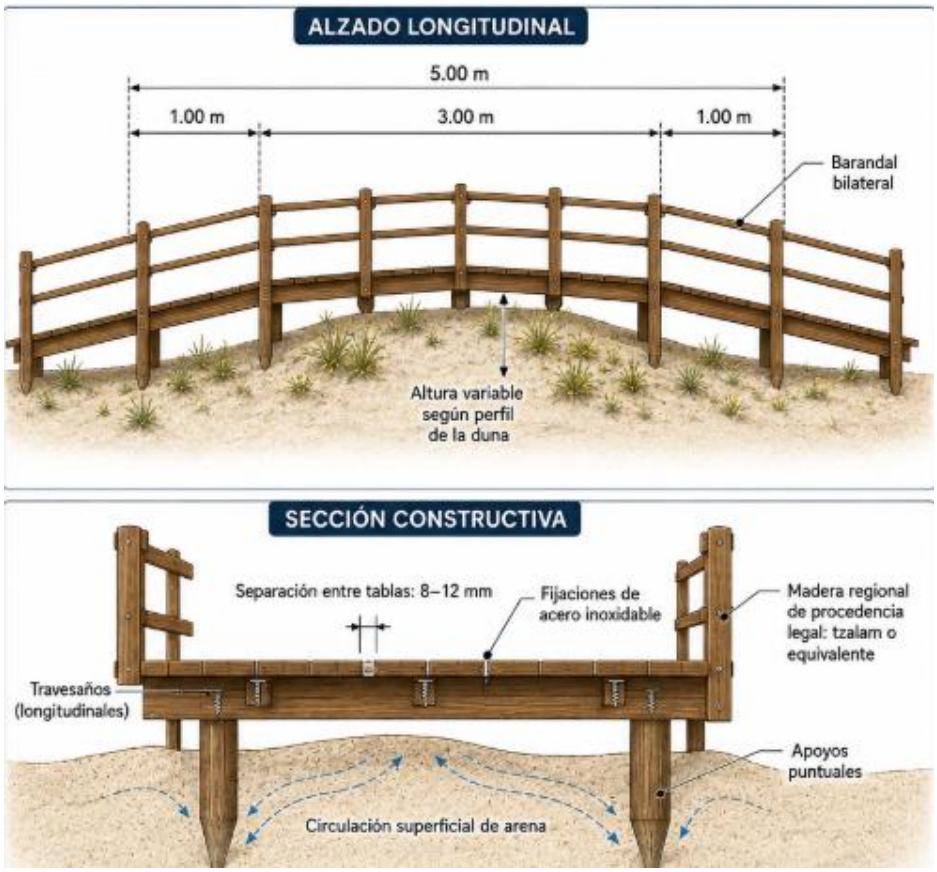




Figura 16. Esquema conceptual de los pasos de duna. Vista en planta, alzado longitudinal y sección constructiva de la pasarela peatonal elevada propuesta para atravesar las secciones dunares, con barandales bilaterales, apoyos puntuales y altura adaptable al perfil definitivo de la duna.

I.4.10 Alternativas de construcción del Proyecto

Debido a la naturaleza y finalidad del Proyecto, no se consideran alternativas de ubicación, ya que las obras deben ejecutarse necesariamente en el tramo costero localizado frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, donde se presentan los procesos de erosión, pérdida de sedimentos y disminución de la capacidad de protección natural del litoral.

La selección de las obras y actividades propuestas responde a la necesidad de atender el recurso costero de manera integral. Por ello, el Proyecto no se limita a incrementar temporalmente la superficie de playa seca mediante el vertido de arena, sino que incorpora diferentes componentes destinados a favorecer la estabilización del perfil costero, reducir la pérdida de sedimentos, recuperar la estructura dunar, restablecer vegetación nativa y mejorar la capacidad de amortiguamiento del litoral ante el oleaje y los eventos hidrometeorológicos.

Entre los componentes considerados se encuentran las barreras de contención y rompeolas elaboradas con geotubos, el vertido controlado de arena compatible con la playa receptora, la conformación de seis secciones de duna artificial, su revegetación con especies nativas y la instalación de seis pasos elevados de duna para ordenar el tránsito peatonal y evitar el pisoteo de las superficies restauradas.

La alternativa de no realizar el Proyecto implicaría mantener las condiciones actuales y permitir la continuidad de los procesos erosivos observados, con la consecuente reducción de la playa seca, pérdida progresiva de sedimentos, afectación del componente dunar y disminución de los servicios ambientales y de protección que proporciona el sistema playa-duna. Esta alternativa también incrementaría la exposición de la infraestructura del complejo hotelero frente al oleaje, las mareas de tormenta y otros eventos hidrometeorológicos.

Asimismo, una intervención limitada exclusivamente al vertido de arena no atendería de forma suficiente las causas y procesos asociados con la pérdida del material sedimentario. Sin elementos que contribuyan a su retención y estabilización, la arena colocada podría ser removilizada y transportada fuera del área de interés, disminuyendo la permanencia y efectividad de la intervención.

Por otra parte, se descartó la construcción de obras rígidas y continuas de concreto o enrocamiento, debido a que este tipo de estructuras puede modificar abruptamente la dinámica litoral, generar procesos de reflexión del oleaje, favorecer erosión localizada y producir una mayor alteración física y paisajística del ambiente costero.

En contraste, la alternativa seleccionada integra obras de carácter predominantemente flexible y superficies arenosas revegetadas. Los geotubos permitirán conformar elementos de contención y atenuación del oleaje; el vertido de arena contribuirá al restablecimiento del perfil de playa; y las dunas artificiales revegetadas favorecerán la retención de sedimentos transportados por el viento, la reducción de la erosión eólica y el amortiguamiento frente a eventos extraordinarios.

Los pasos elevados de duna complementarán esta estrategia al canalizar el tránsito de las personas usuarias y reducir el deterioro de la vegetación y la compactación del sustrato, procurando mantener la circulación superficial de la arena por debajo de las estructuras. En consecuencia, no se identificó otra alternativa constructiva que, bajo las condiciones particulares del sitio, permitiera alcanzar de manera conjunta los objetivos ambientales y funcionales planteados. La alternativa seleccionada se considera la más adecuada porque:

- Atiende de manera integral los componentes de playa, duna y zona marina.
- No se limita a la generación de playa seca.
- Favorece la estabilización y permanencia del material arenoso.
- Contribuye a recuperar funciones y servicios ambientales del sistema costero.
- Incorpora vegetación nativa adaptada a las condiciones del litoral.
- Reduce el tránsito directo y el pisoteo sobre las dunas restauradas.
- Evita el empleo de estructuras rígidas continuas.
- Mantiene una mayor compatibilidad física y paisajística con el entorno.
- Fortalece la protección natural de las instalaciones existentes del hotel.

- Permite establecer medidas de monitoreo, mantenimiento y adaptación conforme a la respuesta del sistema costero.

Por lo anterior, la configuración propuesta constituye una solución integral de restauración y estabilización litoral, orientada a recuperar tanto la superficie y el perfil arenoso como las funciones ambientales y de protección del sistema playa-duna. Su ejecución estará sujeta a los resultados de los estudios técnicos y ambientales correspondientes, al diseño ejecutivo definitivo y a las medidas de prevención, mitigación, monitoreo y mantenimiento que establezca la autoridad ambiental.

I.4.11 Programa de trabajo

El desarrollo de las etapas de preparación del sitio y construcción se realizará en un periodo estimado de **24 meses**, contado a partir del inicio formal de las actividades, una vez obtenidas las autorizaciones correspondientes y efectuada la notificación de inicio ante la autoridad competente. El programa considera la ejecución progresiva y parcialmente simultánea de diferentes actividades. No se mantendrá intervenida toda la superficie del Proyecto al mismo tiempo, sino que se habilitarán frentes sucesivos conforme avance la instalación de las obras. La programación podrá ajustarse por condiciones meteorológicas y oceanográficas, presencia de fauna, temporada de anidación de tortugas marinas, tormentas, huracanes, restricciones operativas del hotel o indicaciones de la autoridad. Estos ajustes no deberán implicar el incremento de las superficies, volúmenes o alcances autorizados.

Tabla 47. Programa general de trabajo para las etapas de preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento del Proyecto.

PROGRAMA GENERAL DE TRABAJO DEL PROYECTO · 24 MESES																									
Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa																									
X = actividad programada | E = actividad condicionada a evento o resultado del monitoreo | → = continúa después del mes 24																									
Etapa	**Actividad**	**MES**																							**Continuidad / frecuencia posterior**
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	
Preparación del sitio	**Movilización inicial de personal, materiales, herramientas y equipos**	X	X																							Concluye en el mes 2
	Instalación de la bodega provisional y habilitación de puntos para contenedores de RSU	X																								Se retiran al concluir la construcción
	Inspección ambiental inicial de los frentes terrestres y marinos	X	X																							Se repite antes de abrir cada frente
	Trazo topográfico inicial de polígonos, ejes, niveles y componentes	X	X																							Control topográfico durante toda la obra
	Delimitación y señalización inicial de las áreas terrestres y marinas	X	X																							Se mantiene y ajusta durante la construcción
	Recepción, inspección y organización de materiales	X	X	X	X																					Recepciones posteriores conforme al avance
	Instalación inicial de bombas, líneas de conducción, boyas y mallas antidispersión		X	X																						Reposicionamiento conforme cambie el frente

PROGRAMA GENERAL DE TRABAJO DEL PROYECTO · 24 MESES

Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa

X = actividad programada | E = actividad condicionada a evento o resultado del monitoreo | → = continúa después del mes 24

Etapa	Actividad	MES																							Continuidad / frecuencia posterior
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Construcción	**Extracción y conducción controlada de arena del Banco IRRM**		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					Sujeta al volumen y polígono autorizados
	Instalación e hidrollenado de las barreras de contención C1 y C2		X	X	X	X	X																			Incluye drenado, nivelación y cierre
	Instalación e hidrollenado de las barreras rompeolas					X	X	X	X	X	X	X														Ejecución progresiva por elementos
	Vertido, extendido y nivelación de arena en el polígono V1									X	X	X	X	X												Por celdas sucesivas de vertido
	Vertido, extendido y nivelación de arena en el polígono V2												X	X	X	X	X	X								Por celdas sucesivas de vertido
	Conformación y cobertura arenosa de las seis dunas artificiales																X	X	X	X	X					Después de alcanzar el perfil arenoso requerido
	Construcción de los seis pasos elevados de duna																			X	X	X	X			Coordinada con la conformación dunar

PROGRAMA GENERAL DE TRABAJO DEL PROYECTO · 24 MESES

Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa

X = actividad programada | E = actividad condicionada a evento o resultado del monitoreo | → = continúa después del mes 24

Etapa	Actividad	MES																							Continuidad / frecuencia posterior
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
	Revegetación de las seis dunas artificiales																				X	X	X	X		Preferentemente durante temporada favorable
	Reposición inicial de plantas y corrección de superficies erosionadas																					X	X	X	X	Continúa conforme al monitoreo
	Retiro progresivo de bombas, mangueras, mallas y señalización innecesaria																					X	X	X	X	Retiro conforme concluyan los frentes
	Limpieza final y retiro de instalaciones provisionales																							X	X	Incluye bodega y puntos temporales
	Levantamiento topográfico final y verificación de las obras																							X	X	Cierre de superficies, niveles y volúmenes
	Supervisión ambiental y aplicación del Programa de Rescate, Ahuyentamiento y Reubicación de Fauna Marina	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Durante todos los frentes activos
	Control topográfico y registro de volúmenes	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Durante todos los frentes activos

PROGRAMA GENERAL DE TRABAJO DEL PROYECTO · 24 MESES

Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa

X = actividad programada | E = actividad condicionada a evento o resultado del monitoreo | → = continúa después del mes 24

Etapa	Actividad	MES																							Continuidad / frecuencia posterior
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
	Mantenimiento de señalización, boyas y mallas antidispersión	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Durante todos los frentes activos
	Manejo de RSU, bitácoras e informes de cumplimiento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Durante todos los frentes activos
Operación	**Funcionamiento pasivo de las barreras, el perfil arenoso y las dunas**																								→	Desde el mes 25; permanente
	Uso de los seis pasos elevados de duna																								→	Desde el mes 25; permanente
	Inspección visual general y registro fotográfico de los componentes																								→	Desde el mes 25; conforme al programa
	Seguimiento del perfil de playa y del comportamiento sedimentario																								→	Desde el mes 27; posteriormente semestral
Mantenimiento	**Inspección de geotubos, costuras, puertos, anclajes y posibles exposiciones**			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Mensual los primeros 2 meses de cada elemento; después semestral

PROGRAMA GENERAL DE TRABAJO DEL PROYECTO · 24 MESES

Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa

X = actividad programada | E = actividad condicionada a evento o resultado del monitoreo | → = continúa después del mes 24

Etapa	Actividad	MES																								Continuidad / frecuencia posterior
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
	Seguimiento topográfico del perfil arenoso													X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	A los 3 meses de concluir; posteriormente semestral
	Revisión de cobertura arenosa, erosión y estabilidad de las dunas																				X	X	X	X	X	Mensual los primeros 3 meses; después trimestral el primer año
	Riego temporal, supervivencia, reposición y seguimiento de la vegetación																				X	X	X	X	X	Mensual los primeros 3 meses; trimestral hasta el primer año
	Inspección de pilotes, tablas, barandales y herrajes de los pasos de duna																						X	X	X	Trimestral y después de tormentas
	Inspección extraordinaria posterior a tormentas, huracanes o mareas de tormenta	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	Cuando ocurra un evento extraordinario
	Reparaciones localizadas y restitución de las condiciones autorizadas			E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	Únicamente cuando los resultados del monitoreo lo requieran

I.4.12 Ubicación, descripción de obras y actividades provisionales y asociadas

Las obras y actividades provisionales se limitarán a aquellas indispensables para ejecutar de manera segura y ordenada los componentes permanentes del Proyecto. Debido a que el personal podrá utilizar la infraestructura y los servicios existentes del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, *no será necesaria la instalación de campamentos, dormitorios, comedores, oficinas provisionales ni sanitarios portátiles*.

Tampoco se contempla la construcción de talleres, plantas de concreto, caminos nuevos, almacenes permanentes o instalaciones permanentes para el almacenamiento de combustibles.
Como infraestructura provisional se instalará una **bodega móvil elaborada con lámina tipo Pintro**, destinada a la recepción y resguardo temporal de materiales, herramientas y equipos menores. Asimismo, se habilitarán dos puntos para la colocación temporal de contenedores destinados al manejo de residuos sólidos urbanos. Estas instalaciones se ubicarán en áreas previamente intervenidas dentro del inmueble del hotel, por lo que no requerirán el desmonte de vegetación natural ni la ocupación de superficies adicionales fuera de las necesarias para el desarrollo del Proyecto.

Las instalaciones serán de carácter temporal y se retirarán al concluir los trabajos.

I.4.12.1 Bodega provisional para la recepción y resguardo de materiales

Se prevé la instalación de una bodega provisional móvil, construida con paneles de lámina tipo Pintro y con una superficie de 70.00 m². Inicialmente se ubicará en el extremo derecho del inmueble, conforme a la distribución señalada en el plano del Proyecto. La bodega se utilizará para la recepción, organización y resguardo temporal de geotubos, geotextiles, mangueras, herramientas, elementos de fijación, componentes de madera y demás materiales necesarios para la ejecución de las obras. Su instalación será superficial y removible, sin cimentaciones permanentes ni losas de concreto. Los materiales permanecerán ordenados y protegidos de la lluvia, la radiación solar y otras condiciones que puedan ocasionar su deterioro. No se almacenarán combustibles, aceites usados, sustancias peligrosas ni residuos peligrosos en esta instalación.

Tabla 48. Coordenadas de la bodega provisional

Vértice	Coordenada X	Coordenada Y
1	514,921.04	2,310,526.52
2	514,926.37	2,310,521.98
3	514,919.88	2,310,514.37
4	514,914.55	2,310,518.91
1	514,921.04	2,310,526.52
Superficie		**70.00 m²**

La ubicación podrá ajustarse dentro de las áreas previamente intervenidas del hotel por necesidades operativas o de seguridad, siempre que no se incremente la superficie prevista ni se ocupen áreas ambientalmente sensibles. Cualquier reubicación deberá registrarse en la bitácora ambiental y quedar comprendida dentro de las superficies autorizadas.

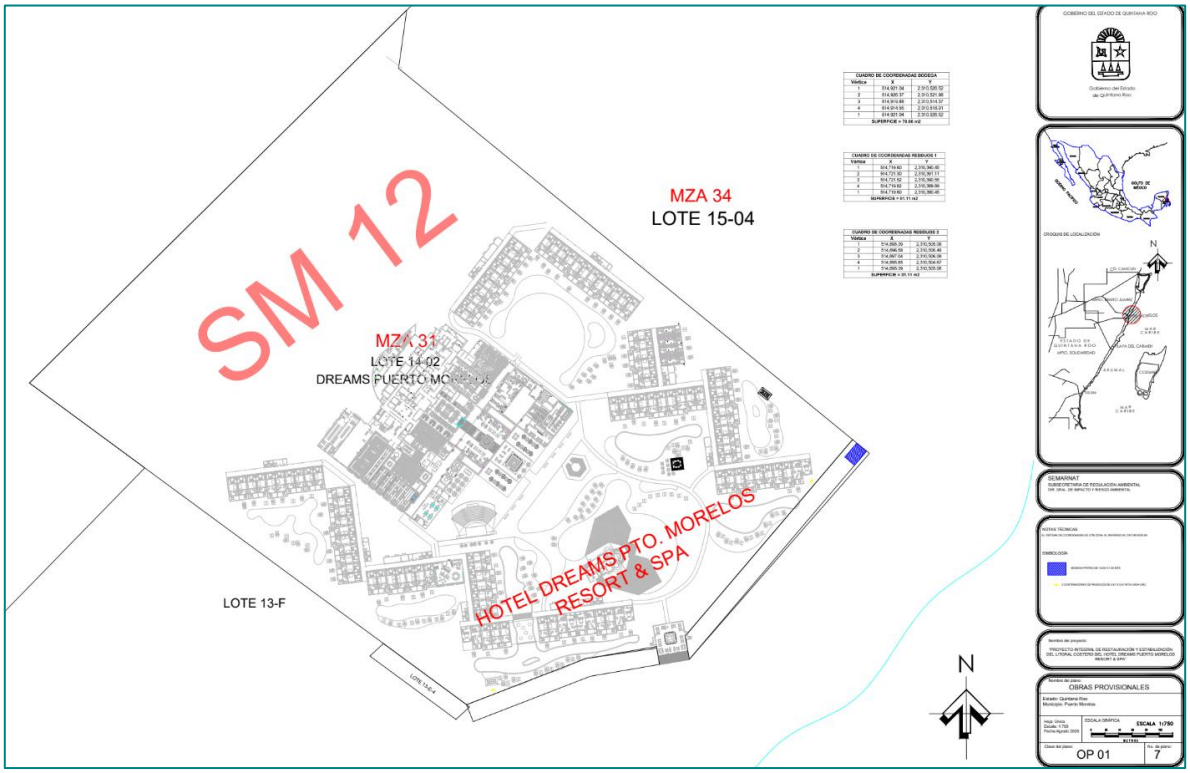


Figura 17. Ubicación de la bodega provisional y movible para el Proyecto.

I.4.12.2 Equipo temporal de bombeo y conducción

Para la extracción, conducción y colocación de la mezcla de arena y agua se utilizarán bombas sumergibles para manejo de sólidos, mangueras de succión y líneas flexibles de descarga.
De manera preliminar se considera el siguiente equipo:

Tabla 49. Equipo temporal de bombeo, conducción y apoyo

Equipo	Características generales
Bombas sumergibles	Dos equipos de aproximadamente 20 hp para manejo de sólidos
Línea de succión	Manguera anillada de aproximadamente 4 pulgadas de diámetro y 30 m de longitud
Línea de descarga	Manguera flexible de aproximadamente 4 pulgadas de diámetro y hasta 400 m de longitud
Señalización marina	Boya para identificar y delimitar temporalmente el equipo de bombeo
Herramientas auxiliares	Palas, rastrillos, equipo topográfico, elementos de fijación y herramientas manuales

El equipo de bombeo será colocado temporalmente dentro del polígono autorizado del Banco IRRM. Las líneas de conducción se instalarán siguiendo una trayectoria previamente definida y señalizada, procurando evitar daños a la vegetación, afectaciones fuera de los polígonos del Proyecto e interferencias innecesarias con la circulación peatonal y las operaciones del hotel.

Cuando las mangueras atraviesen áreas de circulación, se implementarán medidas de señalización, protección o control temporal del paso para prevenir accidentes. Una vez concluidas las actividades de extracción, llenado o vertido, las bombas, mangueras y accesorios serán retirados.

I.4.12.3 Celdas temporales de vertido

El vertido de arena se realizará por secciones sucesivas dentro de los polígonos V1 y V2. Cada sección activa podrá delimitarse mediante mallas de geotextil o cortinas para el control de sedimentos.

Estas celdas no constituirán superficies adicionales de almacenamiento, debido a que serán habilitadas temporalmente dentro de los polígonos previstos para el vertido de arena. Una vez que cada sección alcance la geometría y elevación de diseño, las mallas serán retiradas y trasladadas a la sección siguiente.

El geotextil favorecerá el retorno del agua y la retención de la mayor cantidad posible de sólidos, reduciendo la dispersión de arena fuera de la sección activa. Durante el vertido se vigilará la integridad de las mallas y se suspenderán las actividades cuando se observen desplazamientos, roturas o dispersión significativa de sedimentos.

I.4.12.4 Señalización y delimitación de las áreas de trabajo

Durante la etapa de construcción se colocará señalización preventiva, cintas, cuerdas, postes removibles y, cuando resulte necesario, boyas temporales. Estos elementos permitirán delimitar las áreas de bombeo, conducción, instalación, llenado y vertido, así como restringir el ingreso de personas ajenas a las maniobras.

La señalización será visible, se conservará en condiciones adecuadas durante los trabajos y se retirará una vez que deje de ser necesaria. Su colocación no implicará la instalación de cimentaciones permanentes ni la afectación de vegetación natural.

I.4.12.5 Áreas temporales para el manejo de residuos sólidos urbanos

Se habilitarán dos puntos para la colocación de contenedores de residuos sólidos urbanos, identificados como Residuos 1 y Residuos 2. Cada área tendrá una superficie aproximada de 1.11 m², por lo que la superficie conjunta destinada a este manejo será de 2.22 m².

No se prevé la construcción de almacenes de RSU, RME o RP, ya que para ello se utilizarán los almacenes del Hotel.
En estos puntos se colocarán contenedores con capacidad de 200 L, provistos de tapa e identificación conforme al tipo de residuo. Aunque estarán destinados principalmente a residuos sólidos urbanos, cada contenedor se colocará sobre un tapete o bandeja de contención, como medida preventiva para retener posibles escurrimientos derivados de residuos húmedos o de la ruptura accidental de bolsas.

Los residuos deberán separarse, mantenerse dentro de los contenedores y retirarse periódicamente hacia el sistema de manejo del hotel o mediante prestadores autorizados, según corresponda. No se permitirá la acumulación excesiva ni el abandono de fragmentos de geotextil, cuerdas, mangueras, madera, empaques, alambres, tornillería o elementos de fijación en la playa, la zona marina o las áreas de vegetación.

Los residuos de manejo especial o peligrosos que pudieran generarse accidentalmente serán separados de los residuos sólidos urbanos y manejados conforme a sus características y a la normativa aplicable.

I.4.12.6 Manejo temporal de combustibles e insumos

No se instalarán depósitos permanentes de combustible dentro de la playa, la zona marina ni las áreas de duna. El abastecimiento de combustible y el mantenimiento mayor de la maquinaria y los equipos se realizarán fuera del frente costero, en instalaciones acondicionadas para tal finalidad.

Cuando resulte indispensable efectuar una carga menor de combustible en el sitio, esta deberá realizarse en un área previamente intervenida, utilizando recipientes adecuados, bandejas de contención y material absorbente. En el frente de trabajo se mantendrá un equipo básico para la atención inmediata de derrames accidentales.

No se realizarán cambios de aceite, reparaciones mayores, lavado de maquinaria ni disposición de sustancias contaminantes sobre la playa, la duna o la zona marina.

I.4.12.7 Servicios sanitarios para el personal

No se requerirá la instalación de sanitarios portátiles, debido a que el personal utilizará los servicios sanitarios existentes dentro del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa. No se permitirán descargas sanitarias, vertidos de aguas residuales ni disposición de residuos fisiológicos sobre el suelo, la playa, las dunas o la zona marina.

I.4.12.8 Retiro de las obras e instalaciones provisionales

Una vez concluidos los trabajos, se retirarán la bodega móvil, los contenedores, tapetes de contención, mallas de geotextil, líneas de conducción, bombas, señalización, boyas, amarres, herramientas, residuos y materiales sobrantes.
Las superficies ocupadas temporalmente serán inspeccionadas y, cuando resulte necesario, limpiadas y niveladas hasta dejarlas libres de residuos y en condiciones semejantes a las existentes antes de la intervención. El retiro de la infraestructura provisional deberá quedar documentado mediante registros fotográficos y anotaciones en la bitácora ambiental.

I.4.13 Descripción de los servicios requeridos

Para el desarrollo del Proyecto se aprovecharán preferentemente los servicios y la infraestructura existentes del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa. En consecuencia, no se requerirá la instalación de campamentos, dormitorios, comedores, oficinas temporales ni sanitarios portátiles. El personal utilizará los sanitarios existentes del hotel. Asimismo, el suministro de agua dulce para consumo humano, limpieza menor, preparación de los apoyos de los pasos de duna y establecimiento de la vegetación procederá de las instalaciones del complejo hotelero. La energía eléctrica será suministrada preferentemente por el hotel. Cuando las condiciones operativas o la distancia de los frentes de trabajo no permitan utilizar esta fuente, podrá emplearse una planta generadora portátil con capacidad adecuada para los equipos requeridos.

Esta se instalará en una superficie previamente intervenida, fuera de la playa y de la zona marina, sobre elementos de contención y con las medidas de seguridad correspondientes. No se construirán almacenes específicos para residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial o residuos peligrosos. Para los residuos sólidos urbanos se habilitarán dos puntos temporales de 1.11 m² cada uno, provistos con contenedores de 200 L con tapa, identificación y tapete o bandeja de contención. Los residuos se retirarán periódicamente hacia el sistema de manejo del hotel.

Los residuos de manejo especial y los residuos peligrosos que excepcionalmente pudieran generarse serán separados, envasados de acuerdo con sus características y entregados a prestadores autorizados, sin permanecer almacenados de forma prolongada en el frente costero. La bodega provisional de 70.00 m² se utilizará exclusivamente para materiales, herramientas y equipos menores, y no como almacén de residuos o combustibles.

El abastecimiento de combustible y el mantenimiento mayor de la maquinaria se realizarán fuera de la playa y de la zona marina. No se instalarán depósitos permanentes de combustible dentro del área del Proyecto.

Tabla 50. Insumos, servicios, maquinaria y equipos requeridos por etapa

Etapas	Agua	Energía	Suelo o material arenoso	Tipos de materiales para procesos constructivos	Maquinaria y equipos
Etapa de preparación del sitio	Agua dulce proporcionada por el hotel para consumo del personal, limpieza menor y, cuando resulte necesario, habilitación localizada de los barrenos para los pilotes de los pasos de duna mediante agua a presión. No se realizarán descargas de aguas residuales en la playa o zona marina.	Suministro preferente mediante las instalaciones eléctricas del hotel. Si no resulta técnicamente posible, se utilizará una planta generadora portátil con capacidad adecuada, instalada en un área previamente intervenida y con medidas de contención y seguridad.	No se requerirá suelo vegetal ni material de bancos terrestres. Únicamente se realizará limpieza manual y nivelación localizada con la misma arena existente en las superficies de desplante. No se retirará arena fuera de los polígonos autorizados.	Bodega móvil de lámina tipo Pintro; cintas, cuerdas, postes removibles, letreros y boyas; mallas antidispersión; recipientes de 200 L con tapa; tapetes o bandejas de contención; material absorbente; mangueras; conexiones; accesorios de bombeo; elementos de protección y señalización.	Vehículos para el traslado de personal y materiales; dos bombas sumergibles de aproximadamente 20 hp; manguera anillada de succión de aproximadamente 4 pulgadas y 30 m de longitud; línea flexible de descarga de aproximadamente 4 pulgadas y hasta 400 m; equipo topográfico; equipo de buceo, cuando resulte necesario; herramientas manuales; equipo de protección personal y, en su caso, planta generadora portátil.
Etapa de construcción	Agua marina integrada a la mezcla de bombeo utilizada para extraer y conducir la arena del Banco IRRM, así como para el hidrollenado de los geotubos. El agua drenará a través del	Electricidad de las instalaciones del hotel o, cuando no sea posible, mediante una planta generadora portátil. También se requerirá	Arena compatible procedente exclusivamente del Banco IRRM. Se estima un volumen total aproximado de **11,172.79 m³**, integrado	Catorce geotubos de 20.00 m de longitud y 2.00 m de diámetro para C1 y C2; 18 geotubos de 20.00 m y 2.50 m de diámetro para rompeolas; seis núcleos de	Bombas sumergibles; líneas de succión y descarga; equipo de buceo; equipo topográfico; retroexcavadora o maquinaria ligera, cuando resulte

Etapas	Agua	Energía	Suelo o material arenoso	Tipos de materiales para procesos constructivos	Maquinaria y equipos
	geotextil y retornará al medio mediante las medidas de control de sedimentos. También se requerirá agua dulce del hotel para el primer riego y establecimiento de las plantas, así como para trabajos menores. No se utilizará agua marina o salobre para regar la vegetación.	combustible para la maquinaria y vehículos, sin almacenamiento permanente en el frente costero.	por 879.76 m³ para C1 y C2; 1,778.40 m³ para los rompeolas; 8,084.43 m³ para V1 y V2; y 430.20 m³ para las seis dunas artificiales. No se utilizará arena procedente de ríos, dunas naturales, playas externas ni material mezclado con residuos o sargazo.	geotextil de aproximadamente 30.00 m para las dunas; tapetes antisocavación; tubos de anclaje; aletas, solapas, estacas o pines; hilo para geotextil; mallas de control de sedimentos; madera dura regional de procedencia legal para seis pasos de duna; tornillería y herrajes de acero inoxidable; aproximadamente 1,350 plantas costeras nativas; mangueras de riego por goteo; señalización, boyas, lonas y materiales absorbentes.	necesaria; carretillas, palas, rastrillos y herramientas manuales; equipo de corte y pulido para ajustes menores de madera; herramientas de costura y reparación de geotextiles; vehículos de transporte; equipo de protección personal y planta generadora portátil, en su caso.
Etapa de operación	No se requerirá agua de manera continua, debido a que las obras tendrán un funcionamiento predominantemente pasivo. El uso de agua dulce se limitará al consumo del personal que realice inspecciones,	No se requerirá suministro eléctrico permanente para el funcionamiento de las barreras, el perfil arenoso, las dunas o los pasos de madera. Podrá utilizarse	No se requerirá aportación rutinaria de suelo o arena. El material colocado formará parte del perfil costero y deberá conservarse dentro de las	Materiales menores para señalización, registro, delimitación y protección temporal de las superficies revegetadas. No se requerirán insumos constructivos	Cámara fotográfica, GPS, equipo topográfico y herramientas manuales para inspecciones. No se requerirá personal permanente ni maquinaria en operación continua.

Etapas	Agua	Energía	Suelo o material arenoso	Tipos de materiales para procesos constructivos	Maquinaria y equipos
	utilizando los servicios del hotel.	energía del hotel para actividades puntuales de inspección o registro.	superficies autorizadas.	de manera permanente.	
Etapa de mantenimiento	Agua dulce para el sistema temporal de riego por goteo durante el establecimiento de la vegetación y para las plantas de reposición. La frecuencia se reducirá gradualmente y el sistema se retirará cuando los ejemplares se encuentren establecidos. No se contempla riego permanente.	Energía de las instalaciones del hotel para reparaciones menores. Cuando el sitio o la actividad lo requieran podrá utilizarse una planta generadora portátil, con las medidas de seguridad y contención aplicables.	No se realizarán aportaciones rutinarias de arena. Para exposiciones localizadas de los núcleos de geotextil se redistribuirá manualmente arena de la misma sección. Cualquier reposición adicional deberá sustentarse en el monitoreo, utilizar material compatible del banco autorizado y encontrarse comprendida en las autorizaciones aplicables.	Parches, hilo y elementos compatibles con el geotextil; madera regional de procedencia legal; tablas, tornillería y herrajes de acero inoxidable; plantas costeras nativas para reposición; mangueras y accesorios de riego temporal; señalización y materiales absorbentes. No se aplicarán de manera rutinaria fertilizantes, herbicidas o plaguicidas.	Herramientas manuales; palas y rastrillos; equipo topográfico; cámara y GPS; equipo de riego por goteo; herramientas para reparación de madera y geotextiles. Solo cuando una reparación autorizada lo justifique podrán utilizarse bombas, maquinaria ligera o equipos de llenado complementario.
Etapa de abandono	No se contempla una etapa de abandono dentro de la vida útil prevista. Si la autoridad determina el retiro total o parcial de algún	No se requerirá energía permanente. Para un eventual retiro se utilizará preferentemente energía del	No se prevé la incorporación de suelo o arena. En caso de retiro, el sustrato existente	Contenedores, lonas, cuerdas, empaques, señalización y elementos para separar y retirar geotextiles, madera, herrajes,	Herramientas manuales; vehículos de transporte; equipo de izaje o maquinaria ligera, únicamente si resulta

Etapas	Agua	Energía	Suelo o material arenoso	Tipos de materiales para procesos constructivos	Maquinaria y equipos
	componente, podrá utilizarse agua dulce del hotel para consumo del personal y limpieza menor, sin descargar aguas residuales en la playa o zona marina.	hotel o una planta generadora portátil con medidas de seguridad.	será reacomodado y nivelado procurando restituir el perfil autorizado y evitar excavaciones o aportaciones no evaluadas.	mangueras y demás materiales desmontados. Los residuos se manejarán de acuerdo con su clasificación y mediante prestadores autorizados.	necesario; equipo de corte; bombas, cuando proceda; equipo topográfico y equipo de protección personal.

I.4.14 Preparación de Sitio y Construcción

I.4.14.1 Preparación del sitio

La preparación del sitio comprenderá las actividades previas necesarias para organizar y acondicionar los frentes de trabajo antes de la construcción de los componentes permanentes. Esta etapa incluirá la movilización de personal, materiales y equipos; la habilitación de instalaciones provisionales; la inspección ambiental; el trazo topográfico; la delimitación y señalización de las áreas de intervención; la revisión de materiales; y la instalación preliminar de los sistemas de bombeo, conducción y control de sedimentos.

Las actividades se realizarán de manera progresiva y se limitarán a las superficies estrictamente necesarias para cada maniobra. No se requerirá el desmonte de vegetación natural, la apertura de caminos nuevos ni la construcción de campamentos, dormitorios, comedores o sanitarios portátiles, debido a que el personal utilizará los servicios existentes del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa.

a) Movilización de personal, materiales y equipo

Se trasladarán al área del Proyecto los materiales, las herramientas, la maquinaria y los equipos requeridos para ejecutar las obras. La movilización se realizará mediante los accesos y vialidades existentes del complejo hotelero, evitando la apertura de caminos adicionales y la circulación innecesaria sobre la playa.

Los geotubos, geotextiles, tapetes antisocavación, tubos de anclaje, mangueras, bombas, componentes de madera, herramientas y demás materiales se recibirán y acomodarán inicialmente en las áreas provisionales destinadas para tal finalidad.

El traslado hacia los frentes de trabajo se efectuará conforme al avance de las obras, procurando movilizar únicamente los materiales y equipos que serán utilizados durante cada jornada. De esta manera se evitará la acumulación innecesaria de insumos sobre la playa y se mantendrán libres las áreas que no se encuentren en intervención.

b) Habilitación de la bodega y áreas provisionales

Se instalará una bodega provisional móvil, construida con lámina tipo Pintro, con una superficie de 70.00 m², en la ubicación indicada en el plano correspondiente. La bodega será desmontable, no contará con cimentaciones permanentes y se utilizará exclusivamente para la recepción y el resguardo temporal de materiales, herramientas y equipos menores.

También se habilitarán dos puntos temporales para el manejo de residuos sólidos urbanos, cada uno con una superficie de 1.11 m². En ellos se colocarán contenedores de 200 L, provistos de tapa, identificación y tapete o bandeja de contención preventiva.

La bodega y las áreas de residuos se ubicarán en superficies previamente intervenidas dentro del hotel. Su instalación no implicará el desmonte de vegetación natural ni la ocupación de áreas sensibles, zonas de anidación de tortugas marinas o superficies sujetas al alcance ordinario del oleaje.

No se almacenarán combustibles, aceites usados, sustancias peligrosas o residuos peligrosos dentro de la bodega provisional.

c) Inspección ambiental previa y protección de fauna

Antes de iniciar las actividades se realizará una inspección ambiental de los frentes de trabajo terrestres y marinos. Esta actividad será ejecutada por personal capacitado y tendrá como finalidad verificar la ausencia de fauna, nidos, refugios, organismos bentónicos de lento desplazamiento, vegetación sensible u otras condiciones que requieran suspender, aplazar o modificar temporalmente las maniobras.

En los frentes marinos se aplicarán las medidas establecidas en el **Programa de Rescate, Ahuyentamiento y Reubicación de Fauna Marina**, particularmente antes de:

- Instalar las barreras y estructuras de geotubos.
- Colocar las líneas de succión y descarga.
- Instalar las bombas sumergibles.
- Iniciar el aprovechamiento del Banco IRRM.
- Habilitar las celdas temporales de vertido.
- Abrir un nuevo frente de trabajo dentro de la zona marina.

Cuando se detecte fauna móvil dentro del área de intervención, se privilegiará su desplazamiento voluntario mediante técnicas de ahuyentamiento dirigido, evitando perseguir, golpear, capturar o lesionar a los organismos.

En el caso de ejemplares de lento desplazamiento que no puedan abandonar por sí mismos el frente de trabajo, se aplicarán las acciones de rescate y reubicación establecidas en el Programa. Estas actividades se efectuarán bajo la supervisión de personal capacitado y, cuando resulte aplicable, conforme a las autorizaciones correspondientes.

Los organismos rescatados serán reubicados en sitios con características ambientales semejantes, alejados de la influencia inmediata de las maniobras. Las acciones se documentarán mediante bitácoras, registros fotográficos, coordenadas, identificación taxonómica, número de ejemplares y ubicación del sitio de reubicación.

La inspección ambiental se realizará antes de habilitar cada nuevo frente y se mantendrá vigilancia durante el desarrollo de las actividades. En caso de observar tortugas marinas, mamíferos marinos u otros organismos sensibles dentro del área de seguridad, las maniobras serán suspendidas temporalmente hasta que los ejemplares se alejen por sus propios medios o se apliquen las medidas previstas en los programas ambientales.

En la zona terrestre se verificará especialmente la posible presencia de tortugas marinas, nidos o rastros de anidación. Si se identifica alguno de estos elementos, se suspenderán las actividades en el área inmediata, se evitará cualquier manipulación y se notificará al responsable del programa autorizado de protección de tortugas marinas y, cuando corresponda, a la autoridad competente.

d) Trazo topográfico y delimitación de los componentes

Se efectuará el trazo topográfico de los polígonos, ejes, límites, extremos, niveles y elevaciones correspondientes a los componentes del Proyecto. Los puntos de control se establecerán con base en las coordenadas, planos y especificaciones autorizadas.

Durante esta actividad se identificarán y delimitarán:

- Los polígonos de vertido de arena V1 y V2.
- Las superficies correspondientes a las barreras C1 y C2.
- Los elementos rompeolas.
- Las seis secciones de duna artificial.
- Los seis pasos elevados de duna.
- El polígono evaluado del Banco IRRM.
- Las trayectorias preliminares de las líneas de succión y descarga.
- La bodega provisional.
- Las dos áreas temporales para el manejo de residuos.

- Los accesos y las rutas de movilización del personal, equipo y materiales.

La nivelación se limitará a los puntos donde resulte estrictamente necesaria para la instalación de las estructuras, procurando conservar la configuración natural del fondo marino y del perfil de playa.

e) Delimitación y señalización de las áreas de trabajo

Se instalarán elementos removibles para delimitar los frentes activos de obra. La intervención se efectuará de manera progresiva, manteniendo abierta únicamente la superficie necesaria para las actividades de cada jornada.

En las áreas terrestres se utilizarán cintas, cuerdas, postes removibles y letreros preventivos. En la zona marina se colocarán boyas temporales para identificar y delimitar:

- Las áreas con equipo sumergible.
- Los frentes activos de instalación.
- Las líneas de bombeo.
- Las zonas de llenado y vertido de arena.
- Las áreas en las que deba restringirse temporalmente el tránsito de embarcaciones o personas.

La señalización permitirá prevenir accidentes, restringir el acceso de personas ajenas a las maniobras y reducir interferencias con las actividades del hotel y la navegación local.

Entre las leyendas de los señalamientos podrán incluirse las siguientes:

- Precaución: área de trabajo.
- Acceso restringido a personal autorizado.
- Prohibido tirar basura.
- Prohibido extraer, capturar o molestar flora y fauna.
- Mantener limpia y ordenada el área de trabajo.
- Precaución: equipo eléctrico.
- Precaución: tubería y equipo de bombeo.
- Uso obligatorio de equipo de protección personal.

Los elementos de señalización se mantendrán visibles y en condiciones adecuadas durante las etapas de preparación y construcción. Una vez concluidas las actividades serán retirados en su totalidad.

f) Recepción, inspección y preparación de materiales

Antes de su instalación, los geotubos, geotextiles, tapetes antisocavación, tubos de anclaje, mangueras, bombas, elementos de madera, tornillería y demás accesorios serán inspeccionados para comprobar que sus características correspondan con las especificaciones del Proyecto.

Se verificará que los materiales no presenten rasgaduras, perforaciones, deformaciones, costuras abiertas, corrosión, fracturas o daños ocasionados durante su fabricación, transporte o almacenamiento. Los elementos que pudieran comprometer la estabilidad, seguridad o funcionamiento de las obras serán separados y no se instalarán hasta ser reparados o sustituidos.
Los componentes de madera correspondientes a los seis pasos de duna se trasladarán al sitio previamente cortados y dimensionados. En el frente de trabajo únicamente se efectuarán ajustes menores. Para evitar la dispersión de aserrín, virutas y fragmentos de madera se colocarán lonas u otros elementos de contención, y los residuos generados se retirarán al finalizar la jornada.

g) Preparación de las superficies de desplante

Las franjas donde se instalarán los geotubos, tapetes antisocavación, tubos de anclaje y demás elementos serán inspeccionadas y limpiadas manualmente para retirar residuos, objetos punzocortantes o materiales que pudieran perforar o deteriorar el geotextil.

No se realizará una remoción generalizada del sustrato. La nivelación será localizada y se limitará a lo estrictamente necesario para alcanzar la alineación y estabilidad requeridas, procurando conservar la configuración natural del fondo marino y de la playa.

Los materiales retirados durante la limpieza serán clasificados y colocados en los contenedores correspondientes. No se permitirá enterrarlos, depositarlos en la zona marina ni desplazarlos hacia áreas con vegetación.

Si durante la inspección o limpieza se detectan organismos marinos, se suspenderán temporalmente las maniobras en el punto correspondiente y se aplicarán las medidas del Programa de Rescate, Ahuyentamiento y Reubicación de Fauna Marina antes de continuar.

h) Instalación temporal del sistema de bombeo y conducción

En el Banco IRRM se instalarán temporalmente las bombas sumergibles para el manejo de sólidos y las líneas de succión y descarga requeridas para la extracción y conducción de la mezcla de arena y agua.

De manera preliminar se considera el empleo de dos bombas sumergibles de aproximadamente 20 hp, una línea de succión de aproximadamente 4 pulgadas de diámetro y 30 m de longitud, y una línea flexible de descarga de aproximadamente 4 pulgadas de diámetro y hasta 400 m de longitud. La capacidad y configuración definitivas deberán confirmarse en el proyecto ejecutivo.

La ubicación del equipo sumergible se señalizará mediante boyas y se establecerá un área de seguridad para prevenir la aproximación de embarcaciones y personas ajenas a las maniobras.

Las líneas de conducción se colocarán desde el Banco IRRM hasta las áreas de llenado de los geotubos o de vertido de arena. Su trayectoria será definida previamente y estará señalizada para evitar:

- Afectaciones a la vegetación.
- Daños a organismos bentónicos.
- Interferencia con la circulación peatonal.
- Riesgos para las personas usuarias de la playa.
- Ocupación de áreas externas a los polígonos del Proyecto.

El suministro de energía eléctrica se obtendrá preferentemente de las instalaciones del hotel. En caso de requerirse una planta generadora portátil, esta se colocará en una superficie previamente intervenida, fuera de la playa y la zona marina. El equipo contará con medidas de seguridad eléctrica, reducción de ruido y prevención de derrames.

Antes de iniciar el bombeo se revisarán las conexiones, acoplamientos, mangueras, válvulas y equipos eléctricos. No se permitirá la operación de equipos que presenten fugas, conexiones expuestas, daños visibles o condiciones que puedan representar un riesgo para el personal o el ambiente.

i) Colocación de mallas antidispersión

Antes de iniciar las operaciones de llenado de geotubos y vertido de arena se colocarán mallas de geotextil o cortinas para el control de sedimentos alrededor de las secciones activas, cuando las condiciones del sitio y el procedimiento constructivo así lo requieran. Asimismo, la colocación de mallas antidispersión también se realizará en el Banco de arena.

Las mallas permitirán el retorno del agua y contribuirán a retener la mayor cantidad posible de sólidos dentro de los polígonos autorizados, reduciendo la dispersión de sedimentos hacia áreas adyacentes.

Antes de iniciar las operaciones se verificará su colocación, tensión y estabilidad. Durante el bombeo se inspeccionarán continuamente para detectar roturas, desplazamientos o pérdida de funcionalidad. En caso de observar una dispersión significativa de sedimentos fuera del área delimitada, las maniobras serán suspendidas hasta restablecer las condiciones de control.

j) Verificación previa al inicio de la construcción

Una vez concluidas las actividades de preparación del sitio, el responsable técnico y el responsable ambiental efectuarán una revisión conjunta para comprobar:

- La correcta delimitación de los polígonos y frentes de trabajo.
- La colocación de la señalización terrestre y marina.
- La ausencia de fauna dentro de las áreas activas.
- La aplicación de las medidas de protección ambiental.

- El estado físico de los materiales.
- La estabilidad y seguridad de las líneas de bombeo.
- La correcta colocación de las mallas antidispersión.
- La disponibilidad de contenedores y materiales para atender derrames.
- La ausencia de residuos o materiales fuera de las áreas designadas.

Los resultados se registrarán en las bitácoras de obra y vigilancia ambiental. Las actividades constructivas comenzarán únicamente cuando se hayan establecido las condiciones técnicas, ambientales y de seguridad previstas para el Proyecto.

I.4.14.2 Construcción

A. Procedimiento constructivo de los trabajos con geotubos para las Etapas 1 y 2.

- **Posicionamiento:** Extender el geotubo y desplegar su aleta de anclaje sobre la superficie del suelo de apoyo o detrás de la estructura.
- **Hincado de estacas:** Introducir las estacas a través de los puntos u ojales designados en la aleta de anclaje. Se ponen más juntas en las curvas o zonas de mayor corriente.
- **Relleno y lastre:** Bombear la mezcla de arena y agua dentro del geotubo en una proporción 80/20, es decir 80% agua y 20% arena. Cubrir la aleta y las estacas con tierra o arena del sitio para dar mayor peso y protección.
- **Revisión de niveles:** Revisar niveles de altura final del llenado de los geotubos una vez que los sedimentos se estabilicen y se drene el agua por completo.
- **Relleno final:** Consiste en bombear más arena para darle el nivel final de altura al geotubo.
- **Retiro de amarres provisionales:** de haber sido necesario para la estabilización temporal de la estructura.
- **Cerrado de bocas:** Consiste en el cerrado de bocas de llenado por medio de costuras con hilo geotextil para evitar el vaciado de los geotubos.



Figura 18. Imágenes ilustrativas del proceso constructivo con geotubos.

Sistema de anclaje de geotubos: El sistema de anclaje para geotubos se compone principalmente de aletas de fijación integradas a los geotubos conocidas comúnmente como gazas reforzadas a lo largo y ancho de la base del mismo fijadas al lecho marino por medio de estacas mecánicas o lastres de soporte. Estos elementos evitan el desplazamiento, deslizamiento o hundimiento de los contenedores tubulares en proyectos costeros o hidráulicos.

Componentes Principales del Anclaje

Aleta o solapa de anclaje: Extensión de geotextil tejida que viene cosida o integrada a lo largo del cuerpo del geotubo. Permite enterrar el extremo en el sedimento o fijarlo con elementos adicionales. **Estacas o pines de sujeción**: Elementos mecánicos o de acero que atraviesan la aleta de anclaje para fijar provisional o permanentemente el tubo al suelo durante el llenado hidráulico.



Figura 19. Imagen ilustrativa de las estacas o pines de sujeción

Las estaca o pines de sujeción se instalan por medios manuales y/o mecánicos dependiendo la fisionomía del lecho marino, esto varia si es roca o arena, y van anclados a una profundidad promedio de 30 a 50 cm dentro del lecho marino.

Sistema de Anclaje: Estacas o pines de sujeción

El sistema de anclaje para geotubos por medio de estacas utiliza una aleta o solapa especial de alta resistencia. Esta parte se extiende desde el cuerpo principal del tubo para fijarlo firmemente al suelo.

Componentes y Materiales

- **Aleta de anclaje:** Franja de geotextil integrada al cuerpo del geotubo.
- **Estacas de fijación:** Barras de acero corrugado, perfiles metálicos o estacas helicoidales de alta resistencia.
- **Conectores o grampas:** Elementos opcionales para asegurar la tela sin rasgarla.

Proceso de Instalación

- Posicionamiento: Extender el geotubo y desplegar su aleta de anclaje sobre la superficie del suelo de apoyo o detrás de la estructura.
- Hincado de estacas: Introducir las estacas a través de los puntos o ojales designados en la aleta de anclaje. Se ponen más juntas en las curvas o zonas de mayor corriente.
- Relleno y lastre: Bombear la mezcla de arena y agua dentro del geotubo. Cubrir la aleta y las estacas con tierra o arena del sitio para dar mayor peso y protección.

El anclaje de geotubos en el lecho marino requiere resistir la fuerza del oleaje y las corrientes de marea. El método más común de la ingeniería hidráulica se basa en el sistema de gravedad y confinamiento, el cual no utiliza estacas profundas, sino el propio peso del sedimento marino.

B. Extracción y conducción de arena

La arena será extraída exclusivamente dentro del Banco IRRM mediante bombeo controlado. El equipo se desplazará progresivamente dentro del polígono para evitar excavaciones puntuales profundas y mantener un aprovechamiento uniforme del espesor previsto.

Se llevará una bitácora de operación en la que se registrarán las horas de bombeo, ubicación aproximada, volumen estimado y destino del material.

C. Vertido controlado de arena

El vertido se ejecutará por secciones dentro de V1 y V2:

1.- Localización del banco de arena: consiste en ubicar físicamente la localización del banco de arena autorizado para la extracción.
2.- Instalación de equipo de bombeo: Llevar la o las bombas sumergibles hasta el punto de dragado que viene siendo el banco de arena autorizado, marcando la bomba con una boya de gota color naranja para evitar incidentes.
3.- Tendido de mangueras: Consiste en el tendido y acomodo de manguera anillada de 4" para la succión con una extensión máxima de 3 m alrededor de la bomba, así como también el tendido y acomodo de manguera plana de 4" desde la bomba de succión hasta el área de vertido.
4.- Establecer Área de vertido: Marcar y delimitar secciones con malla formando corrales de acopio en el área a verter para el confinamiento de la arena en secciones de 20 m de largo por 10-15 m de ancho y evitar la dispersión de la misma.
5.- Bombeo de arena: Bombear la mezcla de arena y agua en una proporción 80/20, es decir 80% agua y 20% arena por medios mecánicos, en el área de succión (banco de arena) se encontrará un buzo con la manguera de succión y tanque de oxígeno, mientras que en el área de acopio se encontraran trabajadores vigilando y controlando vertido y acomodo.

6.- Revisión de niveles: Revisar niveles de altura y volumen de vertido cuantificando cantidades para cumplir con proyecto.

7.- Tendido y acomodo: Consiste en el tendido y acomodo manual por medio de palas y rastrillos de arena conforme se vaya vertiendo para emparejar la zona.

8.- Retiro de mallas: Se realiza el retiro de mallas que forman los corrales de acopio o vertido para posteriormente pasar a la siguiente sección (20 ml posteriores)

9.- Repetición del paso 4 al 9: Consiste en la realización de los mismos trabajos en la misma secuencia ya mencionada, pero en la siguiente sección y así consecutivamente hasta cubrir toda el área de proyecto.

10.- Revisión final de niveles: Se revisan los niveles y medidas de proyecto establecidas y autorizadas para verificar el cumplimiento de los alcances, de ser necesario se rebombeara arena de nuevo para alcanzar los niveles faltantes.

11.- Limpieza y retiro: Es la fase final una vez aceptados los trabajos se procederá al retiro de equipo y mangueras de bombeo, así como se verificará la limpieza de toda el área en cuestión de retiro de mallas provisionales.

Consideraciones vertido de arena Etapa 3

1.- Acopio de arena: Dicho acopio será directo en el área del proyecto por secciones siendo la misma logista del área de descarga, por secciones delimitadas por corrales a base de mallas de geotextil para evitar el esparcimiento de arena.

2.- Distribución de arena: Sera por medios manuales durante los trabajos de bombeo y vertido por secciones hasta alcanzar el nivel de proyecto, una vez terminada una sección se continuará con la siguiente de la misma manera y con la misma logística.

3.- Método de mitigación de dispersión: Por medio de polígonos o secciones cerradas a base de mallas geotextiles que permitan el drenado del agua pero que a su vez contengan los sólidos y sedimentos tales como la arena, una vez estabilizado se procederá al retiro de mallas y se continuara en la siguiente sección.

4.- Manejo de agua de retorno: Las mismas mallas de delimitación a base de geotextil funcionaran como malla o cortina antidispersion colocadas durante los trabajos de bombeo y vertido permitiendo por su composición únicamente el paso de agua sin solidos ni sedimentos.

D. Conformación de las dunas artificiales

Se conformarán seis secciones de duna artificial, cada una con dimensiones generales de 30.00 m de longitud por 3.00 m de ancho, equivalentes a una superficie individual de 90.00 m² y a una superficie conjunta de 540.00 m².

Cada sección contará con un núcleo formado por un tubo de geotextil de alta tenacidad, con longitud aproximada de 30.00 m, circunferencia preliminar de 6.80 m y altura máxima de llenado de aproximadamente 1.30 m. Sobre el núcleo se colocará una cobertura arenosa promedio de 0.30 m,

la cual será modelada para conferir a las dunas una geometría irregular y compatible con la configuración del litoral.

Las dunas se construirán una vez que el perfil arenoso permita delimitar correctamente las superficies de desplante y establecer las elevaciones indicadas en los planos del Proyecto. El procedimiento general comprenderá las siguientes actividades:

- ✓ **Colocación del tapete antisocavación y tubos de anclaje**: Cuando así lo establezca el diseño, se extenderá el tapete antisocavación sobre la superficie preparada, evitando pliegues, torsiones o tensiones desiguales. El tapete se orientará conforme al eje longitudinal de la sección y deberá permanecer centrado respecto del núcleo de la duna.

  Los tubos laterales de anclaje, con altura aproximada de 0.20 m, se llenarán con arena de forma manual, mediante palas, o hidráulicamente, dependiendo de las condiciones del frente de trabajo. Una vez llenos, se verificará que mantengan una distribución uniforme y que proporcionen estabilidad al conjunto.

  También se desplegarán las aletas, solapas y demás elementos de fijación previstos por el fabricante. Cuando se requieran estacas o pines, estos se colocarán exclusivamente en los puntos definidos por el diseño, procurando evitar daños al geotextil.

- ✓ **Extendido y alineación del tubo de geotextil**: El tubo de geotextil se trasladará cerrado y enrollado hasta el frente correspondiente. Posteriormente se extenderá sobre el tapete antisocavación y se alineará conforme al eje topográfico de la sección.

  Antes del llenado se comprobará que:

  - El tubo se encuentre orientado correctamente.
  - Los puertos de llenado sean accesibles.
  - Las costuras no presenten daños o aberturas.
  - Las aletas y elementos de anclaje permanezcan extendidos.
  - No existan pliegues que provoquen una distribución irregular de la arena.
  - El elemento no interfiera con los pasos de duna ni exceda los límites autorizados.

- ✓ **Conexión del sistema de llenado**: La línea de descarga se conectará al puerto correspondiente mediante acoplamientos y amarres adecuados. Antes de iniciar el bombeo se revisarán las mangueras, conexiones, válvulas y puertos para prevenir fugas o desacoplamientos. En el área de descarga se colocarán los elementos de señalización y control necesarios para restringir el ingreso de personas ajenas a las maniobras.

- ✓ **Hidrollenado gradual del núcleo:** El llenado se realizará gradualmente con una mezcla de agua y arena procedente del Banco IRRM. Durante la operación, el agua drenará a través del geotextil y los sólidos permanecerán retenidos dentro del tubo. El proceso se desarrollará en etapas sucesivas, alternando periodos de bombeo y drenado para favorecer el asentamiento uniforme del material. Durante esta actividad se vigilarán continuamente:

  - La alineación longitudinal.
  - La distribución de la arena.
  - La presión interna.
  - La altura y geometría del tubo.
  - El estado de las costuras.
  - La estabilidad de los anclajes.
  - La presencia de deformaciones, desplazamientos o fugas.

  La presión y velocidad de llenado se mantendrán dentro de los límites establecidos por el fabricante. No se permitirá sobrellenar el elemento ni rebasar la altura máxima aproximada de **1.30 m**. El volumen preliminar de llenado será de aproximadamente **44.70 m³ por núcleo**, equivalente a **268.20 m³ para las seis secciones**. Estos volúmenes deberán confirmarse mediante el diseño ejecutivo y los registros de bombeo.

- ✓ **Drenado, asentamiento y llenado complementario**: Una vez alcanzada la primera etapa de llenado, se suspenderá temporalmente el bombeo para permitir la salida del agua y el asentamiento de la arena. Después del drenado se comprobarán nuevamente la altura, alineación y estabilidad del elemento. Cuando resulte necesario, se realizará un llenado complementario hasta obtener la geometría prevista, sin exceder las condiciones de operación del geotextil.

- ✓ **Cierre de los puertos de llenado**: Concluido el llenado, las mangueras se desacoplarán cuidadosamente y los puertos se cerrarán mediante el sistema indicado por el fabricante, utilizando hilo, amarres o elementos compatibles con el geotextil. El cierre deberá impedir la pérdida del material arenoso y no podrá dejar bordes, amarres o accesorios expuestos que dificulten la colocación de la cubierta de arena.

- ✓ **Colocación de la cobertura arenosa**: Sobre cada núcleo se colocará una cubierta promedio de 0.30 m de arena. La arena será transportada y distribuida mediante carretillas, palas, rastrillos o equipo ligero, evitando la circulación de maquinaria pesada directamente sobre los tubos de geotextil. La cobertura se colocará progresivamente sobre la parte superior, los costados, extremos, costuras, puertos de llenado y elementos de anclaje. Al concluir, no deberán permanecer superficies de geotextil expuestas. Considerando el llenado de los núcleos y su cobertura exterior, se estima preliminarmente un requerimiento total de **430.20 m³ de arena** para las seis dunas.

- ✓ **Modelado de la morfología dunar**: La arena de cobertura será modelada manualmente para formar crestas, taludes y transiciones suaves. La geometría final será irregular y se integrará con el relieve de la playa, evitando bordes rectos, pendientes abruptas, secciones simétricas o formas prismáticas. Los extremos de cada sección deberán disminuir gradualmente en altura hasta integrarse con el nivel de la playa. Asimismo, los taludes deberán presentar condiciones que permitan la estabilidad del sustrato y el establecimiento de la vegetación.

E. Revegetación de las dunas artificiales

Las seis secciones de duna serán revegetadas con especies nativas de playa y duna costera, adquiridas en viveros autorizados y preferentemente de procedencia regional.

Se propone una densidad inicial promedio de **2.5 plantas/m²**. Para la superficie conjunta de **540.00 m²**, se estima la plantación de aproximadamente **1,350 ejemplares**, distribuidos mediante un arreglo irregular en tresbolillo. La plantación se realizará preferentemente al inicio o durante la temporada de lluvias para favorecer el establecimiento de los ejemplares y reducir las necesidades de riego. Cuando deba realizarse durante otra época del año, se reforzará el riego temporal y el seguimiento de la humedad del sustrato.

El procedimiento comprenderá las siguientes actividades:

1. Recepción e inspección de los ejemplares: Las plantas serán revisadas antes de trasladarlas a las dunas. Se verificará que:

- Correspondan con las especies y cantidades previstas.
- Presenten buen estado fitosanitario.
- Cuenten con raíces desarrolladas y cepellón estable.
- No presenten marchitez severa, plagas, enfermedades o daños mecánicos.
- No correspondan a especies invasoras u ornamentales ajenas al ecosistema.
- Procedan de viveros o proveedores legalmente autorizados.

Los ejemplares que presenten daños severos o condiciones fitosanitarias inadecuadas serán separados y sustituidos. Se adecuarán un espacio en las instalaciones del Hotel.

3. Distribución de las especies: Los ejemplares se distribuirán de forma irregular y en tresbolillo, evitando alineamientos rígidos. La ubicación se determinará de acuerdo con el estrato y la función de cada grupo vegetal:

- Las especies rastreras y pioneras se colocarán principalmente en el talud frontal y en las superficies con mayor exposición al viento.
- Las herbáceas y gramíneas se distribuirán preferentemente en las zonas media y alta.

- Los elementos arbustivos se ubicarán principalmente en la porción posterior o terrestre.
- Las áreas inmediatas a los pasos de duna se plantarán de manera que la vegetación no reduzca el ancho de circulación ni obstruya los accesos.

Las plantas rastreras, herbáceas y gramíneas tendrán espaciamientos aproximados de 0.50 a 0.70 m; para *Uniola paniculata* podrá considerarse un espaciamiento de 0.60 a 0.80 m. Los arbustos se colocarán aproximadamente a 1.20–1.50 m entre ejemplares.

4. Marcado y apertura de cepas: Los puntos de plantación se marcarán previamente conforme al arreglo propuesto. Las cepas se abrirán manualmente y tendrán dimensiones acordes con el tamaño del cepellón, de manera que las raíces puedan colocarse sin doblarse, romperse o quedar expuestas. Durante la apertura se evitará alcanzar o dejar expuesto el núcleo de geotextil. Si se detecta que la cobertura arenosa es insuficiente, se repondrá arena antes de realizar la plantación.

5. Colocación de los ejemplares: Cada planta se retirará cuidadosamente de su contenedor, procurando conservar íntegro el cepellón. El ejemplar se colocará con el cuello de la planta al nivel del sustrato, evitando enterrarlo excesivamente o dejar las raíces expuestas. La cepa se rellenará con la misma arena extraída y se aplicará una compactación manual ligera alrededor del cepellón para eliminar espacios vacíos, sin endurecer excesivamente el sustrato.

6. Aplicación del primer riego: Después de la plantación se aplicará un riego inicial con agua dulce, dirigido a la base de cada ejemplar. No se utilizará agua de mar, agua salobre ni agua con concentraciones que puedan afectar el establecimiento vegetal. El riego se realizará a baja presión para evitar erosión, formación de canales, exposición de raíces o desplazamiento de la arena.

7. Instalación del sistema temporal de riego: Durante el periodo inicial de establecimiento se colocará un sistema temporal de riego por goteo de bajo caudal. Las líneas se distribuirán superficialmente y se asegurarán sin perforar los elementos de geotextil.

El programa inicial podrá considerar:

- Tres riegos por semana durante las primeras dos semanas.
- Dos riegos por semana entre las semanas 3 y 8.
- Un riego por semana entre las semanas 9 y 12.
- Suspensión gradual conforme se compruebe el establecimiento de las plantas.

La frecuencia se ajustará de acuerdo con las lluvias, la humedad de la arena y la respuesta de la vegetación. El sistema será retirado cuando los ejemplares se encuentren establecidos.

8. Protección de las superficies revegetadas: Las dunas se delimitarán temporalmente mediante cuerdas, postes removibles y señalización para evitar el ingreso de personas, el pisoteo y la apertura de senderos informales.
La circulación hacia la playa se concentrará en los seis pasos de duna. La delimitación no impedirá el movimiento natural de la arena ni requerirá cimentaciones permanentes.

9. Seguimiento y reposición: Durante el periodo de establecimiento se registrará el número de plantas vivas, muertas o dañadas, así como su vigor, cobertura y condición fitosanitaria. Los ejemplares muertos serán retirados y sustituidos por plantas de la misma especie o por otra especie nativa equivalente, conforme a la composición autorizada y las recomendaciones del responsable ambiental. No se aplicarán fertilizantes, herbicidas o plaguicidas de manera rutinaria. Cualquier producto que excepcionalmente resulte necesario deberá estar sustentado en una evaluación técnica y aplicarse de manera controlada, evitando escurrimientos hacia la playa o la zona marina.

F. Construcción de los pasos de duna

Se construirán seis pasos elevados de duna, ubicados en las discontinuidades previstas entre las secciones revegetadas. Cada paso tendrá dimensiones generales de 5.00 m de longitud por 2.00 m de ancho, equivalentes a una superficie individual de 10.00 m² y a una superficie total de 60.00 m².
Los pasos permitirán concentrar la circulación peatonal, reducir el pisoteo de la vegetación y evitar la apertura de senderos informales. La estructura se elevará aproximadamente entre 0.50 y 1.00 m sobre el sistema dunar, de acuerdo con el perfil definitivo, procurando mantener el transporte eólico de arena por debajo de la pasarela. Los pasos contarán con rampas de transición y barandales laterales. Las pendientes, descansos, alturas y demás elementos de seguridad y accesibilidad serán definidos y verificados en el proyecto ejecutivo. La estructura se construirá preferentemente con madera de tzalam (*Lysiloma latisiliquum*) o con otra madera dura regional de durabilidad y resistencia equivalentes. Toda la madera deberá proceder de aserraderos o proveedores legalmente autorizados. No se utilizará madera de manglar. El procedimiento constructivo comprenderá las siguientes actividades:

1. Preparación de los componentes de madera: Las vigas, largueros, travesaños, tablas, postes y piezas de barandal se trasladarán al sitio previamente cortados y dimensionados. En el frente de playa únicamente se realizarán ajustes menores. Cuando se requieran cortes o pulido, se colocará una lona alrededor del área para recolectar aserrín, virutas y fragmentos de madera. Todos los residuos serán retirados al finalizar la jornada. No se aplicarán en el sitio pinturas, barnices, solventes o preservadores susceptibles de escurrir o lixiviarse hacia la arena o el agua.

2. Colocación de los pilotes: Los pilotes se introducirán en el sustrato o hasta alcanzar laja o un estrato resistente, según las condiciones identificadas en cada punto. Una vez colocado cada pilote, se verificará su profundidad, alineación, verticalidad y estabilidad. Posteriormente se reacomodará la arena alrededor de la base para asegurar su posición.

La separación será de aproximadamente 2.00 a 4.00 m entre centros, medida en el sentido longitudinal de la estructura. La distancia definitiva dependerá de la posición de los postes, las cargas de diseño y las condiciones del sustrato, conforme a los planos y cálculos estructurales.

3. Instalación de la subestructura: Sobre los pilotes se fijarán los largueros longitudinales y los elementos transversales que conformarán la subestructura principal. Sobre estos se colocarán los rastreles o apoyos secundarios, con una separación máxima aproximada de 0.60 m, para recibir las tablas de la cubierta. Antes de continuar se verificará la alineación, rigidez y estabilidad del conjunto.

4. Colocación de la cubierta: Las tablas de madera se fijarán a la subestructura mediante tornillería de acero inoxidable o herrajes con resistencia equivalente a la corrosión marina. Entre las tablas se dejará una separación aproximada de 8 a 12 mm, con la finalidad de permitir el drenaje y reducir la acumulación de agua y arena. La superficie tendrá acabado antiderrapante y no deberá presentar desniveles abruptos, piezas sueltas, cabezas de tornillos sobresalientes o elementos que representen riesgo para las personas usuarias.

5. Instalación de rampas y barandales: Los extremos se configurarán mediante rampas con transiciones graduales y sin escalones. Su pendiente deberá ajustarse al perfil real de la duna. Los pilotes tendrán la longitud necesaria para integrarse a los barandales laterales. Estos se colocarán en ambos lados del paso y proporcionarán apoyo continuo durante el ascenso, cruce y descenso.

9. Acabados y medidas de seguridad: Las orillas de las tablas, pasamanos y demás componentes se pulirán para eliminar astillas, filos o superficies ásperas. La tornillería y los herrajes deberán quedar correctamente ajustados y sin extremos expuestos. Los trabajos de pulido se efectuarán sobre una lona de contención para evitar la dispersión de virutas. Al concluir se retirarán todos los residuos, empaques, recortes, amarres y materiales sobrantes.

G. Limpieza y cierre de construcción

Al concluir las obras se realizará una inspección general, el levantamiento topográfico final y el retiro de bombas, mangueras, mallas, señalización, amarres y residuos. Los materiales sobrantes se retirarán del frente costero y las superficies temporalmente utilizadas se dejarán limpias y niveladas.

I.4.15 Operación y mantenimiento

Las obras tendrán una operación predominantemente pasiva. Una vez instaladas, las barreras atenuarán la energía del oleaje; el material colocado formará parte del perfil arenoso y las dunas revegetadas contribuirán a la retención eólica de sedimentos.

No se requerirá personal permanente ni maquinaria operando de forma continua. Las actividades de esta etapa corresponderán principalmente al monitoreo, mantenimiento preventivo, reparación localizada y atención posterior a tormentas o eventos extraordinarios.

Tabla 51. Programa general de inspección y mantenimiento

Componente	Actividades principales	Frecuencia propuesta
Geotubos instalados	Inspección de geotextil, puertos, costuras, anclajes, desgaste y exposición	Mensual durante los primeros dos meses; posteriormente semestral
Perfil arenoso	Levantamiento de niveles, revisión de erosión, escarpes y pérdida de material	A los 3 meses y posteriormente cada 6 meses
Dunas artificiales	Revisión de cobertura de arena, exposición del geotextil, erosión y estabilidad	Mensual durante los primeros 3 meses; posteriormente trimestral durante el primer año
Vegetación	Supervivencia, cobertura, vigor, plagas y reposición	Mensual durante los primeros 3 meses; trimestral hasta completar el primer año y semestral posteriormente
Sistema temporal de riego	Revisión de fugas, obstrucciones, presión y humedad	En cada evento de riego
Pasos de duna	Revisión de tablas, apoyos, tornillería, astillas y estabilidad	Trimestral y después de tormentas
Todas las obras	Inspección extraordinaria	Después de tormentas, huracanes o eventos extraordinarios de oleaje

I.4.17.1 Mantenimiento de los geotubos

El mantenimiento incluirá la inspección de rasgaduras, abrasión, desgaste, vandalismo, apertura de costuras, pérdida de llenado, desplazamientos y exposición de elementos de anclaje.

Las reparaciones menores podrán realizarse mediante costuras o parches compatibles con el geotextil. Cuando se detecte pérdida de altura se deberá identificar previamente la causa y, si técnicamente procede, realizar un llenado complementario.

Cuando el daño comprometa la integridad estructural, el elemento deberá ser evaluado por el responsable de obra para determinar su reparación o sustitución. Las intervenciones mayores estarán sujetas al alcance autorizado para el Proyecto.

I.4.17.2 Mantenimiento del perfil arenoso

El perfil de playa será monitoreado mediante puntos de referencia y levantamientos topográficos. Se registrará la aparición de escarpes, depresiones, acumulaciones irregulares o pérdida significativa de material.

No se realizarán aportaciones rutinarias de arena. Una eventual reposición deberá sustentarse en los resultados del monitoreo, comprobarse técnicamente y ejecutarse únicamente cuando se encuentre comprendida en las autorizaciones aplicables.

I.4.17.3 Mantenimiento de las dunas y la revegetación

Se conservará una cobertura arenosa suficiente sobre los núcleos de geotextil. Cuando se detecten exposiciones localizadas se redistribuirá manualmente arena de la propia sección, evitando retirar material de dunas naturales o zonas no autorizadas.

La vegetación se mantendrá mediante riego temporal, reposición de ejemplares muertos, retiro manual de especies invasoras y protección contra el pisoteo. Como criterio de desempeño se buscará alcanzar una supervivencia mínima de 80 % al finalizar el primer año.

Cuando la supervivencia sea inferior, se identificarán las causas y se realizará la reposición con especies nativas adecuadas. La vegetación se dejará desarrollar con su morfología natural y no estará sujeta a podas ornamentales.

El riego se suspenderá progresivamente una vez que las plantas se encuentren establecidas. No se mantendrá infraestructura permanente de riego sobre las dunas.

I.4.17.4 Mantenimiento de los pasos de duna

Los pasos serán inspeccionados para detectar tablas flojas, deformaciones, corrosión de herrajes, astillas, desgaste, hundimientos o pérdida de estabilidad.

Las piezas deterioradas serán sustituidas por madera de características equivalentes y procedencia legal. No se aplicarán pinturas, barnices o preservadores directamente sobre la playa cuando exista riesgo de goteo o lixiviación.

Los pasos deberán mantenerse libres de arena acumulada en cantidades que dificulten la circulación, pero la limpieza será manual y no deberá provocar el descalce de los apoyos ni la remoción generalizada del sedimento.

I.4.17.5 Monitoreo posterior a eventos extraordinarios

Después de tormentas, huracanes, mareas de tormenta o eventos extraordinarios de oleaje se realizará una inspección integral de las barreras, perfil arenoso, dunas, vegetación y pasos de madera.

Los resultados se documentarán mediante registros fotográficos, coordenadas, mediciones y bitácoras. Las reparaciones se limitarán a restituir las condiciones autorizadas y no implicarán ampliaciones o modificaciones del Proyecto sin la autorización correspondiente.

I.4.16 Abandono del sitio

No Aplica. No se contempla una etapa de abandono dentro de la vida útil prevista.

I.4.17 Residuos

Durante el desarrollo del Proyecto se prevé principalmente la generación de residuos sólidos urbanos, asociados con la presencia del personal en los frentes de trabajo. No se prevé generar corrientes ordinarias de residuos de manejo especial ni residuos peligrosos, debido a las características de las obras, la preparación previa de los materiales y las medidas previstas para evitar reparaciones, cortes, mantenimiento de maquinaria y almacenamiento de combustibles en la playa o la zona marina.

Los residuos sólidos urbanos serán separados, depositados en recipientes adecuados y retirados periódicamente mediante el sistema de manejo existente del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa. Se habilitarán dos puntos temporales para la colocación de contenedores, con una superficie de 1.11 m² cada uno. Los recipientes tendrán una capacidad de 200 L, contarán con tapa e identificación y se colocarán sobre tapetes o bandejas de contención preventiva.

No se construirán almacenes para residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial o residuos peligrosos. Tampoco se permitirá la quema, entierro, abandono o disposición de residuos sobre la playa, las dunas, el fondo marino o las áreas con vegetación.

La separación de los residuos sólidos urbanos atenderá las disposiciones de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. En el supuesto extraordinario de que se genere algún material con características de peligrosidad, su identificación se realizará conforme a la NOM-052-SEMARNAT-2005.

Las cantidades que se presentan son estimaciones preliminares para fines de planeación y deberán ajustarse con base en el número real de trabajadores, duración de las actividades y registros contenidos en las bitácoras.

Tabla 52. Generación estimada de residuos, descargas y emisiones por etapa

Etapas	Residuos de manejo especial	Residuos sólidos urbanos	Residuos peligrosos	Descargas	Emisiones a la atmósfera
Preparación del sitio	No se prevé su generación. Los materiales se recibirán dimensionados y los empaques, tarimas, flejes y elementos retornables serán retirados por los proveedores o reincorporados a sus sistemas de aprovechamiento. No habrá demolición, desmonte ni generación de escombros.	Restos de alimentos, envases, papel, cartón y residuos sanitarios del personal. Factor preliminar: **0.50 kg/persona/día**. Para fines de planeación se estima una generación total de **50–150 kg**, dependiendo del número y permanencia del personal.	No se prevé su generación. No se almacenarán combustibles ni se efectuarán cambios de aceite, mantenimiento mayor o reparación de maquinaria en el frente costero.	No habrá descargas directas al suelo, playa o zona marina. Las aguas sanitarias serán recibidas por la infraestructura existente del hotel. El agua utilizada de forma localizada para instalar pilotes se infiltrará en el mismo sustrato y no contendrá aditivos.	Emisiones temporales de vehículos y, en su caso, de la planta generadora portátil. No se instalarán fuentes fijas. La magnitud dependerá del consumo de combustible y las horas de operación.
Construcción	No se prevé su generación. Los geotubos, tapetes, mangueras y elementos de madera serán trasladados previamente dimensionados. Las mallas y líneas de bombeo serán reutilizadas durante los diferentes frentes y posteriormente retiradas como equipo. No se generarán residuos de excavación, demolición o construcción convencional.	Residuos orgánicos, envases de bebidas y alimentos, papel, cartón y residuos sanitarios del personal. Factor preliminar: **0.50 kg/persona/día**.	No se prevé su generación. Las bombas serán preferentemente eléctricas, el abastecimiento de combustible se realizará fuera de la playa y no se aplicarán pinturas, barnices, solventes o preservadores en el sitio.	No se descargarán aguas residuales de proceso. El bombeo utilizará agua marina como medio para transportar la arena. Considerando 11,172.79 m³ de arena y una mezcla preliminar de 80 % de agua y 20 % de arena, el volumen teórico de agua de retorno sería de aproximadamente **44,691.16 m³**. El agua retornará al	Emisiones temporales de vehículos, maquinaria y eventual planta generadora: gases de combustión y partículas. No habrá fuentes permanentes. La arena se manejará húmeda, por lo que la generación de polvo será reducida.

Etapas	Residuos de manejo especial	Residuos sólidos urbanos	Residuos peligrosos	Descargas	Emisiones a la atmósfera
				mismo medio después del drenado y del control de sedimentos.	
Operación	No se prevé su generación. Las obras tendrán una operación pasiva y no requerirán sustitución continua de materiales.	Generación mínima asociada con el personal de inspección. Estimación preliminar: **menos de 25 kg/año**, incorporados al sistema del hotel.	No se prevé su generación. No habrá almacenamiento de combustibles, equipos mecánicos operando continuamente ni procesos que utilicen sustancias peligrosas.	No se generarán descargas. Las barreras, el perfil arenoso, las dunas revegetadas y los pasos de madera funcionarán pasivamente.	No se generarán emisiones permanentes. Únicamente podrán presentarse emisiones ocasionales de los vehículos empleados para las inspecciones.
Mantenimiento	No se prevé una corriente regular. El mantenimiento será preventivo y localizado. Las piezas reutilizables se conservarán; los elementos suministrados para sustitución serán dimensionados previamente y los componentes retirados serán devueltos al proveedor o contratista para su aprovechamiento o manejo fuera del Proyecto.	Envases, papel, residuos de alimentos y materiales de limpieza del personal. Estimación preliminar: **25–75 kg/año**, manejados mediante el sistema existente del hotel.	No se prevé su generación. No se efectuarán cambios de aceite, aplicación de solventes ni mantenimiento mayor de maquinaria en la playa.	Durante el establecimiento vegetal se utilizará agua dulce mediante riego por goteo. Se estima un consumo de **29.70–59.40 m³** durante las primeras 12 semanas. El agua se incorporará al sustrato y no generará una descarga.	Emisiones ocasionales de vehículos o equipos portátiles utilizados en reparaciones localizadas. No habrá emisiones continuas.
Abandono	No se contempla una etapa de abandono dentro de la vida útil prevista. Si la autoridad requiere el retiro de las obras, deberá elaborarse un inventario de	En caso de retiro, se aplicará el factor de **0.50 kg/persona/día**, conforme al número de	No se prevé su generación. Si durante un eventual retiro se presenta una contingencia, los materiales	No se prevén descargas. Las aguas sanitarias serán recibidas por las instalaciones del hotel y no se	Emisiones temporales de vehículos y equipos utilizados para el retiro. Su

Etapas	Residuos de manejo especial	Residuos sólidos urbanos	Residuos peligrosos	Descargas	Emisiones a la atmósfera
	geotextiles, madera, mangueras y herrajes, así como un programa específico para su retiro, reúso o aprovechamiento.	trabajadores y días requeridos.	afectados serán identificados y manejados conforme a sus características.	permitirá el lavado de equipos sobre la playa o zona marina.	cuantificación dependerá del programa que, en su caso, deba elaborarse.

I.4.17.1 Residuos sólidos urbanos

Los residuos sólidos urbanos serán generados principalmente por el personal durante las etapas de preparación y construcción. Estarán constituidos por:

- Restos de alimentos.
- Envases y botellas.
- Papel y cartón.
- Bolsas y envolturas.
- Residuos sanitarios.
- Otros residuos domésticos no peligrosos.

Se realizará su separación primaria en orgánicos e inorgánicos y, cuando las condiciones operativas lo permitan, se separarán PET, aluminio, vidrio y cartón para facilitar su aprovechamiento. Para su manejo se aplicarán las siguientes medidas:

- Se utilizarán contenedores de 200 L con tapa e identificación.
- Los recipientes se colocarán sobre tapetes o bandejas de contención.
- Los contenedores serán revisados diariamente.
- Los residuos se retirarán antes de alcanzar la capacidad máxima.
- Los residuos se incorporarán al sistema de manejo del hotel.
- No se depositarán residuos directamente sobre la arena.
- No se permitirá su quema, entierro o abandono.
- Las áreas se conservarán limpias y libres de fauna oportunista.
- Se llevará una bitácora con fecha, tipo, cantidad estimada y destino.

I.4.17.2 Prevención de residuos de manejo especial

No se prevé la generación de residuos de manejo especial debido a que:

- No se realizarán demoliciones.
- No se generarán escombros.
- No se efectuará desmonte o retiro de vegetación natural.
- No se desecharán volúmenes de suelo o material de excavación.
- Los geotubos y tapetes se recibirán fabricados conforme a las dimensiones del Proyecto.
- Las mangueras y mallas antidispersión serán reutilizadas y retiradas como equipo.

- Los componentes de madera se recibirán previamente cortados y dimensionados.
- Los empaques, tarimas y flejes retornables serán retirados por los proveedores.
- No se abandonarán fragmentos de geotextil, madera, manguera o metal en el frente costero.

Cuando resulte necesario realizar un ajuste menor en madera, se colocará una lona para recolectar el aserrín y los recortes. El material será reutilizado, cuando resulte viable, o retirado el mismo día por el proveedor o contratista.

Los elementos dañados antes de su instalación serán separados y devueltos al proveedor para su sustitución. Por tanto, no serán dispuestos en las áreas de residuos sólidos urbanos ni permanecerán dentro del Proyecto.

En caso de que durante la ejecución se produzca algún material que, por su volumen o características, deba clasificarse como residuo de manejo especial, se modificará el registro correspondiente y se entregará a un prestador autorizado. Esta previsión no implica que se espere su generación ordinaria.

I.4.17.3 Prevención de residuos peligrosos

No se prevé la generación de residuos peligrosos durante la ejecución normal del Proyecto, debido a que:

- No se instalarán depósitos permanentes de combustible.
- El suministro de combustible se realizará fuera de la playa y zona marina.
- No se realizarán cambios de aceite en los frentes de trabajo.
- El mantenimiento mayor se efectuará en instalaciones externas.
- No se lavará maquinaria sobre la playa.
- No se aplicarán pinturas, barnices o preservadores en el sitio.
- No se utilizarán rutinariamente herbicidas o plaguicidas.
- Se empleará preferentemente energía eléctrica del hotel.
- La planta generadora portátil, si se requiere, será responsabilidad del contratista y deberá encontrarse en condiciones mecánicas adecuadas.

Se mantendrá un equipo básico para atender posibles derrames, integrado por material absorbente, guantes, herramientas de recolección, bolsas o recipientes compatibles y elementos de señalización.

Mientras no sea utilizado, este material será considerado un insumo de contingencia y no un residuo. Si ocurriera un derrame y los absorbentes, trapos, guantes, arena u otros materiales resultaran contaminados, se suspenderá la actividad, se recuperará el material y se identificará conforme a sus características. El contratista deberá retirarlo inmediatamente del frente costero y entregarlo mediante los mecanismos legalmente aplicables.

Por tanto, no se habilitará un almacén de residuos peligrosos dentro del Proyecto.

I.4.17.4 Emisiones a la atmósfera

Las emisiones a la atmósfera se producirán principalmente durante las etapas de preparación y construcción y estarán asociadas con la movilización de vehículos, la operación eventual de maquinaria y el posible uso de una planta generadora portátil.

Las emisiones serán temporales, móviles y discontinuas. No se instalarán chimeneas, calderas, plantas de concreto u otras fuentes fijas.

La cantidad no puede determinarse con precisión hasta contar con el programa ejecutivo, las horas efectivas de operación y el consumo de combustible. Por ello, durante los trabajos se registrarán:

- Tipo y potencia del equipo.
- Combustible utilizado.
- Litros consumidos.
- Horas efectivas de funcionamiento.
- Periodos de inactividad.
- Mantenimiento preventivo realizado.

Para prevenir y reducir las emisiones se aplicarán las siguientes medidas:

- Se utilizarán equipos en condiciones mecánicas adecuadas.
- Se evitará mantener motores encendidos cuando no estén operando.
- Se utilizará preferentemente energía eléctrica del hotel.
- Se reducirán recorridos y maniobras innecesarias.
- No se permitirá la quema de residuos.
- La planta generadora se colocará fuera de la playa y la zona marina.
- La arena se manejará húmeda, reduciendo la emisión de partículas.
- Las actividades que generen ruido se realizarán preferentemente durante horarios diurnos.

CAPÍTULO II.

VINCULACIÓN CON LOS ORDENAMIENTOS JURÍDICOS APLICABLES EN MATERIA AMBIENTAL Y, EN SU CASO, CON LA REGULACIÓN SOBRE USO DEL SUELO

ÍNDICE DE CONTENIDO

II. VINCULACIÓN CON LOS ORDENAMIENTOS JURÍDICOS APLICABLES EN MATERIA AMBIENTAL Y, EN SU CASO, CON LA REGULACIÓN SOBRE USO DEL SUELO 6

II.1 IDENTIFICACIÓN DE COMPETENCIA FEDERAL..... 7

II.1.1 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente 7

II.1.2 Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental. 10

II.2 INSTRUMENTOS DEL DERECHO DEL MAR (INTERNACIONAL)..... 21

II.2.1 Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR, 1982) 21

II.2.2 Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y Otras Materias, 1972 —Convenio de Londres— 28

II.2.3 Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL 73/78) 29

II.2.4 Agenda 2030-ONU- ODS 14 31

II.3 INSTRUMENTOS APLICABLES A OBRAS PORTUARIAS 34

II.3.1 Ley de Vertimiento en Zonas Marinas Mexicanas 34

II.3.2 Ley de Puertos 36

II.3.3 Ley de Aguas Nacionales 38

II.3.4 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 39

II.3.5 Ley General de Vida Silvestre 40

II.3.6 NOM-022-SEMARNAT-2003 45

II.4 INSTRUMENTOS DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO 60

II.4.1. Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (POEGT) 61

II.4.2. Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe 67

II.4.3 Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo 106

II.5 INSTRUMENTOS DE CARÁCTER MUNICIPAL 138

II.5.1 Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Puerto Morelos, Quintana Roo (2026) ... 138

II.6 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS: PARQUE NACIONAL ARRECIFE DE PUERTO MORELOS 142

II.7 NORMAS OFICIALES MEXICANAS 165

III.8 REGIONES PRIORITARIAS DE CONSERVACIÓN 171

III.8.1 Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) 171
III.8.2 Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP) 173
III.8.3 Regiones Marinas Prioritarias (RMP) 177

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación espacial de las áreas de vertimiento V1 y V2 y sus buffers de 100 m con la vegetación de manglar identificada por el INEGI, Serie VII. Fuente: Elaboración propia con base en el conjunto de datos de Uso del Suelo y Vegetación, Serie VII, del INEGI, e imagen satelital de referencia. 42
Figura 2. Relación espacial de las áreas de vertimiento V1 y V2 y sus buffers de 100 m con la vegetación de manglar identificada por el INEGI, Serie VII. 52
Figura 3. Descripción de la UGA 138 y 180. 68
Figura 4. Características generales de la UGA 28 "Centro de Población de Puerto Morelos". Fuente: Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo, 2014. 108
Figura 5. Condición histórica del sistema playa-duna en el frente costero donde actualmente se localiza el Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, en octubre de 2005. Se observa una extensa superficie arenosa con cobertura vegetal discontinua y acumulaciones elevadas compatibles con cordones dunares. Fuente: imagen histórica de Google Earth, Maxar Technologies. 131
Figura 6. Evidencia histórica del sistema dunar en el frente costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, en septiembre de 2006. Se distinguen acumulaciones arenosas con vegetación irregular y formas paralelas y subparalelas al litoral, compatibles con un sistema de dunas costeras. Fuente: imagen histórica de Google Earth, Maxar Technologies. 132
Figura 7. Rosas de viento anual y estacionales correspondientes a la región costera donde se localiza el Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa. El análisis identifica el predominio de vientos procedentes del este. Fuente: Memoria Técnica de Modelaje, con datos de reanálisis WaveWatch III de la NOAA para el periodo enero de 1979-noviembre de 2018. 133
Figura 8. Ubicación del Proyecto respecto de las Regiones Terrestres Prioritarias de la CONABIO. 173
Figura 9. Ubicación del Proyecto respecto de la Región Hidrológica Prioritaria núm. 105 Corredor Cancún–Tulum. 176
Figura 10. Ubicación del Proyecto dentro de la Región Marina Prioritaria núm. 63 Punta Maroma–Punta Nizuc. 181

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Vinculación del proyecto LGEEPA y su reglamento. 7
Tabla 2. Vinculación de los principales artículos del REIA de la LGEEPA con el Proyecto. 10
Tabla 3. Vinculación de los artículos aplicable de CONVEMAR, 1982 con el Proyecto. 21
Tabla 4. Vinculación de los principales artículos del Convenio de Londres, 1972 con el Proyecto. 28
Tabla 5. Vinculación de los principales Anexos del Convenio de MARPOL 73/78 con el Proyecto. 29
Tabla 6. Vinculación del ODS 14 de la Agenda 2030-ONU con el Proyecto. 31
Tabla 7. Vinculación de la Ley de Vertimiento en Zonas Marinas Mexicanas con el Proyecto. 34
Tabla 8. Vinculación de la Ley de Puertos con el Proyecto. 36
Tabla 9. Vinculación de la Ley de Aguas Nacionales con el Proyecto. 38
Tabla 10. Vinculación de la LGPGIR con el Proyecto. 39
Tabla 11. Vinculación de la Ley General de Vida Silvestre. 40
Tabla 12. Vinculación de la NOM-022-SEMARNAT-2003 con el Proyecto. 45
Tabla 13. Características generales de la Región ecológica 17.33 y UAB 62. 61
Tabla 14. Vinculación con las estrategias de la UAB 62 con el Proyecto. 62
Tabla 15. Vinculación de los criterios generales con el Proyecto 68
Tabla 16. Características de la UGA 28 denominada "Centro de Población de Puerto Morelos". 107
Tabla 17. Vinculación de los criterios ecológicos generales del POELMBJ con el Proyecto. 109
Tabla 18. Vinculación de los criterios urbanos del POELMBJ con el Proyecto. 119
Tabla 19. Vinculación de las Reglas del Capítulo I del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto. 143
Tabla 20. Vinculación de las Reglas del Capítulo II del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto. 144
Tabla 21. Vinculación de las Reglas del Capítulo III del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto. 145
Tabla 22. Vinculación de las Reglas del Capítulo IV del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto. 146
Tabla 23. Vinculación de las Reglas del Capítulo V del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto. 147
Tabla 24. Vinculación de las Reglas del Capítulo VI del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto. 148
Tabla 25. Vinculación de las Reglas del Capítulo VII del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto. 149
Tabla 26. Vinculación de las Reglas del Capítulo VIII del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto. 149
Tabla 27. Vinculación de las Reglas del Capítulo IX del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto. 150
Tabla 28. Vinculación de las Reglas del Capítulo X del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto. 150
Tabla 29. Vinculación con las Actividades permitidas en la Zona I. 151

Tabla 30. Vinculación con las Actividades prohibidas en la Zona I 153
Tabla 31. Actividades permitidas en la Zona IV 153
Tabla 32. Vinculación con las Actividades prohibidas en la Zona IV. 155
Tabla 33. Vinculación de la Regla 76 del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto. 155
Tabla 34. Vinculación del Capítulo XII y XIII del ANP 163
Tabla 35. Vinculación de las Normas Oficiales Mexicanas con el Proyecto. 165

II. VINCULACIÓN CON LOS ORDENAMIENTOS JURÍDICOS APLICABLES EN MATERIA AMBIENTAL Y, EN SU CASO, CON LA REGULACIÓN SOBRE USO DEL SUELO

El presente capítulo tiene como objetivo identificar y analizar los instrumentos jurídicos, normativos y de planeación ambiental y urbana que resultan aplicables al Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, así como demostrar la congruencia de sus obras y actividades con las disposiciones que regulan la protección del ambiente, el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, el uso del suelo y la ocupación de las zonas costera y marina. El análisis se realiza considerando la naturaleza, ubicación y alcance de los componentes del Proyecto, los cuales comprenden la instalación de barreras de contención y elementos rompeolas mediante tubos de geotextil, el vertido controlado de arena, la conformación y revegetación de dunas artificiales y la construcción de seis pasos de duna. En conjunto, estas obras tienen como finalidad recuperar y estabilizar el perfil costero, reducir los procesos erosivos, favorecer la retención de sedimentos, restablecer servicios ambientales asociados al sistema playa-duna y contribuir a la protección de la infraestructura existente.

La vinculación jurídica se desarrolla a partir de una revisión jerarquizada de las disposiciones constitucionales; tratados e instrumentos internacionales; leyes generales y federales; reglamentos; programas de ordenamiento ecológico; instrumentos de desarrollo urbano; decretos y programas de manejo de áreas naturales protegidas; normas oficiales mexicanas y demás disposiciones que, por su materia o ámbito territorial, puedan relacionarse con las obras y actividades propuestas. Asimismo, se diferencia entre los instrumentos de observancia jurídica directa y aquellos que constituyen referentes técnicos, territoriales o de política pública. En el caso de los programas de ordenamiento ecológico y desarrollo urbano, la vinculación se realizará mediante la identificación cartográfica de las unidades de gestión ambiental, zonificaciones, políticas, usos y criterios correspondientes. Para las áreas naturales protegidas se analizarán el decreto de creación, la zonificación y las reglas administrativas contenidas en su programa de manejo, siempre en función de la relación espacial efectiva con los polígonos del Proyecto.

Las regiones terrestres, marinas e hidrológicas prioritarias identificadas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, así como los humedales de importancia internacional inscritos en la Convención Ramsar, serán considerados como elementos de referencia para reconocer la relevancia ambiental regional. Su inclusión no implica por sí misma la existencia de una prohibición o regulación adicional, por lo que sus implicaciones serán diferenciadas de las correspondientes a las áreas naturales protegidas y a los ordenamientos jurídicamente vinculantes. Finalmente, la congruencia del Proyecto se evaluará considerando su objetivo integral de restauración y estabilización costera, así como las medidas incorporadas a su diseño para prevenir afectaciones, entre ellas la delimitación de los frentes de trabajo, el control de la dispersión de sedimentos, la protección y reubicación de fauna marina cuando resulte necesario, el manejo de residuos sólidos urbanos, la utilización de materiales resistentes al ambiente marino, la revegetación con especies nativas y el seguimiento ambiental de las obras.

II.1 IDENTIFICACIÓN DE COMPETENCIA FEDERAL

II.1.1 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

Tabla 1. Vinculación del proyecto LGEEPA y su reglamento.

Artículo, fracciones, incisos a los que deberá dar cumplimiento.	Cómo y por qué es vinculante, este análisis deberá de sustentarse con las características técnicas de las obras y actividades del proyecto
LGEEPA	
Artículo 28.- *"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 alguno de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental de la Secretaría:*	
I.- Obras hidráulicas, vías generales de comunicación, oleoductos, gasoductos, carboductos y poliductos;	Esta fracción resulta directamente aplicable en lo correspondiente a la categoría de **obras hidráulicas**, debido a que el Proyecto contempla la instalación de 18 barreras rompeolas en la zona marina frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa. Estas estructuras estarán constituidas por tubos de geotextil de alta resistencia, rellenados hidráulicamente con arena y dispuestos para disminuir la energía incidente del oleaje, favorecer la retención de sedimentos y contribuir a la estabilización del perfil costero. Aunque la fracción I del artículo 28 de la LGEEPA no enumera individualmente las obras comprendidas en esta categoría, su alcance se precisa en el artículo 5, inciso A), fracción III, del Reglamento de la LGEEPA en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental, el cual incluye expresamente los proyectos de construcción de rompeolas, escolleras, espigones, bordos, diques y muros de contención de aguas nacionales. En consecuencia, las barreras rompeolas propuestas constituyen obras sujetas a la obtención previa de la autorización de la SEMARNAT en materia de impacto ambiental. Su evaluación deberá considerar su ubicación, dimensiones, procedimiento de instalación e

Artículo, fracciones, incisos a los que deberá dar cumplimiento.	Cómo y por qué es vinculante, este análisis deberá de sustentarse con las características técnicas de las obras y actividades del proyecto
	hidrollenado, interacción con el oleaje y las corrientes, modificación de la dinámica sedimentaria y posibles efectos sobre la calidad del agua, el fondo marino, las comunidades bentónicas, los pastos marinos y la fauna asociada. La vinculación se limita al supuesto de **obras hidráulicas**, ya que el Proyecto no contempla vías generales de comunicación, oleoductos, gasoductos, carboductos ni poliductos.
IX.- Desarrollos inmobiliarios que afecten los ecosistemas costeros;	Esta fracción resulta aplicable debido a que el Proyecto se desarrollará frente a un complejo hotelero existente y comprende obras destinadas a la restauración y estabilización de un ecosistema costero. Aunque no se propone la construcción o ampliación del hotel, se consideran la instalación de barreras de contención y elementos rompeolas mediante tubos de geotextil, el vertido controlado de arena, la conformación y revegetación de dunas artificiales y la construcción de seis pasos de duna. La vinculación se confirma con el artículo 5, inciso Q), del Reglamento de la LGEEPA en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental, que incluye expresamente los rompeolas, la infraestructura turística y las obras de restitución o recuperación de playas que afecten ecosistemas costeros. En consecuencia, las obras deberán someterse previamente al procedimiento de evaluación del impacto ambiental ante la SEMARNAT. La presente Manifestación de Impacto Ambiental constituye el instrumento mediante el cual se describen sus características, posibles efectos ambientales y medidas de prevención, mitigación, restauración y seguimiento.
X.- Obras y actividades en humedales, ecosistemas costeros, lagunas, ríos, lagos y esteros conectados con el mar, así como en sus litorales o zonas federales. En el caso de	Esta fracción resulta directamente aplicable, ya que las obras se pretenden realizar en la zona de playa y en la porción marina frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, dentro de un sistema

Artículo, fracciones, incisos a los que deberá dar cumplimiento.	Cómo y por qué es vinculante, este análisis deberá de sustentarse con las características técnicas de las obras y actividades del proyecto
actividades pesqueras, acuícolas o agropecuarias se estará a lo dispuesto por la fracción XII de este artículo;	litoral constituido por playa arenosa, duna costera y ambiente marino somero. El Proyecto comprende obras civiles y actividades de colocación de estructuras de geotextil, conducción y vertido de arena, modelación del perfil costero, conformación de dunas artificiales y construcción de pasos elevados. Por su ubicación y características, estas actividades pueden modificar temporalmente el relieve de la playa, el movimiento de sedimentos, la turbidez, la dinámica litoral y las condiciones del hábitat costero y marino. Por tanto, deberán evaluarse previamente sus impactos acumulativos y residuales, así como las medidas previstas para controlar la dispersión de sedimentos, proteger la fauna marina, prevenir la contaminación, revegetar las dunas y dar seguimiento a la estabilidad del perfil costero. La vinculación se complementa con el artículo 5, inciso R), del Reglamento, que sujeta a evaluación federal cualquier obra civil realizada en estos ecosistemas, sus litorales o zonas federales.
XI. Obras y actividades en áreas naturales protegidas de competencia de la Federación	Esta fracción resulta directamente aplicable, toda vez que, de acuerdo con el análisis cartográfico realizado, las obras y actividades del Proyecto se localizan dentro del polígono del Área Natural Protegida de competencia federal denominada **Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos**. El Proyecto comprende la instalación de barreras de contención y elementos rompeolas mediante tubos de geotextil, el vertido controlado de arena, la conformación y revegetación de dunas artificiales y la construcción de seis pasos de duna. Por su ubicación dentro del Parque Nacional, estas obras requieren obtener previamente la autorización de la SEMARNAT en materia de impacto ambiental. Asimismo, su diseño y ejecución deberán demostrar compatibilidad con el decreto de creación del Área Natural Protegida, su Programa

Artículo, fracciones, incisos a los que deberá dar cumplimiento.	Cómo y por qué es vinculante, este análisis deberá de sustentarse con las características técnicas de las obras y actividades del proyecto
	de Manejo, la zonificación aplicable y las reglas administrativas correspondientes. En particular, deberán prevenirse y controlarse las afectaciones sobre la calidad del agua, la dinámica sedimentaria, los pastos marinos, la fauna marina, las comunidades bentónicas y los ecosistemas arrecifales. La presentación de la Manifestación de Impacto Ambiental permite a la autoridad evaluar integralmente los efectos potenciales del Proyecto y, en su caso, establecer las medidas y condicionantes necesarias para garantizar la conservación de los ecosistemas protegidos.

II.1.2 Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental.

Tabla 2. Vinculación de los principales artículos del REIA de la LGEEPA con el Proyecto.

Artículo, fracciones, incisos a los que deberá dar cumplimiento.	Cómo y por qué es vinculante, este análisis deberá de sustentarse con las características técnicas de las obras y actividades del proyecto
RLGEEPAMEIA	
Artículo 5o.- Quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización de la Secretaría en materia de impacto ambiental:	
A) HIDRÁULICAS: *III. Proyectos de construcción de muelles, canales, escolleras, espigones, bordos, dársenas, represas, rompeolas, malecones, diques, varaderos y muros de contención de aguas nacionales, con excepción de los bordos de represamiento del agua con fines de abrevadero para el ganado, autoconsumo y riego local que no rebase 100 hectáreas;*	Este supuesto resulta directamente aplicable debido a que el Proyecto contempla la instalación de **18 barreras rompeolas** en la zona marina frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa. Estas estructuras estarán constituidas por tubos de geotextil de alta resistencia, rellenados hidráulicamente con arena y dispuestos para reducir la energía incidente del oleaje, favorecer la retención de sedimentos y contribuir a la estabilización del perfil costero. Aunque el sistema constructivo utiliza geotubos y no materiales convencionales como roca o concreto, la función de las estructuras corresponde a la de un rompeolas,

Artículo, fracciones, incisos a los que deberá dar cumplimiento.	Cómo y por qué es vinculante, este análisis deberá de sustentarse con las características técnicas de las obras y actividades del proyecto
	obra expresamente comprendida en la fracción III del inciso A). Adicionalmente, las barreras de contención C1 y C2 incluyen elementos de geotextil y anclaje destinados a contener el material arenoso colocado y estabilizar el litoral. Por consiguiente, estas obras requieren autorización previa de la SEMARNAT en materia de impacto ambiental. Su evaluación considera las características de desplante, anclaje e hidrollenado, así como sus posibles efectos sobre el oleaje, las corrientes, el transporte litoral de sedimentos, la morfología del fondo marino, la turbidez, las comunidades bentónicas, la fauna marina y los demás componentes ambientales del sitio.
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:* *a) Las que tengan como propósito la protección, embellecimiento y ornato, mediante la utilización de especies nativas;* *b) Las actividades recreativas cuando no requieran de algún tipo de obra civil, y* *c) La construcción de viviendas unifamiliares para las comunidades asentadas en los ecosistemas costeros*	Este inciso resulta directamente vinculante porque el Proyecto se ejecutará frente a un complejo hotelero existente y comprende obras expresamente señaladas por la disposición reglamentaria, particularmente la instalación de **rompeolas** y la ejecución de obras dirigidas a la restitución, restauración y estabilización de la playa. El Proyecto también incluye barreras de contención, vertido controlado de arena, conformación y revegetación de dunas artificiales y construcción de seis pasos de duna, componentes que en conjunto implican una intervención física sobre el ecosistema costero. Aunque su objetivo principal es recuperar el perfil de playa y parte de los servicios ambientales del sistema playa-duna, las obras pueden producir modificaciones sobre la dinámica sedimentaria, el relieve costero, la calidad del agua y los hábitats presentes durante su preparación, construcción y funcionamiento. El Proyecto **no se encuentra comprendido en las excepciones** de los

Artículo, fracciones, incisos a los que deberá dar cumplimiento.	Cómo y por qué es vinculante, este análisis deberá de sustentarse con las características técnicas de las obras y actividades del proyecto
	subincisos a), b) y c), debido a que no consiste exclusivamente en actividades de protección, embellecimiento u ornato mediante especies nativas; tampoco corresponde a actividades recreativas sin obra civil ni a la construcción de viviendas unifamiliares para comunidades costeras. La revegetación con especies nativas constituye únicamente uno de sus componentes, mientras que el Proyecto integral incorpora obras civiles costeras y marinas. Por ello, deberá obtener previamente la autorización de la SEMARNAT en materia de impacto ambiental.
R) OBRAS Y ACTIVIDADES EN HUMEDALES, MANGLARES, LAGUNAS, RÍOS, LAGOS Y ESTEROS CONECTADOS CON EL MAR, ASÍ COMO EN SUS LITORALES O ZONAS FEDERALES	Este inciso resulta directamente aplicable por la ubicación de las obras en el litoral, la playa, la Zona Federal Marítimo Terrestre y el área marina adyacente frente al hotel. La vinculación no se sustenta en la presencia de manglar dentro del área directa de intervención, sino en que el inciso R) comprende expresamente cualquier obra civil ejecutada en los litorales o zonas federales. El Proyecto contempla la instalación de barreras de contención y rompeolas mediante geotubos, tapetes antisocavación, elementos de anclaje y fijaciones; el bombeo y vertido controlado de arena; la conformación de dunas artificiales, y la construcción de pasos elevados de madera. Estas actividades implican una intervención material sobre superficies costeras y marinas y pueden generar temporalmente resuspensión de sedimentos, turbidez, ruido, modificación localizada del fondo y desplazamiento de fauna. Asimismo, las obras se vinculan con la protección y operación de un establecimiento hotelero, por lo que no corresponden a actividades de autoconsumo, subsistencia o

Artículo, fracciones, incisos a los que deberá dar cumplimiento.	Cómo y por qué es vinculante, este análisis deberá de sustentarse con las características técnicas de las obras y actividades del proyecto
	navegación comunitaria exceptuadas por el Reglamento. En consecuencia, deberán ser evaluadas previamente por la SEMARNAT y ejecutarse mediante delimitación de frentes, control de sedimentos, aplicación del programa de rescate, ahuyentamiento y reubicación de fauna marina, manejo adecuado de residuos y seguimiento ambiental.
S) OBRAS EN ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS	Este inciso resulta directamente aplicable porque, conforme al análisis cartográfico efectuado, las obras y actividades del Proyecto se encuentran dentro del polígono del **Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos**, Área Natural Protegida de competencia federal. Las barreras de contención, los elementos rompeolas, el vertido de arena y los demás componentes que se desarrollen dentro del polígono constituyen obras o instalaciones sujetas al procedimiento de evaluación del impacto ambiental. El Proyecto no se encuentra comprendido en las excepciones del inciso S), debido a que no corresponde a actividades domésticas o de autoconsumo de comunidades asentadas en el área; tampoco constituye exclusivamente una obra indispensable ejecutada por la autoridad para la conservación, mantenimiento o vigilancia del Parque, ni infraestructura habitacional dentro de una zona urbanizada. Aunque su finalidad incluye la restauración y estabilización del litoral, se trata de un Proyecto promovido para intervenir físicamente el ecosistema costero y marino, por lo que su compatibilidad deberá ser evaluada por la SEMARNAT. En consecuencia, las obras deberán ajustarse al decreto de creación, al Programa de Manejo, a la zona de manejo correspondiente y a las reglas administrativas

Artículo, fracciones, incisos a los que deberá dar cumplimiento.	Cómo y por qué es vinculante, este análisis deberá de sustentarse con las características técnicas de las obras y actividades del proyecto
	del Parque Nacional, además de implementar medidas para prevenir afectaciones sobre la calidad del agua, las comunidades bentónicas, la fauna marina, los arrecifes y los procesos sedimentarios.
RLGEEPAMEIA	
ARTÍCULO 11. Las manifestaciones de impacto ambiental se presentarán en la modalidad regional cuando se trate de: o actividades, requerirán previamente la autorización de la Secretaría en materia de impacto ambiental:	
III. Un conjunto de proyectos de obras y actividades que pretendan realizarse en una región ecológica determinada, y	PRIMERO. ANÁLISIS DEL PROYECTO COMO CONJUNTO DE PROYECTOS, OBRAS Y ACTIVIDADES: El Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa no corresponde a una obra aislada ni a una intervención puntual. Se encuentra constituido por diversos grupos de obras y actividades con características constructivas, superficies de ocupación, temporalidades y efectos ambientales diferenciados, pero técnica, espacial y funcionalmente interdependientes. El conjunto comprende: a) la instalación de 14 tubos de geotextil para conformar las barreras de contención C1 y C2; b) la instalación de 18 tubos de geotextil con función de barreras rompeolas; c) la extracción, conducción y vertido controlado de aproximadamente 8,084.43 m³ de arena en los polígonos V1 y V2; d) la conformación de seis secciones de duna artificial, con una superficie conjunta de 540.00 m²; e) la revegetación de las dunas con aproximadamente 1,350 ejemplares de especies nativas; y f) la construcción de seis pasos de duna elevados, con una superficie total de 60.00 m². Cada componente requiere procedimientos constructivos particulares, como trazo, desplante, colocación de tapetes

Artículo, fracciones, incisos a los que deberá dar cumplimiento.	Cómo y por qué es vinculante, este análisis deberá de sustentarse con las características técnicas de las obras y actividades del proyecto
	antisocavación, anclaje, hidrollenado, bombeo, conducción y distribución de arena, modelación del perfil costero, plantación y colocación de estructuras de madera. No obstante, todos los componentes forman parte de una estrategia integral dirigida a disminuir la energía del oleaje, favorecer la retención de sedimentos, recuperar el perfil de playa, restablecer el sistema playa-duna y contribuir a la protección de la infraestructura hotelera existente. Asimismo, los efectos de estas obras se encuentran relacionados: las barreras rompeolas influyen en el comportamiento del oleaje y el transporte litoral; el vertido de arena modifica el perfil de playa; las dunas favorecen la retención eólica de sedimentos; la revegetación contribuye a estabilizar el sustrato, y los pasos elevados concentran el tránsito peatonal y disminuyen el pisoteo. Por tanto, los componentes no pueden evaluarse de manera fragmentada, pues sus efectos ambientales pueden presentarse de forma conjunta, acumulativa y sinérgica. En este sentido, el Proyecto reúne el primer supuesto de la fracción III, al constituir un conjunto integrado de proyectos, obras y actividades que persiguen un objetivo común de restauración y estabilización del litoral. **SEGUNDO. EJECUCIÓN DEL PROYECTO EN UNA REGIÓN ECOLÓGICA DETERMINADA:** El Proyecto se desarrolla dentro de una región ecológica claramente identificable por sus características físicas, hidrológicas, geológicas, costeras y marinas. Conforme al Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio, el sitio se encuentra en la **Región Ecológica 17.33**, integrada por la **Unidad Ambiental**

Artículo, fracciones, incisos a los que deberá dar cumplimiento.	Cómo y por qué es vinculante, este análisis deberá de sustentarse con las características técnicas de las obras y actividades del proyecto
	Biofísica 62, denominada "Karst de Yucatán y Quintana Roo". Esta regionalización reconoce la continuidad ambiental del territorio peninsular, caracterizado por sustrato calcáreo, relieve kárstico, elevada infiltración, ausencia o escasez de corrientes superficiales y conexión subterránea entre el acuífero y los ecosistemas costeros y marinos. Adicionalmente, el área forma parte de la **Región Marina Prioritaria número 63, "Punta Maroma–Punta Nizuc"**, y de la **Región Hidrológica Prioritaria número 105, "Corredor Cancún–Tulum"**, identificadas por la CONABIO. Estas regiones prioritarias no constituyen por sí mismas ordenamientos regulatorios ni generan automáticamente prohibiciones de uso; sin embargo, aportan elementos técnicos que confirman la importancia y continuidad regional de los procesos ecológicos presentes en el área, particularmente la conectividad entre el acuífero kárstico, la costa, la playa, las dunas, los pastos marinos y el sistema arrecifal. A lo anterior se suma que las obras se encuentran dentro del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, cuya delimitación reconoce la relevancia ecológica del sistema marino-costero regional. Por tanto, la evaluación no debe limitarse exclusivamente a las superficies de ocupación directa, sino considerar las interacciones del Proyecto con la dinámica litoral, el transporte de sedimentos, la calidad del agua, el fondo marino, las comunidades bentónicas, los pastos marinos, la fauna y los ecosistemas arrecifales. En consecuencia, se actualiza el segundo elemento de la fracción III del artículo 11, al pretenderse la ejecución del

Artículo, fracciones, incisos a los que deberá dar cumplimiento.	Cómo y por qué es vinculante, este análisis deberá de sustentarse con las características técnicas de las obras y actividades del proyecto
	conjunto de proyectos, obras y actividades dentro de una región ecológica determinada. Con base en los dos elementos analizados, el Proyecto se ajusta al supuesto previsto en el artículo 11, fracción III, del RLGEEPA-MEIA, debido a que: 1. Está integrado por diversos proyectos, obras y actividades técnica y funcionalmente relacionados, cuyos efectos no deben evaluarse de manera fragmentada. 2. Se desarrollará dentro de una región ecológica determinada, reconocida formalmente por el POEGT como la Región Ecológica 17.33 y UAB 62, y caracterizada adicionalmente por su inclusión en regiones marina e hidrológica prioritarias y dentro del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. Por lo anterior, resulta procedente presentar la Manifestación de Impacto Ambiental en **modalidad regional**, con el propósito de evaluar integralmente las interacciones, efectos acumulativos, sinérgicos y residuales del conjunto de obras sobre el sistema ambiental regional.
IV. Proyectos que pretendan desarrollarse en sitios en los que, por su interacción con los diferentes componentes ambientales regionales, se prevean impactos acumulativos, sinérgicos o residuales que pudieran ocasionar la destrucción, el aislamiento o la fragmentación de los ecosistemas.	**La fracción resulta aplicable como fundamento para evaluar el Proyecto en la modalidad regional**, debido a que sus obras y actividades interactúan con distintos componentes de un sistema litoral costero ambientalmente interrelacionado, integrado por la playa, la duna costera, el fondo marino, la vegetación acuática sumergida, la fauna marina, la calidad del agua, el oleaje, las corrientes y el transporte

Artículo, fracciones, incisos a los que deberá dar cumplimiento.	Cómo y por qué es vinculante, este análisis deberá de sustentarse con las características técnicas de las obras y actividades del proyecto
	sedimentario. Asimismo, el Proyecto se inserta en una Región Ecológica sometida previamente a procesos de erosión y retroceso de la línea de costa, pérdida de la función protectora de la duna, actividades turísticas y recreativas, navegación e incidencia recurrente de fenómenos hidrometeorológicos. Por ello, su evaluación no se limita a las superficies directamente ocupadas, sino que considera la interacción de sus efectos con las presiones ambientales existentes y con la dinámica regional del ecosistema. Conforme a los resultados del Capítulo IV, se identificaron **impactos acumulativos** relacionados con: a) el incremento temporal de la turbidez durante el bombeo, hidrollenado y vertido de arena, en combinación con la resuspensión natural ocasionada por el oleaje y las corrientes; b) la ocupación del fondo marino por los geotubos, tapetes antisocavación y anclajes, sumada a las presiones existentes por navegación y recreación; c) la posible afectación puntual de **10.51 m² de pastos marinos**, en interacción con su variabilidad natural y con otras presiones sobre la vegetación acuática sumergida; d) la perturbación temporal de fauna marina, añadida a la presencia ordinaria de embarcaciones y usuarios; e) la generación de residuos durante las obras, acumulable con la actividad turística regional; y f) la modificación localizada del transporte sedimentario dentro de un litoral que presenta procesos erosivos antecedentes. También se reconocen efectos acumulativos favorables derivados de la restitución de arena, la formación de dunas, la revegetación con especies nativas y el ordenamiento del tránsito peatonal mediante

Artículo, fracciones, incisos a los que deberá dar cumplimiento.	Cómo y por qué es vinculante, este análisis deberá de sustentarse con las características técnicas de las obras y actividades del proyecto
	pasos elevados. En cuanto a los **impactos sinérgicos**, se analizaron las posibles interacciones entre los geotubos, el oleaje extremo y la socavación; entre las modificaciones locales de la circulación y los procesos erosivos existentes; entre la turbidez, la sedimentación y la sensibilidad de los pastos marinos; entre el ruido de las obras y la navegación turística; y entre la presencia humana, la iluminación y una eventual arribada de tortugas marinas. En sentido positivo, las barreras de contención, los rompeolas, el aporte de arena y las dunas revegetadas funcionarán de manera conjunta para reducir la pérdida de sedimentos y recuperar la capacidad de amortiguamiento del litoral. Asimismo, las dunas artificiales, su vegetación nativa y los pasos elevados conformarán una estrategia integrada para recuperar funciones ecológicas y ordenar el acceso a la playa. Como **impactos residuales**, se identificaron la modificación localizada de la morfología del Banco IRRM; la recuperación gradual de sus comunidades bentónicas; la ocupación física del fondo marino durante la permanencia de los geotubos, tapetes antisocavación y anclajes; la modificación puntual del microrelieve submarino; los cambios localizados en la circulación y el transporte de sedimentos; la modificación del sustrato y del perfil costero en V1 y V2; y la presencia visual de las estructuras durante su vida útil. También se consideraron como impactos residuales condicionados la posible pérdida neta de pastos marinos, únicamente si las acciones de evasión y restauración no alcanzaran los resultados previstos, y la posible erosión o acumulación no

Artículo, fracciones, incisos a los que deberá dar cumplimiento.	Cómo y por qué es vinculante, este análisis deberá de sustentarse con las características técnicas de las obras y actividades del proyecto
	esperada en sectores colindantes, si la respuesta del litoral difiriera del comportamiento proyectado. No obstante, el análisis conjunto indica que dichos impactos estarán principalmente restringidos a los polígonos intervenidos y **no se prevé que alcancen la magnitud, continuidad espacial o extensión necesarias para ocasionar la destrucción, el aislamiento o la fragmentación funcional del ecosistema costero-marino en el Área de Influencia o en la Región Ecológica**. El Proyecto no contempla la remoción, relleno o poda de manglar; no interrumpe conexiones hidrológicas con humedales costeros; no ocupa formaciones arrecifales; y las estructuras marinas tendrán una disposición localizada y discontinua, por lo que no constituirán una barrera continua para el desplazamiento de fauna ni dividirán unidades de hábitat. La coincidencia potencial con pastos marinos se limita a 10.51 m² y será atendida prioritariamente mediante la microlocalización de las obras y, cuando la evasión no resulte técnicamente posible, mediante acciones de rescate, reubicación, restauración y seguimiento. Los impactos reconocidos serán controlados mediante los programas de vigilancia ambiental; prevención y atención de derrames; manejo integral de residuos; monitoreo de la línea de costa y calidad del agua marina; rescate, ahuyentamiento y reubicación de fauna marina; monitoreo de tortugas marinas; conservación, manejo y restauración de vegetación marina; restauración y seguimiento de dunas costeras; e inspección y mantenimiento de las estructuras y del fondo marino. En consecuencia, el Proyecto actualiza

Artículo, fracciones, incisos a los que deberá dar cumplimiento.	Cómo y por qué es vinculante, este análisis deberá de sustentarse con las características técnicas de las obras y actividades del proyecto
	el supuesto de análisis regional previsto en la fracción, debido a que presenta interacciones acumulativas, sinérgicas y residuales que deben evaluarse integralmente; sin embargo, **ello no significa que se actualice necesariamente el resultado adverso de destrucción, aislamiento o fragmentación de los ecosistemas**. Con las medidas ambientales propuestas, los impactos negativos significativos se mantendrán localizados, serán objeto de seguimiento y manejo adaptativo y no comprometerán la continuidad, estructura o funcionalidad del ecosistema regional.

II.2 INSTRUMENTOS DEL DERECHO DEL MAR (INTERNACIONAL)

II.2.1 Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR, 1982)

Tabla 3. Vinculación de los artículos aplicable de CONVEMAR, 1982 con el Proyecto.

Artículos / Disposiciones	Vinculación con el proyecto
Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR, 1982)	
Artículo 192. Los Estados tienen la obligación de proteger y preservar el medio marino.	Este artículo resulta aplicable como principio general de protección del medio marino. Si bien la obligación se encuentra dirigida al Estado mexicano, su cumplimiento se materializa mediante la legislación ambiental nacional y el procedimiento de evaluación del impacto ambiental al que se somete el Proyecto. Las obras se desarrollarán en la zona de playa y marina localizada dentro del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, por lo que su ejecución debe prevenir el deterioro de la calidad del agua, el fondo marino, las comunidades bentónicas, los pastos marinos, la fauna y los ecosistemas arrecifales. El Proyecto es congruente con el propósito general del artículo porque busca restaurar y estabilizar el litoral, disminuir la erosión, recuperar el perfil de playa y restablecer servicios ambientales del sistema playa-duna. No obstante, este objetivo favorable no elimina la obligación de prevenir los efectos

Artículos / Disposiciones	Vinculación con el proyecto
	adversos asociados a la construcción. Por ello, se contemplan la delimitación de los frentes de trabajo, el control de la dispersión de sedimentos, la aplicación del programa de rescate, ahuyentamiento y reubicación de fauna marina, el manejo adecuado de residuos, la prevención y atención de derrames, la revegetación con especies nativas y el seguimiento de las obras.
Artículo 194. Medidas para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino 1. Los Estados tomarán, individual o conjuntamente según proceda, todas las medidas compatibles con esta Convención que sean necesarias para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino procedente de cualquier fuente, utilizando a estos efectos los medios más viables de que dispongan y en la medida de sus posibilidades, y se esforzarán por armonizar sus políticas al respecto. 2. Los Estados tomarán todas las medidas necesarias para garantizar que las actividades bajo su jurisdicción o control se realicen de forma tal que no causen perjuicios por contaminación a otros Estados y su medio ambiente, y que la contaminación causada por incidentes o actividades bajo su jurisdicción o control no se extienda más allá de las zonas donde ejercen derechos de soberanía de conformidad con esta Convención. 3. Las medidas que se tomen con arreglo a esta Parte se referirán a todas las fuentes de contaminación del medio marino. Estas medidas incluirán, entre	Este artículo se vincula directamente con las medidas preventivas que deberán aplicarse durante la instalación e hidrollenado de los geotubos, el vertido de arena, la conformación del perfil de playa y el montaje de los demás componentes marinos y costeros. Las actividades pueden generar temporalmente resuspensión de sedimentos, incremento de turbidez, ruido subacuático, residuos sólidos y riesgo accidental de fugas de combustibles o lubricantes. Para prevenir y controlar estos efectos se utilizarán mallas o barreras antidispersión, celdas temporales de vertido, bombeo controlado, delimitación progresiva de los frentes, inspección de mangueras y conexiones, recipientes con tapa, tapetes de contención y equipo para la atención de derrames. El abastecimiento de combustible y el mantenimiento mayor de la maquinaria se realizarán fuera de la playa y la zona marina. No se permitirán descargas de aguas residuales, residuos, aceites, combustibles, madera tratada con sustancias tóxicas ni materiales contaminados. La vinculación es particularmente relevante respecto de los párrafos 1, 2, 3, inciso d), y 5, debido a que el Proyecto incorpora instalaciones y estructuras que funcionarán en el medio marino y se encuentra dentro de un área que alberga ecosistemas vulnerables y hábitats de especies protegidas. Las obras y medidas propuestas deberán evitar que los efectos se extiendan fuera de los polígonos autorizados o afecten los objetos de conservación del Parque Nacional.

Artículos / Disposiciones	Vinculación con el proyecto
otras, las destinadas a reducir en el mayor grado posibles a) La evacuación de sustancias tóxicas, perjudiciales o nocivas, especialmente las de carácter persistente, desde fuentes terrestres, desde la atmósfera o a través de ella, o por vertimiento; b) La contaminación causada por buques, incluyendo en particular medidas para prevenir accidentes y hacer frente a casos de emergencia, garantizar la seguridad de las operaciones en el mar, prevenir la evacuación intencional o no y reglamentar el diseño, la construcción, el equipo, la operación y la dotación de los buques; c) La contaminación procedente de instalaciones y dispositivos utilizados en la exploración o explotación de los recursos naturales de los fondos marinos y su subsuelo» incluyendo en particular medidas para prevenir accidentes y hacer frente a casos de emergencia, garantizar la seguridad de las operaciones en el mar y reglamentar el diseño, la construcción, el equipo, el funcionamiento y la dotación de tales instalaciones o dispositivos; d) La contaminación procedente de otras instalaciones y dispositivos que funcionen en el medio marino, incluyendo en particular medidas para prevenir accidentes y hacer frente a casos de emergencia,	

Artículos / Disposiciones	Vinculación con el proyecto
garantizar la seguridad de las operaciones en el mar y reglamentar el diseño, la construcción, el equipo, el funcionamiento y la dotación de tales instalaciones o dispositivos. 4. Al tomar medidas para prevenir, reducir o controlar la contaminación del medio marino, los Estados se abstendrán de toda injerencia injustificable en las actividades realizadas por otros Estados en ejercicio de sus derechos y en cumplimiento de sus obligaciones de conformidad con esta Convención. 5. Entre las medidas que se tomen de conformidad con esta Parte figurarán las necesarias para proteger y preservar los ecosistemas raros o vulnerables, así como el hábitat de las especies y otras formas de vida marina diezmadas, amenazadas o en peligro.	
Artículo 207. Contaminación procedente de fuentes terrestres 1. Los Estados dictarán leyes y reglamentos para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino procedente de fuentes terrestres, incluidos los ríos, estuarios, tuberías y estructuras de desagüe, teniendo en cuenta las reglas y estándares, así como las prácticas y procedimientos recomendados, que se hayan convenido internacionalmente. 2. Los Estados tomarán otras medidas que puedan ser necesarias para prevenir, reducir y controlar esa contaminación.	Este artículo presenta una vinculación preventiva, debido a que parte de la movilización, almacenamiento temporal, manejo de materiales, conformación de dunas y construcción de pasos se realizará desde la zona terrestre y la playa. No se prevén descargas de aguas residuales sanitarias o industriales al mar; el personal utilizará los sanitarios existentes del hotel y no se instalarán sistemas de descarga sobre la playa. Los residuos sólidos urbanos se colocarán en contenedores de 200 litros con tapa y tapete de contención, y serán retirados periódicamente mediante el sistema de manejo del hotel o el servicio correspondiente. El agua que drene durante el hidrollenado y el vertido de arena procederá de la mezcla de agua y sedimento utilizada en el proceso y retornará de manera controlada después de atravesar los elementos de retención; no obstante, se aplicarán mallas antidispersión y control del caudal para

Artículos / Disposiciones	Vinculación con el proyecto
3. los Estados procurarán armonizar sus políticas al respecto en el plano regional apropiado. 4. Los Estados, actuando especialmente por conducto de las organizaciones internacionales competentes o de una conferencia diplomática, procurarán establecer reglas y estándares, así como prácticas y procedimientos recomendados, de carácter mundial y regional, para prevenir, reducir y controlar esa contaminación, teniendo en cuenta las características propias de cada región, la capacidad económica de los Estados en desarrollo y su necesidad de desarrollo económico. Tales reglas, estándares y prácticas y procedimientos recomendados serán reexaminados con la periodicidad necesaria. 5. Las leyes, reglamentos, medidas, reglas, estándares y prácticas y procedimientos recomendados a que se hace referencia en los párrafos 1, 2 y 4 incluirán disposiciones destinadas a reducir lo más posible la evacuación en el medio marino de sustancias tóxicas, perjudiciales o nocivas, en especial las de carácter persistente.	reducir la incorporación de sólidos suspendidos al medio marino. Asimismo, estará prohibido descargar cemento, pinturas, preservadores, combustibles, lubricantes, residuos o cualquier sustancia perjudicial. De esta forma, el Proyecto atiende preventivamente el principio de reducir y controlar la contaminación marina proveniente de actividades ejecutadas desde tierra.
Artículo 208. Contaminación resultante de actividades relativas a los fondos marinos sujetos a la jurisdicción nacional 1. Los Estados ribereños dictarán leyes y reglamentos para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino resultante directa o indirectamente de las actividades	Este artículo guarda relación con el Proyecto porque las barreras de contención, los rompeolas, sus tapetes antisocavación, anclajes y demás elementos de soporte serán colocados sobre el fondo marino sujeto a la jurisdicción mexicana. Aunque el Proyecto no tiene por objeto la exploración o explotación de hidrocarburos, minerales u otros recursos del subsuelo marino, sí implica la instalación de estructuras y la intervención localizada del sustrato. Por ello, deberán prevenirse la dispersión de sedimentos, la afectación innecesaria del

Artículos / Disposiciones	Vinculación con el proyecto
relativas a los fondos marinos sujetas a su jurisdicción y de las islas artificiales, instalaciones y estructuras bajo su jurisdicción, de conformidad con los artículos 60 y 80. 2. Los Estados tomarán otras medidas que puedan ser necesarias para prevenir, reducir y controlar esa contaminación. 3. Tales leyes, reglamentos y medidas no serán menos eficaces que las reglas, estándares y prácticas y procedimientos recomendados, de carácter internacional. 4. Los Estados procurarán armonizar sus políticas al respecto en el plano regional apropiado. 5. Los Estados, actuando especialmente por conducto de las organizaciones internacionales competentes o de una conferencia diplomática, establecerán reglas y estándares, así como prácticas y procedimientos recomendados, de carácter mundial y regional, para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino a que se hace referencia en el párrafo 1. Tales reglas, estándares y prácticas y procedimientos recomendados se reexaminarán con la periodicidad necesaria.	fondo, el enterramiento de comunidades bentónicas fuera de los polígonos autorizados, el desplazamiento de elementos estructurales y la liberación de materiales al medio marino. Previamente a las maniobras se realizará la inspección ambiental del frente de trabajo y se aplicarán las acciones de protección, ahuyentamiento o reubicación de fauna. El desplante se limitará a las superficies autorizadas, el llenado se efectuará gradualmente y se inspeccionarán la alineación, presión, estabilidad, costuras, puertos y anclajes de los geotubos. Las medidas nacionales que materializan esta obligación comprenden la evaluación de impacto ambiental, las disposiciones del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos y las autorizaciones aplicables a la ocupación e instalación de estructuras en la zona marina.
Artículo 210. *C*ontaminación por vertimiento 1. Los Estados dictarán leyes y reglamentos para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino por vertimiento. 2. Los Estados tomarán otras medidas que puedan ser necesarias para	Este artículo debe vincularse de manera diferenciada. El Proyecto no contempla el vertimiento de desechos, residuos o materiales con la finalidad de eliminarlos en el mar. La arena será colocada deliberadamente como material constructivo para restaurar el perfil de playa, rellenar los tubos de geotextil y conformar las dunas artificiales; por tanto, su finalidad es funcional y distinta de la mera evacuación o eliminación. Del mismo modo,

Artículos / Disposiciones	Vinculación con el proyecto
prevenir, reducir y controlar esa contaminación. 3. Tales leyes, reglamentos y medidas garantizarán que el vertimiento no se realice sin autorización de las autoridades competentes de los Estados. ' 4. Los Estados, actuando especialmente por conducto de las organizaciones internacionales competentes o de una conferencia diplomática, procurarán establecer reglas y estándares, así como prácticas y procedimientos recomendados, de carácter mundial y regional, para prevenir, reducir y controlar esa contaminación. Tales reglas, estándares y prácticas y procedimientos recomendados serán reexaminados con la periodicidad necesaria. 5. El vertimiento en el mar territorial, en la zona económica exclusiva o sobre la plataforma continental no se realizará- sin el previo consentimiento expreso del Estado ribereño, el cual tiene derecho a autorizar, regular y controlar ese vertimiento tras haber examinado debidamente la cuestión con otros Estados que, por razón de su situación geográfica, puedan ser adversamente afectados por él. 6. Las leyes, reglamentos y medidas nacionales no serán menos eficaces para prevenir, reducir y controlar esa contaminación que las reglas y estándares de carácter mundial.	los geotubos, tapetes, anclajes y demás componentes serán instalados como estructuras permanentes del Proyecto y no serán abandonados como residuos. En consecuencia, la colocación de arena limpia y compatible con el sitio no se considera automáticamente "vertimiento" en el sentido de la CONVEMAR. Sin embargo, el artículo se atiende preventivamente mediante la prohibición expresa de disponer en el mar residuos sólidos urbanos, materiales de manejo especial, residuos peligrosos, aguas residuales, aceites, combustibles, madera, empaques, fragmentos de geotextil, sedimentos contaminados, sargazo o cualquier sustancia nociva. En el supuesto de que alguna actividad distinta llegará a ser jurídicamente considerada vertimiento por la autoridad competente, no podrá realizarse sin la autorización o consentimiento expreso correspondiente.

II.2.2 Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y Otras Materias, 1972 —Convenio de Londres—

Tabla 4. Vinculación de los principales artículos del Convenio de Londres, 1972 con el Proyecto.

Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y Otras Materias, 1972 —Convenio de Londres—	
Artículos/disposiciones	**Vinculación**
Artículos I a VII y anexos aplicables.	El Convenio de Londres tiene como finalidad controlar las fuentes de contaminación marina y prevenir la contaminación ocasionada por el vertimiento deliberado de desechos y otras materias desde buques, aeronaves, plataformas u otras estructuras construidas en el mar. Su vinculación con el Proyecto es principalmente preventiva, debido a que se ejecutarán obras en la zona marina del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos y se utilizarán arena, tubos de geotextil, tapetes antisocavación, anclajes, mangueras y equipo de bombeo. No obstante, las actividades propuestas **no constituyen un vertimiento de desechos en los términos del Convenio**, porque no tienen como finalidad evacuar, desechar o eliminar materiales en el mar. La arena será colocada como material constructivo para el hidrollenado de las barreras de contención y rompeolas, la restauración del perfil de playa y la conformación de dunas artificiales. Asimismo, los geotubos, tapetes y anclajes serán instalados como componentes funcionales y permanentes del sistema de estabilización litoral. Esta interpretación se sustenta en el artículo III, numeral 1, inciso b), subinciso ii), que excluye del concepto de vertimiento la colocación de materias para un fin distinto de su mera evacuación, siempre que dicha colocación no sea contraria a los objetivos del Convenio. La finalidad de restauración y estabilización costera es compatible con dichos objetivos, siempre que las obras se ejecuten con las medidas necesarias para evitar contaminación o daño al medio marino. En atención preventiva al Convenio, estará prohibido depositar en el mar residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial, residuos peligrosos, aceites, combustibles, lubricantes, aguas residuales, empaques, cuerdas, fragmentos de geotextil, madera, plásticos persistentes, sargazo mezclado con residuos, sedimentos contaminados o cualquier sustancia tóxica, perjudicial o

Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y Otras Materias, 1972 —Convenio de Londres—	
Artículos/disposiciones	Vinculación
	nociva. Los materiales deberán permanecer dentro de los polígonos autorizados y se aplicarán mallas antidispersión, control del caudal de bombeo, inspección de mangueras y conexiones, delimitación de los frentes de trabajo, recolección de recortes y fragmentos, mantenimiento de los geotubos y atención inmediata de derrames accidentales. Aunque el Anexo III se refiere a los criterios para autorizar vertimientos, sus elementos se consideran preventivamente en la evaluación ambiental del Proyecto: cantidad y características del material, ubicación y profundidad del sitio, método y velocidad de colocación, corrientes, mareas, dispersión, calidad del agua, características del fondo y posibles efectos sobre la vida marina, la navegación y las áreas de conservación. En caso de que durante la ejecución se pretendiera realizar una actividad distinta que sí implicara la eliminación deliberada de desechos o materias en el mar, ésta no formaría parte del Proyecto evaluado y no podría efectuarse sin obtener previamente las autorizaciones correspondientes.

II.2.3 Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL 73/78)

Tabla 5. Vinculación de los principales Anexos del Convenio de MARPOL 73/78 con el Proyecto.

Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL 73/78)	
Artículo/disposición	Vinculación
Anexo I Reglamento para prevenir la contaminación por hidrocarburos (entró en vigor el 2 de octubre de 1983) *Abarca la prevención de la contaminación por hidrocarburos derivada de medidas operativas y de vertidos accidentales; las modificaciones del anexo I de 1992 obligaron a los petroleros nuevos a tener doble casco e introdujeron un calendario de introducción progresiva del doble casco en los*	El Anexo I resultará aplicable a las embarcaciones que, en su caso, participen en la movilización de personal y equipo, colocación de boyas, instalación o mantenimiento de bombas, inspección de geotubos y demás maniobras relacionadas con las obras marinas. Las embarcaciones deberán encontrarse en condiciones mecánicas adecuadas y no presentar fugas de combustible, aceite o lubricantes. Antes de su ingreso al frente de trabajo se verificará visualmente el estado del motor, líneas de combustible, depósitos, conexiones y sentinas. No se permitirá el suministro de combustible, cambio de aceite, lavado de piezas o mantenimiento mayor dentro del Parque Nacional, en la playa o sobre el agua. Las embarcaciones deberán

Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL 73/78)	
Artículo/disposición	**Vinculación**
petroleros existentes, que se revisó posteriormente en 2001 y 2003.	contar con materiales absorbentes y medios básicos para contener y recuperar derrames accidentales, además de cumplir con los certificados, equipos, registros y planes que les correspondan conforme a sus características, dimensiones y régimen de navegación. Cualquier fuga deberá atenderse inmediatamente, suspenderse la operación y notificarse al responsable ambiental. Los residuos impregnados con hidrocarburos que eventualmente se generen serán manejados conforme a la legislación nacional aplicable y no podrán descargarse en el mar. Las obligaciones del Anexo I no regulan directamente la maquinaria terrestre ni la planta generadora portátil; sin embargo, para estos equipos se aplicarán medidas equivalentes de inspección, mantenimiento fuera de la playa, uso de tapetes de contención y atención de derrames.
Anexo V. Prevención de la contaminación por las basuras de los buques (entró en vigor el 31 de diciembre de 1988). *Trata de los diferentes tipos de basura y especifica las distancias desde tierra y la forma en que pueden eliminarse; la característica más importante del Anexo es la prohibición total impuesta a la eliminación en el mar de todo tipo de plásticos.*	Este Anexo será directamente aplicable a las embarcaciones o plataformas flotantes que sean utilizadas durante las obras. Quedará prohibida la descarga al mar de residuos de alimentos, envases, empaques, cuerdas, cabos, bolsas, botellas, recipientes, trapos, madera, restos de materiales, fragmentos de manguera, geotextil o cualquier otra basura generada durante las maniobras. La prohibición reviste especial importancia porque los tubos de geotextil, mallas, cuerdas y empaques contienen materiales sintéticos o plásticos persistentes cuya descarga al mar se encuentra prohibida. Todos los residuos generados a bordo deberán separarse, conservarse en recipientes cerrados y trasladarse a tierra para su incorporación al sistema de manejo del hotel o entrega al servicio autorizado correspondiente. Durante las obras se realizarán inspecciones del frente marino y de playa para recuperar inmediatamente cualquier fragmento desprendido. Cuando por las dimensiones o características de la embarcación resulte exigible, ésta deberá contar con rótulos, plan de manejo de basuras y libro de registro conforme al Anexo V. Si no se utilizan embarcaciones, el Anexo no tendría aplicación directa; no obstante, la prohibición de

Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (MARPOL 73/78)	
Artículo/disposición	**Vinculación**
	abandonar residuos en el medio marino se mantendrá como medida ambiental obligatoria del Proyecto.
Anexo VI. Prevención de la contaminación atmosférica por los buques (entró en vigor el 19 de mayo de 2005) *Establece límites a las emisiones de óxido de azufre y óxido de nitrógeno procedentes de los tubos de escape de los buques y prohíbe las emisiones deliberadas de sustancias que agotan la capa de ozono; las zonas designadas para el control de las emisiones fijan normas más estrictas para el SOx, el NOx y las partículas. Un capítulo adoptado en 2011 abarca las medidas técnicas y operativas obligatorias de eficiencia energética destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes de los buques*.	El Anexo VI será aplicable a los motores y equipos instalados en las embarcaciones que, en su caso, participen en las actividades del Proyecto. Las embarcaciones deberán emplear combustibles permitidos, mantener sus motores afinados y en condiciones adecuadas de operación y cumplir con los límites y requisitos de emisiones que correspondan a su tipo, potencia, arqueo, año de construcción y régimen de navegación. Se evitará mantener motores encendidos cuando las embarcaciones permanezcan detenidas sin realizar maniobras y estará prohibida la quema o incineración a bordo de residuos, aceites, plásticos, empaques o cualquier otro material. Cuando resulte aplicable, las embarcaciones deberán contar con los certificados, registros y dispositivos de control previstos por MARPOL. El Anexo VI no regula directamente las emisiones de vehículos, maquinaria terrestre o de la planta generadora portátil; estos equipos se sujetarán a la legislación nacional y a medidas como mantenimiento preventivo, uso eficiente, apagado cuando no estén en operación y prohibición de quemar residuos.

II.2.4 Agenda 2030-ONU- ODS 14

Tabla 6. Vinculación del ODS 14 de la Agenda 2030-ONU con el Proyecto.

AGENDA 2030-ONU	
Artículo/disposición	**Vinculación**
ODS 14. Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.	El Proyecto se vincula con el ODS 14 porque se desarrollará en el sistema costero y marino frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, dentro del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. Su objetivo no consiste únicamente en ampliar la superficie de playa seca, sino en ejecutar una estrategia integral de restauración y estabilización litoral mediante barreras de contención, estructuras rompeolas, vertido controlado de arena,

	conformación y revegetación de dunas artificiales y construcción de pasos elevados. En conjunto, estas obras buscan disminuir la erosión, recuperar el perfil costero, favorecer la retención de sedimentos, restablecer servicios ambientales del sistema playa-duna y aumentar la protección frente al oleaje y los eventos hidrometeorológicos. La congruencia con el ODS 14 dependerá de que las obras se ejecuten sin ocasionar afectaciones significativas a la calidad del agua, los pastos marinos, las comunidades bentónicas, la fauna y los ecosistemas arrecifales. Por ello, el Proyecto incorpora medidas de prevención, mitigación, restauración, mantenimiento y seguimiento ambiental, además de sujetarse al procedimiento de evaluación del impacto ambiental y a las disposiciones del Parque Nacional.
Meta 14.1. Prevenir y reducir significativamente la contaminación marina de todo tipo, particularmente la producida por actividades realizadas en tierra, incluidos los detritos marinos y la contaminación por nutrientes.	El Proyecto se vincula con esta meta porque las actividades terrestres y marinas podrían generar temporalmente sedimentos suspendidos, residuos sólidos y riesgos accidentales de fugas de combustibles o lubricantes. Para prevenir estos efectos se utilizarán mallas antidispersión y celdas temporales de vertido; se controlará el caudal de bombeo; se inspeccionarán mangueras, bombas y conexiones, y se delimitarán progresivamente los frentes de trabajo. No se realizarán descargas de aguas residuales al mar, la playa o el suelo; el personal utilizará los sanitarios existentes del hotel. Los residuos se colocarán en contenedores de 200 litros con tapa y tapete de contención y serán retirados mediante el sistema de manejo correspondiente. Estará prohibido abandonar en el medio marino fragmentos de geotextil, cuerdas, madera, plásticos, empaques, combustibles, lubricantes o cualquier otra sustancia contaminante.
Meta 14.2. Gestionar y proteger sosteniblemente los ecosistemas marinos y costeros para evitar efectos adversos importantes, fortalecer su resiliencia y adoptar medidas para su restauración.	Esta es la meta con mayor relación con el Proyecto. Las obras tienen como propósito restaurar y estabilizar un litoral afectado por procesos erosivos, mediante una intervención integral que considera tanto el componente marino como el sistema playa-duna. Las barreras rompeolas reducirán parcialmente la energía del oleaje; las barreras de contención favorecerán la permanencia del material arenoso; el vertido controlado permitirá recuperar

	el perfil de playa, y las dunas revegetadas contribuirán a retener arena transportada por el viento, reducir la erosión eólica y almacenar temporalmente sedimentos. La revegetación con aproximadamente 1,350 ejemplares de especies nativas y la instalación de seis pasos elevados favorecerán la recuperación de la cubierta vegetal y disminuirán el pisoteo y la apertura de senderos informales. La resiliencia del sistema dependerá del mantenimiento de la cobertura arenosa, la supervivencia de la vegetación y el monitoreo de las estructuras después de tormentas y eventos extraordinarios.
Meta 14.5. Conservar las zonas costeras y marinas de conformidad con la legislación nacional e internacional y con base en la mejor información disponible.	El Proyecto se localiza dentro del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, por lo que su ejecución es compatible con el decreto de creación, el Programa de Manejo, la zona de manejo aplicable y las reglas administrativas del Área Natural Protegida. La vinculación con esta meta no deriva únicamente de encontrarse dentro de un área protegida, sino de la obligación de evitar que las obras reduzcan su integridad, conectividad o eficacia de conservación. La MIA regional demuestra que los componentes se limitan a los polígonos evaluados, que no se afectarán innecesariamente los hábitats marinos y que se aplicarán medidas para proteger la calidad del agua, el fondo, la vegetación marina, la fauna y los ecosistemas arrecifales. El Proyecto también deberá atender los términos y condicionantes que determine la SEMARNAT y las autorizaciones que correspondan por su ubicación dentro del Parque Nacional.
Meta 14.a. Aumentar los conocimientos científicos y desarrollar la capacidad de investigación para mejorar la salud de los océanos y la contribución de la biodiversidad marina.	La meta está dirigida principalmente a los Estados y a las instituciones científicas; por ello, su aplicación al Proyecto es indirecta. No obstante, la elaboración de la MIA regional, la caracterización del sistema ambiental, la revisión de información hidrográfica, el control topográfico, el seguimiento del perfil costero y la documentación de las condiciones ambientales aportarán información para evaluar el comportamiento de las obras y su interacción con el medio marino. Los registros, mediciones, fotografías, coordenadas y bitácoras permitirán sustentar las decisiones de mantenimiento y, en su caso, aplicar medidas correctivas. Esta información deberá ser generada y

	utilizada con criterios técnicos y quedar disponible para atender los requerimientos de la autoridad ambiental.
Meta 14.c. Mejorar la conservación y el uso sostenible de los océanos mediante la aplicación del derecho internacional reflejado en la CONVEMAR.	El Proyecto se vincula con esta meta mediante la observancia de la CONVEMAR, el Convenio de Londres, MARPOL —cuando se utilicen embarcaciones— y la legislación ambiental mexicana que instrumenta los compromisos internacionales de protección del medio marino. La evaluación previa de los impactos, el control de la contaminación, la prohibición de disponer residuos en el mar y la protección de ecosistemas vulnerables constituyen acciones congruentes con este marco. La colocación de arena y estructuras tendrá una finalidad de restauración y estabilización, distinta de la eliminación de desechos, y deberá realizarse únicamente dentro de las superficies y condiciones autorizadas.

II.3 INSTRUMENTOS APLICABLES A OBRAS PORTUARIAS

II.3.1 Ley de Vertimiento en Zonas Marinas Mexicanas

Tabla 7. Vinculación de la Ley de Vertimiento en Zonas Marinas Mexicanas con el Proyecto.

Ley de Vertimiento en Zonas Marinas Mexicanas	
Artículo/disposición	**Vinculación**
Artículo 3 Bis. - En las zonas marinas mexicanas no se considerará como vertimiento lo siguiente:	
I. La evacuación en el mar de desechos u otras materias resultante, directa o indirectamente, de las operaciones normales de buques, aeronaves, plataformas u otras construcciones en el mar y de su equipo, salvo los desechos u otras materias que se transporten en buques, aeronaves, plataformas u otras construcciones en el mar destinados a la evacuación de tales materias, o se transborden a ellos, o que resulten del tratamiento de tales desechos u otras materias en esos buques, aeronaves, plataformas o construcciones.	Esta fracción presenta una aplicación condicionada al empleo de embarcaciones, plataformas flotantes u otros equipos marinos durante las actividades de colocación de boyas, instalación de bombas, traslado de personal, inspección o mantenimiento de las obras. La disposición establece que los desechos o materias derivados de las operaciones normales de estos medios no se consideran vertimiento para efectos de esta Ley; sin embargo, ello no constituye una autorización para descargarlos libremente al mar, pues su manejo continúa sujeto a MARPOL, la legislación nacional sobre residuos, las disposiciones del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos y las demás normas de prevención de la contaminación marina. En el Proyecto no se contempla evacuar al mar

Ley de Vertimiento en Zonas Marinas Mexicanas	
Artículo/disposición	Vinculación
Artículo 3 Bis. - En las zonas marinas mexicanas no se considerará como vertimiento lo siguiente:	
	aguas oleosas, residuos, combustibles, lubricantes, basura, plásticos, fragmentos de geotextil o materiales resultantes de la operación de embarcaciones o equipos. Todos los residuos deberán mantenerse a bordo o recuperarse durante las maniobras y trasladarse a tierra para su manejo correspondiente. Asimismo, las embarcaciones deberán encontrarse en condiciones mecánicas adecuadas, sin fugas, y contar con materiales para atender derrames accidentales. La excepción no será aplicable a los materiales que sean transportados deliberadamente en una embarcación, plataforma u otra construcción con el propósito de desecharlos o evacuarlos en el mar.
II. La colocación de materias para un fin distinto del de su mera evacuación, siempre que dicha colocación no sea contraria a los objetivos del Protocolo 1996 relativo al Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y Otras Materias, y	Esta fracción se relaciona directamente con el Proyecto, debido a que la arena, los tubos de geotextil, tapetes antisocavación, tubos de anclaje, fijaciones y demás componentes serán colocados en las zonas costera y marina con una finalidad técnica distinta de su mera evacuación o eliminación. La arena se utilizará para el hidrollenado de las 14 estructuras que conformarán las barreras de contención C1 y C2, la instalación de las 18 barreras rompeolas, la restauración del perfil de playa y la conformación de las seis secciones de duna artificial. Por su parte, los geotubos y demás elementos estructurales serán instalados como componentes funcionales del sistema de estabilización litoral y no como residuos destinados a ser abandonados en el mar. La finalidad consiste en disminuir la energía del oleaje, favorecer la retención de sedimentos, recuperar el perfil costero, reducir los procesos erosivos y restablecer servicios ambientales del sistema playa-duna. En consecuencia, la colocación propuesta **no actualiza, en principio, el supuesto**

Ley de Vertimiento en Zonas Marinas Mexicanas	
Artículo/disposición	Vinculación
Artículo 3 Bis. - En las zonas marinas mexicanas no se considerará como vertimiento lo siguiente:	
	jurídico de vertimiento, debido a que los materiales no serán introducidos al medio marino con el único objeto de deshacerse de ellos. Para conservar este carácter, deberá demostrarse que la arena es limpia, compatible con las características físicas y ambientales de la playa receptora y libre de residuos, contaminantes, sargazo o sustancias nocivas. La colocación se limitará a los volúmenes, coordenadas y polígonos autorizados y se ejecutará mediante bombeo controlado, mallas antidispersión, celdas temporales de vertido y seguimiento ambiental. Asimismo, los geotubos deberán permanecer íntegros y sujetos a inspección y mantenimiento, evitando que fragmentos de material sintético se desprendan y se conviertan en residuos marinos. Estas condiciones permiten demostrar que la colocación no es contraria a los objetivos del Protocolo de Londres de 1996, orientados a prevenir, reducir y eliminar la contaminación del medio marino.

II.3.2 Ley de Puertos

Tabla 8. Vinculación de la Ley de Puertos con el Proyecto.

Ley de Puertos	
Artículo/disposición	Vinculación
ARTICULO 7o. La Secretaría de Bienestar y la Secretaría, a propuesta de esta última, delimitarán y determinarán, mediante acuerdo conjunto, aquellos bienes del dominio público de la federación que constituirán los recintos portuarios de los puertos, terminales y marinas. Dicho acuerdo deberá publicarse en el Diario Oficial de la Federación, dentro de los treinta días siguientes a la propuesta de la Secretaría debidamente requisitada en los términos del reglamento aplicable.	La disposición establece una atribución de la Secretaría de Marina y la Secretaría de Bienestar para delimitar los bienes del dominio público federal que conforman los recintos portuarios. El Proyecto se desarrollará en la zona de playa y marina frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, en Bahía de Petempich, y comprende barreras de contención y rompeolas mediante geotubos, vertido controlado de arena, conformación y revegetación de dunas, pasos elevados y aprovechamiento del Banco IRRM. Estas obras

	tienen una finalidad de restauración y estabilización litoral, no de operación portuaria. De acuerdo con la información del Capítulo I, los polígonos del Proyecto no se identifican como parte de un recinto portuario, terminal, marina o instalación portuaria. Por tanto, el artículo no impone una obligación constructiva directa al promovente.
ARTICULO 30.- La Secretaría podrá autorizar la cesión total de las obligaciones y derechos derivados de las concesiones, siempre que la concesión hubiere estado vigente por un lapso no menor de cinco años; que el cedente haya cumplido con todas sus obligaciones; y que el cesionario reúna los mismos requisitos que se tuvieron en cuenta para el otorgamiento de la concesión respectiva. Las cesiones parciales de derechos derivados de las concesiones para la administración portuaria integral se podrán realizar en cualquier tiempo, en los términos establecidos en esta ley y en el título de concesión respectivo.	**No resulta directamente aplicable.** El Proyecto no tiene por objeto la cesión total o parcial de una concesión para la administración portuaria integral, ni se ha señalado que el promovente sea titular, cesionario u operador de una concesión portuaria. Las concesiones o autorizaciones que pudieran requerirse para la ocupación de bienes nacionales, Zona Federal Marítimo Terrestre, obras marítimas o aprovechamiento del Banco IRRM tienen una naturaleza distinta y deberán tramitarse ante las autoridades competentes conforme a su legislación específica. Si durante la gestión del Proyecto se pretendiera utilizar o afectar derechos comprendidos en una concesión portuaria existente, cualquier cesión requeriría la autorización de la Secretaría de Marina y el cumplimiento de las condiciones establecidas en este artículo; supuesto que actualmente no forma parte del Proyecto.
ARTICULO 41.- El administrador portuario se sujetará a un programa maestro de desarrollo portuario, el cual será parte integrante del título de concesión y deberá contener: I. Los usos, destinos y modos de operación previstos para las diferentes zonas del puerto o grupos de ellos, así como la justificación de los mismos, y II. Las medidas y previsiones necesarias para garantizar una eficiente explotación de los espacios portuarios, su desarrollo futuro, las instalaciones para recibir las embarcaciones en navegación de altura y cabotaje, los espacios necesarios para los	**No resulta directamente aplicable al promovente**, debido a que la obligación de formular y sujetarse a un Programa Maestro de Desarrollo Portuario corresponde al administrador portuario titular de una concesión para la administración portuaria integral. El Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa no se presenta como administrador portuario y las obras propuestas no están destinadas a la recepción de embarcaciones, transferencia de carga o pasajeros ni prestación de servicios portuarios.

bienes, y los servicios portuarios necesarios para la atención de las embarcaciones y la prestación de los servicios de cabotaje. El programa maestro de desarrollo portuario y las modificaciones substanciales a éste que se determinen en el Reglamento de esta Ley, serán elaborados por el administrador portuario, y autorizados por la Secretaría, con base en las políticas y programas para el desarrollo de la infraestructura portuaria nacional, con una visión de veinte años, revisable cada cinco años.	En consecuencia, el Proyecto no requiere formular o modificar un Programa Maestro de Desarrollo Portuario.

II.3.3 Ley de Aguas Nacionales

Tabla 9. Vinculación de la Ley de Aguas Nacionales con el Proyecto.

Ley de Aguas Nacionales	
Artículo/disposición	**Vinculación**
ARTÍCULO 88 BIS. Las personas físicas o morales que efectúen descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores a que se refiere la presente Ley, deberán: II. Tratar las aguas residuales previamente a su vertido a los cuerpos receptores, cuando sea necesario para cumplir con lo dispuesto en el permiso de descarga correspondiente y en las Normas Oficiales Mexicanas;	El Proyecto no generará descargas sanitarias propias, debido a que el personal utilizará los servicios sanitarios existentes del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, cuyas aguas residuales serán conducidas al sistema de manejo con el que cuenta el establecimiento. No se instalarán sanitarios portátiles ni se efectuarán descargas sanitarias al suelo, la playa o la zona marina. Durante la extracción de arena del Banco IRRM, el hidrollenado de los geotubos y el vertido en los polígonos V1 y V2 se empleará una mezcla aproximada de 80 % de agua marina y 20 % de arena. El agua utilizada como medio de conducción retornará gradualmente al ambiente marino después de atravesar los geotextiles, las mallas de control de sedimentos y las celdas temporales de vertido, cuyo propósito será retener la mayor cantidad posible de sólidos y disminuir la turbidez y dispersión de sedimentos. Por lo anterior, no puede descartarse de manera definitiva la aplicación del artículo 88 BIS.

II.3.4 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

Tabla 10. Vinculación de la LGPGIR con el Proyecto.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos	
Artículo/disposición	**Vinculación**
Artículo 18. "Los residuos sólidos urbanos podrán subclasificarse en orgánicos e inorgánicos con objeto de facilitar su separación primaria y secundaria, de conformidad con los Programas Estatales y Municipales para la prevención y la Gestión Integral de los Residuos, así como con los ordenamientos legales aplicables".	Durante las etapas de preparación, construcción, operación y mantenimiento se prevé la generación de residuos sólidos urbanos por la presencia del personal, principalmente restos de alimentos, papel, cartón, envases de plástico, vidrio y latas de aluminio. Estos residuos serán separados desde su lugar de generación, como mínimo, en **orgánicos e inorgánicos**; los inorgánicos podrán subdividirse en reciclables y no reciclables. Para ello, se instalarán recipientes identificados, con tapa y capacidad suficiente, en las áreas de apoyo previamente autorizadas. Los recipientes no se colocarán dentro del medio marino, sobre las dunas artificiales ni en sitios expuestos al oleaje o a la dispersión por viento. Los residuos serán retirados periódicamente del frente de obra y entregados al servicio municipal o a un prestador autorizado. Quedará prohibida su quema, enterramiento, abandono o disposición en la playa, zona marina, dunas, áreas con vegetación o predios vecinos. Estas acciones reducirán la posibilidad de que plásticos, envases o restos de alimentos alcancen el medio marino, afecten a la fauna o se conviertan en residuos marinos.
Artículo 27. "Los planes de manejo se establecerán para los siguientes fines y objetivos: I. Promover la prevención de la generación y la valorización de los residuos, así como su manejo integral, a través de medidas que reduzcan los costos de su administración, faciliten y hagan	El Proyecto implementará un **Programa de Manejo Integral de Residuos** basado en la prevención, reducción, separación, recuperación, valorización y disposición adecuada. Además de los residuos sólidos urbanos, podrán generarse empaques, cartón, madera, tarimas, recipientes, tramos de manguera, amarres, recortes o fragmentos de geotextil y otros residuos asociados con el

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos	
Artículo/disposición	**Vinculación**
más efectivos, desde la perspectiva ambiental, tecnológías, económica y social, los procedimientos para su manejo. II. Establecer modalidades de manejo que respondan a las particularidades de los residuos y de los materiales que los constituyan. III. Establecer esquemas de manejo en los que aplique el principio de responsabilidad compartida de los distintos sectores involucrados.	suministro e instalación de los geotubos, tapetes antisocavación, pasos elevados y demás componentes. Los materiales reutilizables o reciclables se separarán y entregarán a empresas o centros de acopio autorizados; los sobrantes de arena limpia se reincorporarán, cuando sea técnicamente posible, a las actividades de conformación autorizadas y no se considerarán residuos destinados al abandono. Los recortes y fragmentos de geotextil deberán recuperarse inmediatamente para impedir su dispersión en la playa o el mar. Los residuos contaminados con aceites, grasas, combustibles u otras sustancias peligrosas no se mezclarán con los residuos urbanos y se manejarán mediante recipientes compatibles, etiquetados y prestadores autorizados. La responsabilidad será compartida entre el promovente, contratistas, proveedores, trabajadores y empresas encargadas de la recolección y destino final. Se conservarán registros de generación, recolección y entrega. En caso de que la cantidad o características de los residuos encuadren en los supuestos que obligan a formular un plan de manejo conforme a la Ley, su Reglamento, la NOM-161-SEMARNAT-2011 o la legislación estatal, éste será elaborado y presentado ante la autoridad competente. El artículo 27 establece los objetivos generales de los planes de manejo, pero por sí solo no determina que todos los residuos del Proyecto estén sujetos a un plan formal.

II.3.5 Ley General de Vida Silvestre

Tabla 11. Vinculación de la Ley General de Vida Silvestre.

Ley General de Vida Silvestre	
Artículo/disposición	**Vinculación**

Artículo 60 TER. - Queda prohibida la remoción, relleno, transplante, poda, o cualquier obra o actividad que afecte la integralidad del flujo hidrológico del manglar; del ecosistema y su zona de influencia; de su productividad natural; de la capacidad de carga natural del ecosistema para los proyectos turísticos; de las zonas de anidación, reproducción, refugio, alimentación y alevinaje; o bien de las interacciones entre el manglar, los ríos, la duna, la zona marítima adyacente y los corales, o que provoque cambios en las características y servicios ecológicos. Se exceptuarán de la prohibición a que se refiere el párrafo anterior las obras o actividades que tengan por objeto proteger, restaurar, investigar o conservar las áreas de manglar.	El artículo 60 TER resulta relevante debido a la presencia de vegetación de manglar en el entorno regional del Proyecto y a la relación funcional que estos ecosistemas pueden mantener con la duna costera, la zona marítima adyacente y los ecosistemas coralinos. Por ello, la vinculación no se limita a verificar la ausencia de remoción directa de ejemplares de mangle, sino que también considera la posible alteración de sus flujos hidrológicos, zona de influencia, productividad, hábitats y servicios ambientales. Conforme a la cartografía de **Uso del Suelo y Vegetación del INEGI, Serie VII**, el frente costero donde se desarrollarán las obras se encuentra clasificado principalmente como **asentamientos humanos y cuerpo de agua**. La superficie identificada como manglar se localiza tierra adentro, en terrenos vecinos al hotel, sin superposición con los polígonos de las obras y actividades propuestas. Para evaluar de manera conservadora la proximidad del Proyecto respecto de este ecosistema, se generaron buffers de 100 m alrededor de las áreas de vertimiento V1 y V2. Estos polígonos fueron seleccionados porque corresponden a los componentes situados más próximos a la porción continental del área del Proyecto. Además, dentro del ámbito espacial comprendido por estos buffers se localizan las superficies destinadas a la conformación de las dunas artificiales, que constituyen las obras terrestres-costeras más cercanas a la vegetación de manglar identificada cartográficamente. El análisis espacial muestra que los polígonos V1 y V2 y sus respectivos buffers de 100 m no se superponen con la superficie clasificada como manglar. De acuerdo con la medición efectuada sobre los datos vectoriales, la vegetación de manglar se encuentra a una distancia superior a 100 m de las áreas de vertimiento, como se observa en la **Figura**. Por su parte, las obras correspondientes a las **etapas 1 y 2**, consistentes en las barreras de contención C1 y C2 y las barreras rompeolas conformadas con geotubos, se ubicarán en el medio marino, a una distancia mayor de la porción continental y, por consiguiente, más alejadas de la vegetación de manglar. En este sentido, el análisis mediante buffers aplicado a V1 y V2 representa la condición espacial más conservadora para evaluar la cercanía de los componentes del Proyecto respecto del manglar. La clasificación del sitio como asentamientos humanos constituye un elemento de referencia para describir el contexto territorial actual; sin embargo, no se utiliza como único argumento para descartar afectaciones. La evaluación

también considera la ubicación de las obras, su distancia respecto del manglar y las posibles interacciones ecológicas e hidrológicas entre el humedal costero, la duna, la playa, la zona marina y los corales.



Figura 1. Relación espacial de las áreas de vertimiento V1 y V2 y sus buffers de 100 m con la vegetación de manglar identificada por el INEGI, Serie VII. Fuente: Elaboración propia con base en el conjunto de datos de Uso del Suelo y Vegetación, Serie VII, del INEGI, e imagen satelital de referencia.

A partir de los resultados del análisis espacial, el Proyecto no contempla la remoción, relleno, trasplante, poda o aprovechamiento de ejemplares de mangle, ni la ocupación directa de superficies cubiertas por esta vegetación. Tampoco se prevé utilizar las áreas de manglar para la instalación de obras temporales o permanentes, apertura de accesos, establecimiento de campamentos, almacenamiento de arena o materiales, tránsito de maquinaria, colocación de tuberías, maniobras constructivas o disposición de residuos.

El buffer de 100 m se empleó como un criterio técnico y precautorio de análisis espacial, tomando como referencia complementaria la distancia prevista en la especificación 4.16 de la NOM-022-SEMARNAT-2003. Sin embargo, dicho buffer no se considera por sí mismo equivalente a la delimitación de la zona de influencia ambiental prevista en el artículo 60 TER, debido a que esta última debe determinarse considerando las características hidrológicas, ecológicas y funcionales del sistema costero.

	Por lo anterior, aun cuando no existe superposición directa con manglar, el Proyecto deberá desarrollarse de manera que tampoco ocasione afectaciones indirectas sobre: • Los flujos superficiales o subterráneos que contribuyan al funcionamiento del humedal costero. • Los patrones naturales de inundación, drenaje e intercambio de agua. • La calidad fisicoquímica del agua. • El transporte natural de sedimentos. • La productividad y capacidad de regeneración del manglar. • Las zonas de anidación, alimentación, reproducción, refugio o alevinaje. • La conectividad entre el manglar, la duna, la zona marina adyacente y los ecosistemas coralinos. El Proyecto no contempla la apertura, rectificación o desvío de canales; la desecación del humedal; la extracción de agua subterránea; la construcción de bordos continentales que interrumpan escurrimientos, ni la descarga de aguas residuales hacia las áreas de manglar. Las barreras de contención, rompeolas, vertimientos de arena, dunas artificiales y pasos elevados se limitarán estrictamente a los polígonos, dimensiones, volúmenes y coordenadas que sean autorizados. Durante la preparación, construcción, operación y mantenimiento se aplicarán, entre otras, las siguientes medidas: • Delimitación previa de las áreas autorizadas y prohibición de extender las obras fuera de sus polígonos. • Control de la dispersión de arena y sedimentos durante las actividades de bombeo, hidrollenado y conformación del perfil costero. • Seguimiento de la turbidez y de la calidad del agua durante las actividades con potencial de dispersar sedimentos. • Inspección periódica de geotubos, tapetes antisocavación y elementos de anclaje, a fin de evitar desprendimientos de material sintético. • Mantenimiento preventivo de maquinaria, bombas y embarcaciones para evitar fugas de combustibles, aceites o lubricantes. • Disponibilidad de materiales para la atención inmediata de derrames accidentales.

	• Recuperación inmediata de residuos, fragmentos de geotextil y materiales derivados de las maniobras. • Supervisión ambiental para verificar que no se presenten cambios atribuibles al Proyecto en los flujos hidrológicos, calidad del agua o patrones de sedimentación. El aprovechamiento del Banco IRRM también deberá limitarse al polígono marino autorizado y sujetarse a los resultados de sus estudios batimétricos, granulométricos, bentónicos y ambientales. Como ***medidas voluntarias adicionales de conservación***, el promovente propone realizar jornadas de limpieza manual en áreas con vegetación de manglar localizadas dentro del área de influencia, previa selección del sitio y coordinación con la autoridad ambiental, propietarios o responsables legales correspondientes. Estas jornadas deberán efectuarse sin podar, remover o dañar vegetación viva; sin ingresar maquinaria pesada, compactar el suelo o alterar zonas de anidación, refugio o reproducción de fauna. Asimismo, se propone apoyar un programa de conservación o restauración mediante la aportación de **400 ejemplares nativos de mangle con procedencia legal**. Su entrega y eventual plantación deberán coordinarse previamente con la autoridad competente, una institución académica o el responsable legal del sitio receptor. La plantación solo deberá realizarse cuando exista un diagnóstico técnico que determine las especies adecuadas, condiciones hidrológicas, características del suelo, mantenimiento, indicadores de supervivencia y periodo de seguimiento aplicables. Estas acciones se presentan como **medidas voluntarias adicionales de conservación**, y no como compensación por afectaciones al manglar, debido a que el Proyecto no contempla la intervención directa de este ecosistema ni pretende exceptuarse de las prohibiciones establecidas en el artículo 60 TER. En conclusión, con base en la cartografía del INEGI, el análisis espacial realizado y las características de las obras, no se prevé que el Proyecto ocasione remoción o afectación directa de vegetación de manglar. Asimismo, mediante la delimitación estricta de los polígonos y la aplicación de las medidas preventivas, de seguimiento y conservación señaladas, se evitarán afectaciones indirectas sobre

	su flujo hidrológico, productividad, hábitats, servicios ambientales y conectividad con la duna, la zona marítima adyacente y los corales. Por tanto, el cumplimiento del artículo 60 TER deriva de la **ausencia de afectación directa o indirecta al manglar** y no de la excepción prevista en su último párrafo. Aunque el Proyecto tiene como finalidad la restauración y estabilización del sistema playa-duna, no constituye específicamente una obra de restauración de manglar. La disposición puede consultarse en la Ley General de Vida Silvestre vigente, complementada con las especificaciones de la NOM-022-SEMARNAT-2003.

II.3.6 NOM-022-SEMARNAT-2003

Tabla 12. Vinculación de la NOM-022-SEMARNAT-2003 con el Proyecto.

NOM-022-SEMARNAT-2003	
Artículo/disposición	**Vinculación**
4.0 Especificaciones El manglar deberá preservarse como comunidad vegetal. En la evaluación de las solicitudes en materia de cambio de uso de suelo, autorización de aprovechamiento de la vida silvestre e impacto ambiental se deberá garantizar en todos los casos la integridad del mismo, para ello se contemplarán los siguientes puntos: -La integridad del flujo hidrológico del humedal costero; -La integridad del ecosistema y su zona de influencia en la plataforma continental; -Su productividad natural; -La capacidad de carga natural del ecosistema para turistas:	Conforme a la cartografía de Uso del Suelo y Vegetación del INEGI, Serie VII, el Proyecto se encuentra en un corredor costero previamente transformado y clasificado como **asentamientos humanos**, así como en el cuerpo de agua marino adyacente. La vegetación de manglar se localiza tierra adentro, en predios vecinos, sin superposición con las obras. Para evaluar la proximidad se generaron buffers de 100 m alrededor de V1 y V2, por ser los polígonos más cercanos a la porción continental y comprender el ámbito de las dunas artificiales. Los buffers no presentan superposición con manglar. Las obras de las etapas 1 y 2 se ubicarán hacia el mar y a una distancia mayor. Entre el manglar y el Proyecto no se identifican canales, esteros o conexiones superficiales directas que puedan ser obstruidas. Por su ubicación y características, las obras no interceptarán los aportes continentales ni los flujos que mantienen al manglar. Tampoco implicarán remoción, relleno, poda, trasplante o aprovechamiento de mangle, por lo que no se prevén cambios en su productividad, hábitats, servicios ambientales o interacciones funcionales.

NOM-022-SEMARNAT-2003	
Artículo/disposición	**Vinculación**
-Integridad de las zonas de anidación, reproducción, refugio, alimentación y alevinaje: -La integridad de las interacciones funcionales entre los humedales costeros, los ríos (de superficie y subterráneos), la duna, la zona marina adyacente y los corales; -Cambio de las características ecológicas; -Servicios ecológicos; -Ecológicos y eco fisiológicos (estructurales del ecosistema como el agotamiento de los procesos primarios, estrés fisiológico, toxicidad, altos índices de migración y mortalidad, así como la reducción de las poblaciones principalmente de aquellas especies en estatus, entre otros).	
4.1 Toda obra de canalización, interrupción de flujo o desvío de agua que ponga en riesgo la dinámica e integridad ecológica de los humedales costeros, quedará prohibida, excepto en los casos en los que las obras descritas sean diseñadas para restaurar la circulación y así promover la regeneración del humedal costero.	El Proyecto no contempla construir, rectificar o desviar canales; interrumpir escurrimientos; desecar humedales, ni modificar flujos superficiales o subterráneos. Las obras se localizarán en la playa y el medio marino, hacia el lado costero exterior del manglar, por lo que no bloquearán el ingreso de agua dulce o salobre que mantiene al humedal.

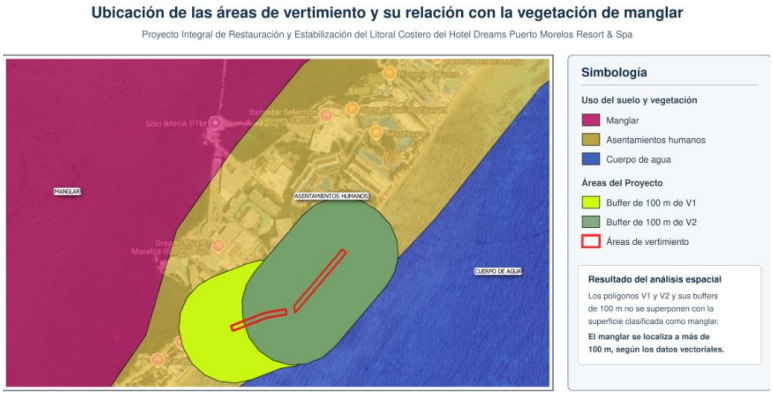
NOM-022-SEMARNAT-2003	
Artículo/disposición	Vinculación
4.2 Construcción de canales que, en su caso, deberán asegurar la reposición del mangle afectado y programas de monitoreo para asegurar el éxito de restauración.	**No resulta aplicable**, debido a que no se construirán canales ni se afectarán ejemplares de mangle.
4.3 Los promoventes de un proyecto que requieran de la existencia de canales, deberán hacer una prospección con la intención de detectar los canales ya existentes que puedan ser aprovechados a fin de evitar la fragmentación del ecosistema, intrusión salina, asolvamiento y modificación del balance hidrológico.	
4.4 El establecimiento de infraestructura marina fija (diques, rompeolas, muelles, marinas o bordos) o cualquier otra obra que gane terreno a la unidad hidrológica en zonas de manglar queda prohibida excepto cuando tenga por objeto el mantenimiento de o restauración de ésta.	Las barreras de contención C1 y C2 y las barreras rompeolas se ubicarán en el medio marino, frente a una franja costera clasificada como asentamientos humanos y fuera de superficies con manglar. Las estructuras no se establecerán dentro de una zona de manglar ni ganarán terreno a su unidad hidrológica. Su función será disminuir la energía del oleaje, retener sedimentos y favorecer la restauración del sistema playa-duna. Por su posición mar adentro y la ausencia de una conexión superficial directa con el manglar, no se prevé que interrumpan o modifiquen los flujos que mantienen al humedal.
4.5 Cualquier bordo colindante con el manglar deberá evitar bloquear el flujo natural del agua hacia el humedal costero.	**No resulta directamente aplicable**, porque las barreras de geotubos no serán colindantes con el manglar. Ninguna estructura bloqueará el flujo natural del agua hacia el humedal costero.
4.6 Se debe evitar la degradación de los humedales costeros por	**No resulta directamente aplicable**, ya que el área de estudio se encuentra fuera de humedales costeros.

NOM-022-SEMARNAT-2003	
Artículo/disposición	**Vinculación**
contaminación y asolvamiento	
4.7 La persona física o moral que utilice o vierta agua proveniente de la cuenca que alimenta a los humedales costeros, deberá restituirla al cuerpo de agua y asegurarse de que el volumen, PH, salinidad, oxígeno disuelto, temperatura y la calidad del agua que llega al humedal costero garanticen la viabilidad del mismo.	**No resulta aplicable.** No se utilizará o verterá agua proveniente de una cuenca que alimente a los manglares vecinos. El hidrollenado utilizará agua marina sin aditivos, la cual retornará filtrada al mismo medio marino.
4.8 Se deberá prevenir que el vertimiento de agua que contenga contaminantes orgánicos y químicos, sedimentos, carbón metales pesados, solventes, grasas, aceites combustibles o modifiquen la temperatura del cuerpo de agua: alteren el equilibrio ecológico, dañen el ecosistema o a sus componentes vivos. Las descargas provenientes de granjas acuícolas, centros pecuarios, industrias, centros urbanos, desarrollos turísticos y otras actividades productivas que se vierten a los humedales costeros deberán ser tratadas y cumplir cabalmente con las normas establecidas según el caso.	**No resulta directamente aplicable al manglar**, pues no habrá vertimientos hacia humedales costeros. El agua marina de retorno no contendrá aditivos químicos y se evitará su contaminación con combustibles, grasas, aceites o residuos.

NOM-022-SEMARNAT-2003	
Artículo/disposición	Vinculación
4.9 El permiso de vertimiento de aguas residuales a la unidad hidrológica deber ser solicitado directamente a la autoridad competente, quien le fijará las condiciones de calidad de la descarga y el monitoreo que deberá realizar.	**No resulta aplicable respecto del manglar**, porque no se descargarán aguas residuales en el humedal o su unidad hidrológica.
4.10 La extracción de agua subterránea por bombeo en áreas colindantes a un manglar debe garantizar el balance hidrológico en el cuerpo de agua y la vegetación, evitando la intrusión de la cuña salina en el acuífero	**No resulta aplicable respecto del manglar**, porque no se descargarán aguas residuales en el humedal o su unidad hidrológica.
4.11 Se debe evitar la introducción de ejemplares o poblaciones que se puedan tornar perjudiciales, en aquellos casos en donde existan evidencias de que algunas especies estén provocando un daño inminente a los humedales costeros en zona de manglar, la secretaría evaluará el daño ambiental y dictará las medidas de control correspondiente.	**No resulta directamente aplicable al manglar**, porque no se introducirán organismos en ese ecosistema. La revegetación de las dunas artificiales utilizará especies nativas del sistema costero.
4.12 Se deberá considerar en los estudios de impacto ambiental, así como en los ordenamientos ecológicos el balance entre el aporte hídrico proveniente de la	**No resulta aplicable.** El Proyecto no se encuentra dentro de la unidad hidrológica de los manglares identificados y el área de drenaje asociada con las obras no aporta agua a dichos humedales. Las actividades no modificarán aportes continentales, escurrimientos, agua subterránea o entradas de marea hacia el manglar.

NOM-022-SEMARNAT-2003	
Artículo/disposición	Vinculación
cuenca continental y el de las mareas, mismas que determinan la mezcla de agua dulce y salada recreando las condiciones estuarinas, determinantes en los humedales costeros y las comunidades vegetales que soportan.	
4.13 En caso de que sea necesario trazar una vía de comunicación en tramos cortos de un humedal o sobre un humedal, se deberá garantizar que la vía de comunicación es trazada sobre pilotes que permitirán el libre flujo hidráulico dentro del ecosistema, así como garantizar el libre paso de la fauna silvestre, Durante el proceso constructivo se utilizarán métodos de construcción en fase (por sobre posición continua de la obra) que no dañen el suelo del humedal, no generen depósito de material de construcción ni genere residuos sólidos en el área.	**No resulta aplicable.** No se construirán vías de comunicación dentro o sobre manglar.
4.14 La construcción de vías de comunicación aledañas, colindantes o paralelas al flujo del humedal costero, deberá incluir drenes y alcantarillas que permitan el libre flujo del agua y de luz. Se deberá dejar una franja de	**No resulta aplicable.** No se construirán vialidades aledañas, colindantes o paralelas al flujo de un humedal costero.

NOM-022-SEMARNAT-2003	
Artículo/disposición	**Vinculación**
protección de 100 m (cien metros) como mínimo la cual se medirá a partir del límite del derecho de vía al límite de la comunidad vegetal, y los taludes recubiertos con vegetación nativa que garanticen su estabilidad.	
4.15 Cualquier servicio que utilice postes, ductos, torres y líneas, deberá ser dispuesto sobre el derecho de vía. En caso de no existir alguna vía de comunicación se deberá buscar en lo posible bordear la comunidad de manglar, o en el caso de cruzar el manglar procurar el menor impacto posible.	**No resulta aplicable.** No se instalará esta infraestructura dentro o junto al manglar. Las mangueras temporales permanecerán en las áreas de playa y marina.
4.16 Las actividades productivas como la agropecuaria, acuícola intensiva o semintensiva, infraestructura urbana, o alguna otra que sea aledaña o colindante con la vegetación de un humedal costero, deberá dejar una distancia mínima de 100 m respecto al límite de la vegetación, en la cual no se permitirá actividades productivas o de apoyo.	El Proyecto no se ubicará dentro de superficies con vegetación de manglar ni de manera aledaña o colindante con dicho ecosistema. Conforme a la cartografía de Uso del Suelo y Vegetación del INEGI, Serie VII, las obras se localizan en un frente costero previamente transformado, clasificado como **asentamientos humanos**, y en el cuerpo de agua marino adyacente; mientras que la vegetación de manglar se encuentra tierra adentro y en predios distintos al del Proyecto. Para verificar el cumplimiento de la distancia prevista en este numeral se generaron buffers de 100 m, medidos a partir del límite exterior de los polígonos de vertimiento V1 y V2. Estos componentes fueron seleccionados porque constituyen las áreas del Proyecto más próximas a la porción continental y porque dentro de su ámbito espacial se encuentran comprendidas las superficies destinadas a la conformación de las dunas artificiales. El análisis cartográfico muestra que la superficie identificada como manglar no se encuentra dentro de los buffers de V1 y V2, lo cual permite determinar que entre los componentes terrestres-costeros más próximos y el límite de dicha vegetación existe una distancia superior a 100 m. Por su parte, las obras

NOM-022-SEMARNAT-2003	
Artículo/disposición	Vinculación
	correspondientes a las etapas 1 y 2 —barreras de contención C1 y C2 y barreras rompeolas— se localizarán mar adentro y, por tanto, a una distancia todavía mayor del manglar. Asimismo, no se establecerán campamentos, almacenes, accesos, zonas de maniobra, áreas de mantenimiento, sitios de disposición de residuos u otras obras de apoyo dentro de la franja de 100 m analizada. En consecuencia, el Proyecto no presenta una condición aledaña o colindante con la vegetación de manglar y respeta la distancia mínima establecida por la especificación 4.16.  Figura 2. Relación espacial de las áreas de vertimiento V1 y V2 y sus buffers de 100 m con la vegetación de manglar identificada por el INEGI, Serie VII. La aplicación de los buffers a V1 y V2 representa el escenario espacial más conservador, debido a que estos polígonos y las dunas artificiales constituyen los componentes más próximos a la porción continental. En consecuencia, la ausencia de manglar dentro de dichos buffers permite corroborar que las obras terrestres-costeras y, con mayor razón, las estructuras ubicadas mar adentro, se encuentran fuera de la franja de 100 m prevista por la especificación 4.16.
4.17 La obtención del material para construcción, se deberá realizar de los bancos de préstamo señalados por la autoridad competente, los cuales estarán ubicados fuera del área que ocupan los manglares y en sitios que no	La arena procederá del Banco IRRM, localizado en el medio marino y fuera de superficies con manglar. No se obtendrá material de humedales, manglares, ríos o dunas naturales. Por su localización marina y separación espacial, su aprovechamiento no ocupará áreas con manglar.

NOM-022-SEMARNAT-2003	
Artículo/disposición	Vinculación
tengan influencia sobre la dinámica ecológica de los ecosistemas que los contienen.	
4.18 Queda prohibido el relleno, desmonte, quema y desecación de vegetación de humedal costero, para ser transformado en potreros, rellenos sanitarios, asentamientos humanos, bordos, o cualquier otra obra que implique pérdida de vegetación, que no haya sido autorizada por medio de un cambio de utilización de terrenos forestales y especificada en el informe preventivo o, en su caso, el estudio de impacto ambiental.	**No resulta aplicable.** No se realizará relleno, desmonte, quema, desecación o transformación de superficies con vegetación de humedal costero.
4.19 Queda prohibida la ubicación de zonas de tiro o disposición del material de dragado dentro del manglar, y en sitios en la unidad hidrológica donde haya el riesgo de obstrucción de los flujos hidrológicos de escurrimiento y mareas.	**No resulta directamente aplicable al manglar.** No se establecerán zonas de tiro dentro de humedales y la arena del Banco IRRM será utilizada como material constructivo dentro de los polígonos autorizados, no como residuo de dragado.
4.20 Queda prohibida la disposición de residuos sólidos en humedales costeros.	El Proyecto no dispondrá residuos dentro de manglares o humedales costeros. Todos los residuos se retirarán de las áreas de trabajo y se trasladarán a sitios autorizados.
4.21 Queda prohibida la instalación de granjas camaronícolas industriales intensivas o semintensivas en	No resulta aplicable.

NOM-022-SEMARNAT-2003	
Artículo/disposición	Vinculación
zonas de manglar y lagunas costeras, y queda limitado a zonas de marismas y a terrenos más elevados sin vegetación primaria en los que la superficie del proyecto no exceda el equivalente de 10% de la superficie de la laguna costera receptora de sus efluentes en lo que se determina la capacidad de carga de la unidad hidrológica. Esta medida responde a la afectación que tienen las aguas residuales de las granjas camaronícolas en la calidad del agua, así como su tiempo de residencia en el humedal costero y el ecosistema.	
4.22 No se permite la construcción de infraestructura acuícola en áreas cubiertas de vegetación de manglar, a excepción de canales de toma y descarga, los cuales deberán contar previamente con autorización en materia de impacto ambiental y de cambio de utilización de terrenos forestales.	No resulta aplicable.
4.23 En los casos de autorización de canalización, el área de manglar a deforestar deberá ser exclusivamente la aprobada tanto en la resolución de	No resulta aplicable.

NOM-022-SEMARNAT-2003	
Artículo/disposición	Vinculación
impacto ambiental y la autorización de cambio de utilización de terrenos forestales. No se permite la desviación o rectificación de canales naturales o de cualquier porción de una unidad hidrológica que contenga o no vegetación de manglar.	
4.24 Se favorecerán los proyectos de unidades de producción acuícola que utilicen tecnología de toma descarga de agua, diferente a la canalización.	No resulta aplicable.
4.25 La actividad acuícola deberá contemplar preferentemente post-larvas de especies nativas producidas en laboratorio.	No resulta aplicable.
4.26 Los canales de llamada que extraigan agua de la unidad hidrológica donde se ubique la zona de manglares deberá evitar, la remoción de larvas y juveniles de peces y moluscos.	No resulta aplicable.
4.27 Las obras o actividades extractivas relacionadas con la producción de sal, sólo podrán ubicarse en salitrales naturales; los bordos no deberán exceder el límite natural del salitral, ni obstruir el flujo natural de agua en el ecosistema.	No resulta aplicable.

NOM-022-SEMARNAT-2003	
Artículo/disposición	Vinculación
4.28 La infraestructura turística ubicada dentro de un humedal costero debe ser de bajo impacto, con materiales locales, de preferencia en palafitos que no alteren el flujo superficial del agua, cuya conexión sea a través de veredas flotantes, en áreas lejanas de sitios de anidación y percha de aves acuáticas, y requiere de zonificación, monitoreo y el informe preventivo.	**No resulta aplicable.** Aunque el Proyecto se relaciona con un hotel, las obras no se ubicarán dentro de un humedal costero. Las dunas y los pasos elevados se localizarán en un frente de playa clasificado como asentamientos humanos.
4.29 Las actividades de turismo náutico en los humedales costeros en zonas de manglar deben llevarse a acabo de tal forma que se evite cualquier daño al entorno ecológico, así como a las especies de fauna silvestre que en ellos se encuentran. Para ello, se establecerán zonas de embarque y desembarque, áreas específicas de restricción y áreas donde se reporte la presencia de especies en riesgo.	**No resulta aplicable.** El Proyecto no contempla actividades turísticas dentro del manglar.
4.30 En áreas restringidas los motores fuera de borda deberán ser operados con precaución, navegando a velocidades bajas (no mayor de 8 nudos), y evitando zonas donde haya especies en riesgo como el manatí.	**No resulta aplicable.** Las embarcaciones de apoyo, en su caso, operarán exclusivamente en la zona marina y no ingresarán a áreas de manglar.

NOM-022-SEMARNAT-2003	
Artículo/disposición	Vinculación
4.31 El turismo educativo, ecoturismo y observación de aves en el humedal costero deberán llevarse a cabo a través de veredas flotantes, evitando la compactación del sustrato y el potencial de riesgo de disturbio a zonas de anidación de aves, tortugas y otras especies.	**No resulta aplicable.** Los pasos elevados no atravesarán humedales o manglares.
4.32 Deberá de evitarse la fragmentación del humedal costero mediante la reducción del número de caminos de acceso a la playa en centros turísticos y otros. Un humedal costero menor a 5 km de longitud del eje mayor deberá tener un solo acceso a la playa y éste deberá ser ubicado en su periferia. Los accesos que crucen humedales costeros mayores a 5 km de longitud con respecto al eje mayor deben estar ubicados como mínimo a una distancia de 30 km uno de otro.	**No resulta aplicable respecto del manglar.** No se abrirán caminos que crucen o fragmenten humedales. Los seis pasos elevados se instalarán únicamente sobre las dunas artificiales.
4.33 La construcción de canales deberá garantizar que no se fragmentará el ecosistema y que los canales permitirán su continuidad, se dará preferencia a las obras o el desarrollo de infraestructura que tienda a reducir el número de canales en los manglares.	No resulta aplicable.

NOM-022-SEMARNAT-2003	
Artículo/disposición	Vinculación
4.34 Se debe evitar la compactación del sedimento en marismas y humedales costeros como resultado del paso de ganado, personas, vehículos y otros factores antropogénicos.	**No resulta aplicable.** No habrá tránsito de personas, vehículos o maquinaria dentro de marismas o manglares. El proyecto se ubica fuera de manglares.
4.35 Se dará preferencia a las obras y actividades que tiendan a restaurar, proteger o conservar las áreas de manglar ubicadas en las orillas e interiores de las bahías, estuarios, lagunas costeras y otros cuerpos de agua que sirvan como corredores biológicos y que faciliten el libre tránsito de la fauna silvestre.	**No resulta directamente aplicable**, debido a que las obras no se desarrollarán en manglar. El Proyecto tiene una finalidad distinta y específica: restaurar y estabilizar el sistema playa-duna frente al hotel.
4.36 Se deberán restaurar, proteger o conservar las áreas de manglar ubicadas en las orillas e interiores de las bahías, estuarios, lagunas costeras y otros cuerpos de agua que sirvan como corredores biológicos y que faciliten el libre tránsito de la fauna silvestre, de acuerdo como se determinen en el Informe Preventivo.	**No resulta aplicable.** El Proyecto no contempla intervenir o restaurar directamente superficies con manglar.
4.37 Se deberá favorecer y propiciar la regeneración natural de la unidad hidrológica, comunidad vegetales y animales mediante el restablecimiento de la dinámica hidrológica y	**No resulta aplicable.** Las obras no se ubican dentro de la unidad hidrológica del manglar ni modificarán los aportes hídricos de los humedales localizados en otros predios.

NOM-022-SEMARNAT-2003	
Artículo/disposición	**Vinculación**
flujos hídricos continentales (ríos de superficie y subterráneos, arroyos permanentes y temporales, escurrimientos terrestres laminares, aportes del manto freático), la eliminación de vertimientos de aguas residuales y sin tratamiento protegiendo las áreas que presenten potencial para ello.	
4.38 Los programas proyectos de restauración de manglares, deberán estar fundamentados científica y técnicamente, y aprobados en la resolución de impacto ambiental, previa consulta a un grupo colegiado. Dicho proyecto deberá contar con un protocolo que sirva de línea de base para determinar las acciones a realizar.	**No resulta aplicable.** El Proyecto no constituye un programa de restauración de manglar.
4.39 La restauración de humedales costeros con zonas de manglar deberá utilizar el mayor número de especies nativas dominantes en el área a ser restaurada, tomando en cuenta la estructura y composición de la comunidad vegetal local, los suelos, hidrología y las condiciones del ecosistema donde se encuentre.	

NOM-022-SEMARNAT-2003	
Artículo/disposición	Vinculación
4.40 Queda estrictamente prohibido introducir especies exóticas de restauración de los humedales costeros.	**No resulta aplicable a la restauración de manglar.** Independientemente de ello, la revegetación de dunas utilizará especies nativas.
4.41 La mayoría de los humedales costeros restaurados y creados requerirán de por lo menos de tres a cinco años de monitoreo, con la finalidad de asegurar que el humedal costero alcance la madurez y el desempeño óptimo.	**No resulta aplicable.** No se crearán o restaurarán humedales costeros con manglar.
4.42 Los estudios de impacto ambiental y ordenamiento deberán de considerar un estudio integral de la unidad hidrológica donde se ubican los humedales costeros.	**No resulta directamente aplicable**, porque el Proyecto no se encuentra dentro de una unidad hidrológica que contenga manglar ni comparte los aportes hídricos de los humedales ubicados en otros predios. Las obras se localizan en un frente costero transformado y en el medio marino, sin conexión superficial directa con dichos ecosistemas.
4.43 La prohibición de obras y actividades estipuladas en los numerales 4.4 y 4.22 y los límites establecidos en los numerales 4.14 y 4.16 podrán exceptuarse siempre que en el informe preventivo o en la manifestación de impacto ambiental, según sea el caso se establezcan medidas de compensación en beneficio de los humedales y se obtenga la autorización de cambio de uso de suelo correspondiente	**No resulta aplicable.** El Proyecto no requiere acogerse a una excepción, porque no se ubica dentro de manglar, no incumple la franja de 100 m analizada y no contempla cambio de uso del suelo en humedales.

II.4 INSTRUMENTOS DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO

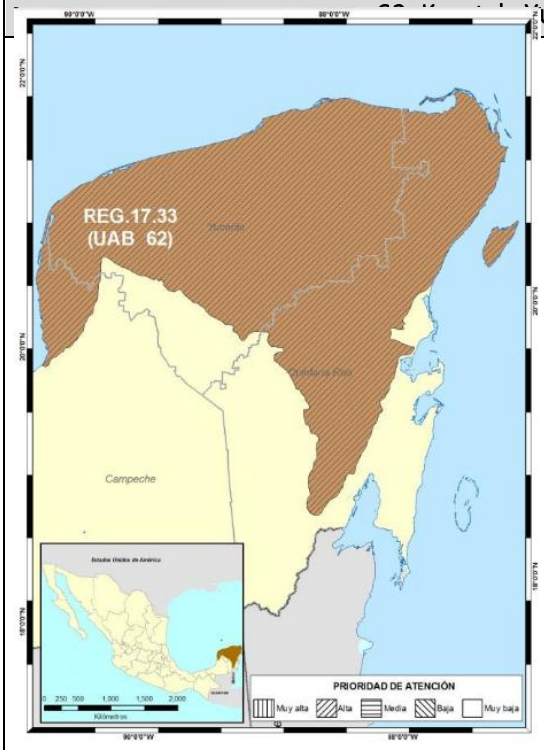
II.4.1. Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (POEGT)

El Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (POEGT) fue expedido para orientar la planeación y coordinación de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal cuyas acciones inciden en el patrón de ocupación del territorio. Su modelo se construyó a escala 1:2,000,000 y divide el país en 145 Unidades Ambientales Biofísicas (UAB).

Por su escala y naturaleza, el POEGT no constituye una zonificación predial ni establece por sí mismo usos del suelo específicos para cada lote. Tampoco sustituye los programas de ordenamiento ecológico regionales, locales o marinos, los programas de desarrollo urbano, la evaluación de impacto ambiental o las autorizaciones correspondientes. No obstante, permite evaluar la congruencia general del Proyecto con las políticas y estrategias federales aplicables a la región.

De acuerdo con la regionalización del POEGT, la porción terrestre-costera del Proyecto se localiza en la **Región Ecológica 17.33**, correspondiente a la **UAB 62 "Karst de Yucatán y Quintana Roo"**.

Tabla 13. Características generales de la Región ecológica 17.33 y UAB 62.

<table>
<tr><th colspan="3">REGIÓN ECOLÓGICA: 17.33
Unidad Ambiental Biofísica que la compone:</th></tr>
<tr><td colspan="3">ucatán y Quintana Roo</td></tr>
<tr><td rowspan="7"> 
</td><td>Localización:
Oeste, centro, norte y este de Yucatán. Centro, norte y noreste de Quintana Roo</td><td>Política Ambiental:
Restauración, Protección y Aprovechamiento Sustentable</td></tr>
<tr><td>Estrategias sectoriales
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 21, 22, 23, 31, 32, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44</td><td>Rectores del desarrollo
Preservación de Flora y Fauna -Turismo</td></tr>
<tr><td>Superficie en Km2:
59,542.35 Km2</td><td>Escenario al 2033:
Inestable a Crítico</td></tr>
<tr><td>Población Total:
2,982,494 hab</td><td>Coadyuvantes del desarrollo
Desarrollo Social - Forestal</td></tr>
<tr><td>Prioridad de Atención:
Alta</td><td>Otros sectores de interés
Pueblos Indígenas</td></tr>
<tr><td>Asociados del desarrollo
Agricultura -Ganadería</td><td>Población Indígena:
Maya</td></tr>
</table>

REGIÓN ECOLÓGICA: 17.33 Unidad Ambiental Biofísica que la compone:	
62. Karst de Yucatán y Quintana Roo	
	Estado Actual del Medio Ambiente 2008:
	Inestable. Conflicto Sectorial Muy Alto. No presenta superficie de ANP's. Media degradación de los Suelos. Muy alta degradación de la Vegetación. Media degradación por Desertificación. La modificación antropogénica es baja. Longitud de Carreteras (km): Muy Alta. Porcentaje de Zonas Urbanas: Baja. Porcentaje de Cuerpos de agua: Muy baja. Densidad de población (hab/km2): Baja. El uso de suelo es Forestal y Pecuario. Con disponibilidad de agua subterránea. Porcentaje de Zona Funcional Alta: 0.0. Alta marginación social. Muy bajo índice medio de educación. Bajo índice medio de salud. Alto hacinamiento en la vivienda. Bajo indicador de consolidación de la vivienda. Muy bajo indicador de capitalización industrial. Medio porcentaje de la tasa de dependencia económica municipal. Medio porcentaje de trabajadores por actividades remuneradas por municipios. Actividad agrícola: Sin información. Media importancia de la actividad minera. Alta importancia de la actividad ganadera.

La política ambiental de la UAB 62 resulta congruente con la naturaleza del Proyecto:

- La **restauración** se atiende mediante la recuperación del perfil costero, la conformación de dunas artificiales y su revegetación.
- La **protección** se refleja en las medidas destinadas a prevenir afectaciones a la calidad del agua, fauna, vegetación, fondo marino y ecosistemas costeros.
- El **aprovechamiento sustentable** se vincula con la extracción controlada de arena del Banco IRRM y con el fortalecimiento ambiental de la actividad turística existente.

Tabla 14. Vinculación con las estrategias de la UAB 62 con el Proyecto.

Estrategia	Vinculación con el Proyecto
1. Conservación in situ de los ecosistemas y su biodiversidad.	El Proyecto se desarrollará en un frente costero previamente transformado y clasificado como asentamientos humanos, así como en el medio marino adyacente. No contempla desmontar manglar, remover vegetación natural de dunas o ampliar la

Estrategia	Vinculación con el Proyecto
	infraestructura hotelera hacia ecosistemas conservados. Las obras se limitarán a los polígonos autorizados y estarán acompañadas por medidas de delimitación, supervisión ambiental, control de sedimentos, manejo de residuos y prevención de derrames. La conformación y revegetación de las dunas artificiales contribuirá a restablecer la continuidad del sistema playa-duna y a disminuir su vulnerabilidad ante la erosión.
2. Recuperación de especies en riesgo.	El Proyecto no contempla el aprovechamiento, captura o afectación deliberada de especies silvestres. Durante las obras se aplicarán medidas para proteger fauna marina y costera, particularmente tortugas marinas, aves y organismos bentónicos. Se evitarán actividades que interfieran con procesos de anidación, refugio o alimentación; se controlará la iluminación y el tránsito nocturno y, en caso de localizarse fauna dentro de las áreas de trabajo, se dará aviso al responsable ambiental para aplicar las medidas correspondientes.
3. Conocimiento, análisis y monitoreo de los ecosistemas y su biodiversidad.	Se implementará seguimiento ambiental durante las etapas de preparación, construcción, operación y mantenimiento. Éste incluirá la supervisión de las áreas de trabajo, calidad visual del agua, turbidez, dispersión de sedimentos, generación de residuos, condición de los geotubos, comportamiento del perfil costero y establecimiento de la vegetación dunar. Los registros permitirán identificar oportunamente cualquier desviación y aplicar medidas correctivas.
4. Aprovechamiento sustentable de ecosistemas, especies, genes y recursos naturales.	La actividad relacionada con el aprovechamiento de recursos naturales corresponde a la extracción de arena del Banco IRRM. Ésta se limitará al polígono, profundidad y volumen autorizados y se utilizará exclusivamente para el hidrollenado de los geotubos, el vertimiento de playa y la conformación de las dunas artificiales. No se extraerá arena de manglares, ríos, dunas naturales o playas externas. El aprovechamiento controlado permitirá utilizar el recurso para una finalidad específica de restauración litoral.
5. Aprovechamiento sustentable de los suelos agrícolas y pecuarios.	**No resulta directamente aplicable**, porque el Proyecto no contempla actividades agrícolas o pecuarias ni ocupará suelos destinados a estos usos.
6. Modernizar la infraestructura hidroagrícola y	**No resulta aplicable**, debido a que no se desarrollará infraestructura hidroagrícola ni se intervendrán superficies agrícolas.

Estrategia	Vinculación con el Proyecto
tecnificar las superficies agrícolas.	
7. Aprovechamiento sustentable de los recursos forestales.	**No resulta directamente aplicable.** El Proyecto no contempla aprovechamiento maderable o no maderable, cambio de uso del suelo forestal o extracción de recursos forestales.
8. Valoración de los servicios ambientales.	El Proyecto reconoce los servicios ambientales proporcionados por el sistema playa, entre ellos la protección ante oleaje y tormentas, retención de sedimentos, hábitat para flora y fauna, valor paisajístico y soporte de actividades recreativas y turísticas. Las barreras de geotubos, el aporte controlado de arena, la conformación de dunas y la revegetación se orientan a restablecer estos servicios y aumentar la resiliencia del frente costero.
9. Propiciar el equilibrio de las cuencas y acuíferos sobreexplotados.	El Proyecto no contempla extraer agua subterránea, construir pozos, modificar escurrimientos o descargar aguas residuales al acuífero. El hidrollenado utilizará agua marina sin aditivos, la cual retornará filtrada al propio medio marino. Por tanto, no se afectará la disponibilidad o equilibrio del acuífero regional.
10. Reglamentar para su protección el uso del agua en las principales cuencas y acuíferos.	Esta estrategia corresponde principalmente a las autoridades responsables de la administración del recurso hídrico. El Proyecto será congruente con ella al no aprovechar aguas nacionales subterráneas o continentales y evitar descargas que puedan contaminar el acuífero. El agua marina utilizada durante las maniobras se manejará conforme a las autorizaciones aplicables.
11. Mantener en condiciones adecuadas las presas administradas por CONAGUA.	**No resulta aplicable**, ya que el Proyecto no se relaciona con presas o infraestructura hidráulica administrada por CONAGUA.
12. Protección de los ecosistemas.	El Proyecto incorpora medidas para evitar afectaciones a la playa, duna, zona marina y ecosistemas vecinos. Se controlará la dispersión de sedimentos, se evitará la descarga de contaminantes, se prohibirá abandonar residuos en el mar o la playa y se mantendrá la maquinaria libre de fugas. Los geotubos y tapetes antisocavación serán inspeccionados para evitar desprendimientos de material sintético. Las obras no ocuparán superficies con manglar ni modificarán sus flujos.
13. Racionalizar el uso de agroquímicos y promover biofertilizantes.	**No resulta directamente aplicable**, debido a que no se realizarán actividades agrícolas. Para la revegetación de dunas no se contempla el empleo de agroquímicos que puedan alcanzar la playa o el medio marino; se dará prioridad al manejo manual y al

Estrategia	Vinculación con el Proyecto
	establecimiento de especies nativas adaptadas a las condiciones del sitio.
14. Restauración de ecosistemas forestales y suelos agrícolas.	**No resulta directamente aplicable**, porque el Proyecto no intervendrá ecosistemas forestales o suelos agrícolas. No obstante, su finalidad de restaurar el sistema playa-duna es congruente con la política general de restauración asignada a la UAB 62.
21. Rediseñar los instrumentos de política hacia el fomento productivo del turismo.	Esta estrategia corresponde principalmente a las autoridades responsables de la política turística. El Proyecto es congruente con ella porque integra criterios ambientales en el mantenimiento de un establecimiento turístico existente. La restauración del frente costero busca conservar el atractivo paisajístico, la seguridad y los servicios ambientales de la playa sin aumentar la capacidad de hospedaje ni ocupar nuevas áreas naturales.
22. Orientar la política turística del territorio hacia el desarrollo regional.	La restauración y estabilización del litoral contribuirá a mantener la funcionalidad ambiental y paisajística de un destino turístico consolidado. Durante la ejecución podrán generarse empleos y contratación de servicios especializados, procurando la participación de proveedores y trabajadores locales cuando sea posible.
23. Sostener y diversificar la demanda turística con mejores relaciones consumo-beneficio.	El Proyecto fortalecerá la calidad y resiliencia ambiental del destino al reducir la erosión, mejorar el perfil de playa y restaurar la vegetación dunar. Estos beneficios podrán conservar la experiencia turística y la actividad económica asociada, sin que ello implique la expansión física del hotel o el incremento de la presión urbana sobre ecosistemas naturales.
31. Impulsar ciudades y zonas metropolitanas seguras, competitivas y sustentables.	El Proyecto se desarrollará en un corredor turístico existente y busca aumentar su seguridad y resiliencia ante la erosión, oleaje intenso y eventos meteorológicos. Las obras incorporarán criterios ambientales, manejo de residuos, prevención de contaminación y mantenimiento programado, contribuyendo a una infraestructura turística más sustentable.
32. Frenar la expansión desordenada de las ciudades y aprovechar el suelo apto para el desarrollo urbano.	El Proyecto no representa expansión urbana ni apertura de nuevas áreas para urbanización. Se limita a la restauración del frente de playa asociado con una infraestructura turística existente, dentro de un área clasificada como asentamientos humanos y en la zona marina inmediata. No se construirán nuevas habitaciones, vialidades o desarrollos inmobiliarios.

Estrategia	Vinculación con el Proyecto
36 a 41. Estrategias de desarrollo social, alimentación, grupos vulnerables, salud y protección social.	Estas estrategias corresponden a programas y políticas públicas de desarrollo social y no establecen obligaciones ambientales directas para las obras propuestas. El Proyecto no interfiere con su ejecución. Como efecto complementario, su construcción podrá generar empleos temporales y contratación de bienes y servicios, procurando condiciones laborales adecuadas y trato no discriminatorio.
42. Asegurar la definición y respeto de los derechos de propiedad rural.	**No resulta directamente aplicable**, porque el Proyecto no ocupará propiedad rural o núcleos agrarios. La ocupación del frente de playa se sujetará al régimen federal correspondiente. La concesión de ZOFEMAT se encuentra en trámite desde enero de 2025, con número de bitácora **09/KU-0018/01/25**.
43. Modernizar y mejorar el acceso al catastro rural y la información agraria.	**No resulta directamente aplicable**, ya que el Proyecto no implica modificaciones al catastro rural, regularización agraria o desarrollo de actividades productivas en núcleos agrarios.
44. Impulsar el ordenamiento territorial estatal y municipal y el desarrollo regional.	Esta estrategia corresponde principalmente a la coordinación entre autoridades. El Proyecto es congruente con ella al someterse al procedimiento de evaluación de impacto ambiental y gestionar las autorizaciones ambientales, marítimas y de ocupación federal aplicables. Su desarrollo deberá observar también los programas de ordenamiento ecológico y urbano de mayor detalle territorial que incidan sobre el sitio.

Conclusión de la vinculación con el POEGT

El Proyecto es congruente con la política de **Restauración, Protección y Aprovechamiento Sustentable** establecida para la UAB 62. Su finalidad principal consiste en restaurar y estabilizar un frente litoral erosionado mediante obras de contención y disipación del oleaje, aporte controlado de arena, conformación de dunas artificiales, revegetación y pasos elevados.

La intervención no constituye expansión urbana ni ampliación de la capacidad hotelera. Tampoco implica cambio de uso del suelo forestal, aprovechamiento de manglar, extracción de agua subterránea o desarrollo de actividades agrícolas, pecuarias o acuícolas. Por el contrario, busca recuperar servicios ambientales del sistema playa-duna y fortalecer la resiliencia de infraestructura turística existente.

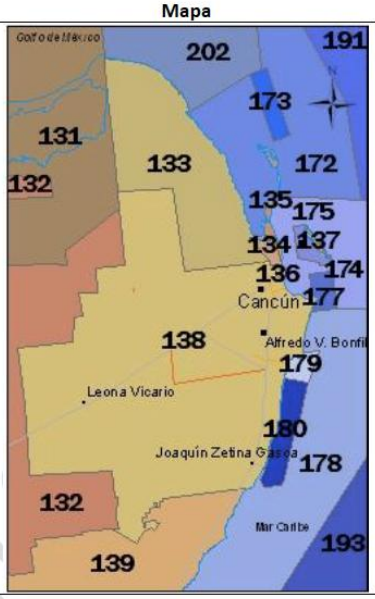
Las estrategias del POEGT relativas a preservación, protección de ecosistemas, monitoreo, valoración de servicios ambientales, turismo sustentable e infraestructura urbana resiliente presentan una relación directa o complementaria con el Proyecto. Las estrategias agrícolas, pecuarias, forestales,

sociales, agrarias y de administración pública no resultan directamente aplicables al promovente, aunque fueron analizadas para demostrar que las obras no interfieren con sus objetivos.

II.4.2. Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe

De acuerdo con la ubicación del proyecto se ubica dentro de las Unidades de Gestión Ambiental número 138. Benito Juárez y 180. Arrecife de Puerto Morelos:

Unidad de Gestión Ambiental #:138

Tipo de UGA	Costera	**Mapa**
Nombre:	Benito Juárez	
Municipio:	Benito Juárez	
Estado:	Quintana Roo	
Población:	573325 Habitantes	
Superficie:	225770.386 Ha.	
Subregión:	Aplicar acciones y criterios de Zona Costera Inmediata Mar Caribe	
Islas:		
Puerto Turístico	Presente	
Puerto Comercial	Presente	
Puerto Pesquero	Presente	
Nota:		

Unidad de Gestión Ambiental #:180

Tipo de UGA	ANP
Nombre:	Arrecife de Puerto Morelos
Municipio:	Solidaridad
Estado:	Quintana Roo
Población:	5 Habitantes
Superficie:	9018.116 Ha.
Subregión:	Aplicar acciones y criterios de Zona Costera Inmediata Mar Caribe
Islas:	
Puerto Turístico	
Puerto Comercial	
Puerto Pesquero	
Nota:	

Mapa

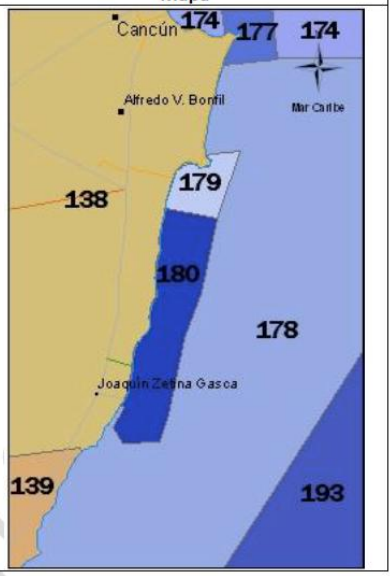


Figura 3. Descripción de la UGA 138 y 180.

Respecto a la UGA 138 (TERRESTRE), debe precisarse que el Acuerdo publicado en el Diario Oficial de la Federación el 24 de noviembre de 2012 **expide formalmente la parte marina del Programa**, mientras que la parte regional únicamente se **da a conocer**. Esta distinción es relevante, ya que EL PROYECTO PERTENECE TAMBIÉN A LA UGA 138 QUE ES UNA UGA TERRESTRE.

En ese sentido, dicha unidad forma parte del componente regional del programa, por lo que no constituye, por sí misma, un instrumento de regulación directa aplicable al proyecto EN LA PARTE TERRESTRE.

Por lo que, el Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe **no resulta directamente aplicable A LA UGA 138 PERO SERÁ UN INSTRUMENTO DE REGULACIÓN AMBIENTAL PRIMORDIAL PARA LA PARTE MARINA DEBIDO A QUE EL ÁREA SE ENCUENTRA DENTRO DE LA UGA MARINA 180.**

En lo siguiente, se presentan los criterios principales del proyecto respecto a la UGA MARINA 180.

Tabla 15. Vinculación de los criterios generales con el Proyecto .

CRITERIO	VINCULACIÓN
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 resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla actividades relacionadas con el abastecimiento, distribución o consumo de agua

CRITERIO	VINCULACIÓN
	para usos urbanos, domésticos, agrícolas, industriales o de servicios.
G002.- Promover el establecimiento del pago por servicios ambientales hídricos en coordinación con la CONAGUA y las demás autoridades competentes.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla establecer, financiar o participar en esquemas de pago por servicios ambientales hídricos.
G003.- Impulsar y apoyar la creación de UMA para evitar el comercio de especies de extracción y sustituirla por especies de producción.	No resulta aplicable, toda vez que el Proyecto no contempla la creación u operación de una Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre, ni el aprovechamiento, producción o comercialización de especies silvestres.
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-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).	El criterio se encuentra dirigido principalmente a las autoridades responsables de la inspección y vigilancia de la vida silvestre. El Proyecto no comprende actividades extractivas, captura, colecta o aprovechamiento de flora o fauna silvestre. Durante todas sus etapas se prohibirá al personal capturar, recolectar, perseguir, alimentar, molestar o comercializar ejemplares, partes o derivados de especies silvestres. De manera complementaria, se aplicarán acciones de ahuyentamiento, rescate y reubicación de fauna únicamente cuando su presencia represente un riesgo para los ejemplares o para la ejecución de los trabajos, priorizando las especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010. Cualquier registro relevante se asentará en una bitácora ambiental y se comunicará al responsable de la supervisión.
G005.- Establecer bancos de germoplasma, conforme a la legislación aplicable.	No resulta aplicable, pues el Proyecto no contempla el establecimiento u operación de bancos de germoplasma.
G006.- Reducir la emisión de gases de efecto invernadero.	Resulta aplicable durante la preparación y construcción por la utilización temporal de vehículos, bombas, maquinaria y embarcaciones de apoyo. Para reducir las emisiones se emplearán equipos en condiciones mecánicas adecuadas, se

CRITERIO	VINCULACIÓN
	aplicará mantenimiento preventivo fuera del área marina, se optimizarán los recorridos y jornadas de trabajo y se evitará mantener motores encendidos cuando los equipos no se encuentren en operación. Las emisiones serán temporales y cesarán al concluir las obras, debido a que los geotubos, dunas y pasos elevados no requerirán maquinaria operando permanentemente.
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 resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla programas económicos para reducir emisiones, generación o comercialización de bonos de carbono ni participación en mercados de emisiones.
G008.- El uso de Organismos Genéticamente Modificados debe realizarse conforme a la legislación vigente.	No resulta aplicable, toda vez que el Proyecto no contempla la utilización, liberación, manejo o aprovechamiento de organismos genéticamente modificados. Las plantas destinadas a la revegetación de las dunas serán especies nativas de la región.
G009.- Planificar las acciones de construcción de infraestructura, en particular la de comunicaciones terrestres para evitar la fragmentación del hábitat.	El Proyecto no contempla carreteras, vialidades ni infraestructura de comunicación terrestre. No obstante, el principio preventivo del criterio se incorpora al diseño de las obras costeras. Las barreras de contención, rompeolas y áreas de vertimiento se restringirán a los polígonos definidos en el Capítulo I y se microlocalizarán para evitar, en la medida técnicamente posible, los parches de pastos marinos reconocidos en la caracterización del fondo. En la porción costera, los seis pasos elevados conducirán el tránsito peatonal sobre las dunas artificiales sin dividir la cobertura vegetal ni impedir el movimiento natural de arena, fauna y agua superficial. De esta manera, no se crearán barreras terrestres continuas ni se inducirá la fragmentación de hábitats costeros conservados.

CRITERIO	VINCULACIÓN
G010.- Instrumentar campañas y mecanismos para la reutilización de áreas agropecuarias para evitar su expansión hacia áreas naturales.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no comprende actividades agropecuarias ni implica la expansión de terrenos agrícolas o ganaderos sobre ecosistemas naturales.
G011.- Instrumentar medidas de control para minimizar las afectaciones producidas a los ecosistemas costeros por efecto de las actividades humanas.	Resulta directamente aplicable, debido a que el Proyecto comprende obras temporales y permanentes en el sistema playa-duna y en la zona marina somera. Para minimizar sus efectos, las actividades se limitarán a los polígonos, superficies y volúmenes establecidos en el Capítulo I; se delimitarán físicamente los frentes de trabajo; se realizará la microlocalización de geotubos y líneas de conducción; y se establecerán zonas de exclusión alrededor de parches de pastos marinos, formaciones coralinas u otros elementos sensibles. Durante la extracción, conducción y colocación de arena se emplearán mallas antidispersión, bombeo gradual y vigilancia de la turbidez, suspendiendo temporalmente las maniobras cuando se observe una pluma persistente fuera del área controlada. El abastecimiento de combustible y mantenimiento de equipos se efectuará exclusivamente fuera del área marina. También se aplicarán medidas de manejo integral de residuos, prevención y atención de derrames, protección de fauna, control de iluminación, rescate y recuperación de vegetación marina sumergida y revegetación de las dunas artificiales con especies nativas. Estas acciones permitirán reducir la ocupación del fondo, la dispersión de sedimentos, la contaminación y las molestias temporales sobre la fauna.
G012.- Impulsar la ubicación o reubicación de parques industriales en sitios ya perturbados o de escaso valor ambiental.	No resulta aplicable, toda vez que el Proyecto no consiste en la construcción, ampliación o reubicación de un parque industrial.
G013.- Evitar la introducción de especies potencialmente invasoras en o cerca de las coberturas vegetales nativas.	Resulta aplicable a la revegetación y al ingreso de equipos al área marina. Las dunas artificiales serán revegetadas exclusivamente con especies costeras

CRITERIO	VINCULACIÓN
	nativas, adecuadas a las condiciones de salinidad, viento, insolación y movilidad del sustrato. No se utilizarán especies exóticas ornamentales ni especies reconocidas como invasoras. Asimismo, las embarcaciones, bombas, mangueras y demás equipos deberán ingresar limpios y libres de organismos, fragmentos vegetales o sedimentos procedentes de otros cuerpos de agua, evitando la introducción accidental de especies ajenas al ecosistema.
G014.- Promover la reforestación en los márgenes de los ríos.	No resulta aplicable, debido a que las obras no se localizan en márgenes de ríos ni comprenden la intervención de cauces fluviales.
G015.- Evitar el asentamiento de zonas industriales o humanas en los márgenes o zonas inmediatas a los cauces naturales de los ríos.	No resulta aplicable, toda vez que el Proyecto no establece asentamientos humanos o industriales ni se desarrolla en los márgenes de un cauce natural.
G016.- Reforestar las laderas de las montañas con vegetación nativa de la región.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto se localiza en un ambiente costero de relieve bajo y no comprende laderas montañosas.
G017.- Desincentivar las actividades agrícolas en las zonas con pendientes mayores a 50%.	No resulta aplicable, pues el Proyecto no comprende actividades agrícolas ni se ubica en terrenos con pendientes superiores al 50 %.
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 resulta aplicable, debido a que el Proyecto no se localiza en márgenes de cauces naturales ni contempla la remoción o recuperación de vegetación ribereña. La revegetación prevista corresponde exclusivamente a las dunas artificiales del sistema costero.
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	El criterio está dirigido principalmente a las autoridades responsables de formular y actualizar los instrumentos de desarrollo urbano. No obstante, el Proyecto guarda congruencia con su enfoque preventivo, debido a que no contempla la creación o expansión de un asentamiento humano, sino la

CRITERIO	VINCULACIÓN
frente a cambio climático en los asentamientos humanos.	restauración de un frente litoral afectado por el retroceso de la línea de costa. Las obras buscan recuperar la capacidad de amortiguamiento del sistema playa-duna frente al oleaje, las mareas de tormenta y los fenómenos hidrometeorológicos, contribuyendo a disminuir la vulnerabilidad física y ambiental del litoral. Asimismo, el Proyecto fue analizado respecto de los programas de ordenamiento ecológico y desarrollo urbano aplicables al sitio.
G020.- Recuperar y mantener la vegetación natural en las riberas de los ríos y zonas inundables asociadas a ellos.	No resulta aplicable, debido a que las áreas de intervención no corresponden a riberas de ríos ni a zonas inundables asociadas con cauces fluviales. La revegetación de las dunas artificiales obedece a la recuperación del sistema costero y no a la restauración de vegetación ribereña.
G021.- Promover las tecnologías productivas en sustitución de las extractivas.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla la sustitución de una actividad económica extractiva por una actividad productiva. El aprovechamiento temporal de arena del Banco IRRM constituye una actividad auxiliar necesaria para ejecutar las obras de restauración litoral y no una actividad comercial permanente de extracción de materiales.
G022.- Promover el uso de tecnologías productivas intensivas en sustitución de las extensivas.	No resulta aplicable, toda vez que el Proyecto no comprende actividades agrícolas, ganaderas, acuícolas, forestales o industriales que puedan clasificarse como intensivas o extensivas.
G023.- Implementar campañas de control de especies que puedan convertirse en plagas.	No resulta directamente aplicable, debido a que el Proyecto no tiene por objeto implementar campañas regionales de control de plagas. No obstante, las plantas utilizadas para revegetar las dunas artificiales serán inspeccionadas previamente para verificar que se encuentren libres de plagas, enfermedades, organismos acompañantes y especies invasoras. Si durante el mantenimiento se detectan ejemplares afectados, se aplicarán medidas de control

CRITERIO	VINCULACIÓN
	focalizadas, priorizando procedimientos manuales y evitando el uso de plaguicidas que puedan dispersarse hacia la playa o el medio marino.
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 resulta directamente aplicable, ya que el Proyecto no contempla forestación, reforestación de terrenos forestales ni el establecimiento de sumideros forestales de carbono. La revegetación prevista corresponde a seis secciones de duna artificial, con una superficie total de 540 m² y aproximadamente 1,350 plantas costeras nativas. Aunque esta acción contribuirá a estabilizar el sustrato, recuperar cobertura vegetal y fortalecer la adaptación del litoral frente a la erosión y eventos hidrometeorológicos, no se presenta como un programa forestal ni como una medida cuantificada de captura de carbono.
G025.- Fomentar el uso de especies nativas que posean una alta tolerancia a parámetros ambientales cambiantes para las actividades productivas.	Resulta aplicable al componente de revegetación de las dunas artificiales. Se utilizarán exclusivamente especies nativas propias de la vegetación costera de Quintana Roo, adaptadas a condiciones de salinidad, alta radiación solar, viento, aerosol marino, movilidad del sustrato, enterramiento parcial y disponibilidad irregular de humedad. La selección favorecerá especies con capacidad de arraigo y cobertura que contribuyan a retener arena y estabilizar el perfil dunar. No se utilizarán especies exóticas ornamentales, invasoras o que requieran riego intensivo y mantenimiento permanente.
G026.- Identificar las áreas importantes para el mantenimiento de la conectividad ambiental en gradientes altitudinales y promover su conservación (o rehabilitación).	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto se localiza en una planicie costera de relieve bajo y no interviene gradientes altitudinales, corredores entre montañas o rutas de conectividad asociadas con cambios de elevación.
G027.- Promover el uso de combustibles de no origen fósil.	No resulta directamente aplicable, porque el Proyecto no contempla producir, distribuir o sustituir combustibles ni instalar sistemas permanentes de generación energética. La

CRITERIO	VINCULACIÓN
	maquinaria, bombas, vehículos y embarcaciones se utilizarán únicamente de manera temporal durante la ejecución de las obras.
G028.- Promover el uso de energías renovables.	No resulta directamente aplicable, debido a que las obras no incluyen instalaciones permanentes para la generación o aprovechamiento de energía solar, eólica, hidráulica o de otra fuente renovable.
G029.- Promover un aprovechamiento sustentable de la energía.	Resulta aplicable de manera general durante la preparación y construcción. El consumo energético estará asociado temporalmente con el funcionamiento de bombas, vehículos, maquinaria y embarcaciones de apoyo. Para evitar consumos innecesarios se programarán las maniobras por frentes de trabajo, se optimizarán recorridos y tiempos de operación, se apagarán los motores durante periodos de inactividad y se utilizarán los equipos únicamente con la potencia requerida para cada actividad. Durante la operación del Proyecto, los geotubos, dunas artificiales y pasos elevados no requerirán suministro permanente de energía.
G030.- Fomentar la producción y uso de equipos energéticamente más eficientes.	Resulta aplicable respecto de la selección y operación de los equipos temporales. Las bombas y maquinaria deberán encontrarse en condiciones mecánicas adecuadas, corresponder con la capacidad necesaria para los volúmenes y distancias de conducción y operar conforme a las especificaciones del fabricante. El mantenimiento preventivo reducirá el consumo excesivo de combustible ocasionado por fallas, obstrucciones, fugas o deficiencias mecánicas. No se sobredimensionarán los equipos respecto de las necesidades del Proyecto.
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.	Resulta aplicable de manera general a la contratación de maquinaria, vehículos y embarcaciones. Se privilegiarán equipos recientes, en buen estado y compatibles con combustibles de menor contenido contaminante disponibles

CRITERIO	VINCULACIÓN
	legalmente. No se utilizarán combustibles fuera de especificación, mezclas residuales o aceites usados como fuente de energía. El criterio no implica que el Proyecto produzca o almacene combustibles, y su abastecimiento se realizará exclusivamente fuera del área marina.
G032.- Promover la generación y uso de energía a partir de hidrógeno.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla producir, almacenar o utilizar hidrógeno como fuente de energía.
G033.- Promover la investigación y desarrollo en tecnologías limpias.	No resulta directamente aplicable, pues el Proyecto no constituye un programa de investigación o desarrollo tecnológico. No obstante, empleará soluciones de ingeniería disponibles comercialmente —geotubos, tapetes antisocavación, bombeo controlado y mallas antidispersión— seleccionadas para restringir la ocupación física, evitar el uso de concreto en las estructuras proyectadas y reducir la dispersión de sedimentos durante las obras. Esto representa la aplicación de tecnologías de menor impacto, pero no deberá presentarse como desarrollo de una nueva tecnología.
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 resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla construir, ampliar o modificar viviendas, edificios del hotel o instalaciones habitables. Las obras corresponden exclusivamente a restauración y estabilización del litoral.
G035.- Establecer medidas que incrementen la eficiencia energética de las instalaciones domésticas existentes.	No resulta aplicable, toda vez que el Proyecto no interviene instalaciones domésticas ni contempla modificaciones a sus sistemas energéticos.
G036.- Establecer medidas que incrementen la eficiencia energética de las instalaciones industriales existentes.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no corresponde a una instalación industrial ni modificará procesos o equipos industriales existentes.
G037.- Elaborar modelos (sistemas mundiales de zonificación agro-ecológica) que permitan evaluar la sostenibilidad de	No resulta aplicable, ya que el Proyecto no comprende producción de cultivos, zonificación agroecológica ni actividades agrícolas.

CRITERIO	VINCULACIÓN
la producción de cultivos; en diferentes condiciones del suelo, climáticas y del terreno.	
G038.- Evaluar la potencialidad del suelo para la captura de carbono.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no tiene por objeto evaluar la capacidad de captura de carbono de los suelos ni establecer un proyecto de compensación o almacenamiento de carbono. La revegetación de las dunas se plantea para recuperar su estructura y función costera, no como sumidero cuantificado de carbono.
G039.- Promover y fortalecer la formulación e instrumentación de los ordenamientos ecológicos locales en el ASO.	El criterio se encuentra dirigido a las autoridades responsables de formular, expedir, actualizar e instrumentar los ordenamientos ecológicos locales. No establece una acción directa a cargo del promovente. Sin embargo, el Proyecto fue analizado respecto del Programa de Ordenamiento Ecológico Local aplicable, identificando su ubicación, política ambiental, unidad de gestión y criterios ecológicos, con la finalidad de mantener congruencia entre sus obras y los instrumentos de planeación ambiental vigentes.
G040.- Fomentar la participación de las industrias en el Programa Nacional de Auditoría Ambiental.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no corresponde al establecimiento u operación de una industria. Las obras de restauración litoral no constituyen por sí mismas una instalación industrial susceptible de incorporarse al Programa Nacional de Auditoría Ambiental.
G041.- Fomentar la elaboración de Programas de Desarrollo Urbano en los principales centros de población de los municipios.	El criterio se dirige a las autoridades responsables de la planeación urbana y no establece una obligación directa para el promovente. No obstante, el Proyecto fue analizado respecto del Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Puerto Morelos y demás instrumentos territoriales aplicables, con la finalidad de verificar que las obras de restauración litoral sean congruentes con los principios de sustentabilidad, resiliencia costera, prevención de riesgos y protección ambiental.

CRITERIO	VINCULACIÓN
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 resulta aplicable, debido a que el Proyecto no comprende la instalación u operación de una industria, no corresponde a un establecimiento sujeto al Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes y no se desarrolla en un sitio identificado como contaminado o sujeto a restauración por contaminación.
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 Acuacultura Sustentable.	El criterio está dirigido expresamente a la SEMARNAT y no establece una obligación directa a cargo del promovente. El Proyecto no contempla pesca, acuacultura, captura o aprovechamiento de especies marinas. Sin embargo, por desarrollarse en una zona donde puede presentarse fauna protegida, se aplicarán medidas preventivas para tortugas marinas, mamíferos marinos y demás especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010. Aunque no se han registrado avistamientos recientes de tortugas frente al predio, su presencia no se descarta; por ello se efectuarán recorridos previos, control de iluminación, delimitación de áreas sensibles y suspensión de actividades ante ejemplares, huellas, nidos o crías.
G044.- Contribuir a la construcción y reforzamiento de las cadenas productivas y de comercialización interna y externa de las especies pesqueras.	No resulta aplicable, toda vez que el Proyecto no comprende pesca, procesamiento, aprovechamiento o comercialización de especies pesqueras.
G045.- Consolidar el servicio de transporte público en las localidades nodales.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla obras, instalaciones o modificaciones relacionadas con el transporte público.
G046.- Fomentar la ampliación o construcción de infraestructuras que liberen tránsito de paso, corredores congestionados y mejore el servicio de transporte.	No resulta aplicable, pues el Proyecto no incluye vialidades, distribuidores, carreteras, terminales u otra infraestructura destinada a mejorar el tránsito o el transporte terrestre.

CRITERIO	VINCULACIÓN
G047.- Impulsar la diversificación de actividades productivas.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no tiene por objeto introducir o diversificar actividades productivas. Las obras se limitan a la restauración y estabilización del litoral frente a un desarrollo turístico existente.
G048.- Instrumentar y apoyar campañas para la prevención ante la eventualidad de desastres naturales.	El criterio se orienta principalmente a programas públicos de prevención. El Proyecto guarda congruencia con su finalidad porque atiende el retroceso de la línea de costa y busca recuperar la capacidad de amortiguamiento del sistema playa-duna frente al oleaje, las mareas de tormenta y los eventos hidrometeorológicos. Durante la construcción se dará seguimiento a los avisos meteorológicos y se suspenderán las actividades ante tormentas, huracanes, oleaje elevado o condiciones que comprometan la seguridad. Los equipos, residuos y materiales móviles serán asegurados o retirados de la playa antes de la llegada de un fenómeno adverso.
G049.- Fortalecer la creación o consolidación de los comités de protección civil.	No resulta aplicable directamente, debido a que el Proyecto no contempla crear, modificar o consolidar comités de protección civil. Las actividades de obra deberán sujetarse a los protocolos de seguridad y protección civil vigentes para el hotel y el municipio.
G050.- Promover que las construcciones de las casas habitación sean resistentes a eventos hidrometeorológicos.	No resulta aplicable, toda vez que el Proyecto no contempla la construcción de casas habitación.
G051.- Realizar campañas de concientización sobre el manejo adecuado de residuos sólidos urbanos.	Resulta aplicable como medida de educación ambiental para el personal. Antes del inicio de actividades se impartirá una inducción sobre reducción, separación, almacenamiento y retiro de residuos, así como sobre la prohibición de abandonar basura en la playa, dunas, zona marina o embarcaciones. Se colocarán recipientes identificados en las áreas terrestres de apoyo y se mantendrán registros básicos de su retiro.

CRITERIO	VINCULACIÓN
G052.- Implementar campañas de limpieza, particularmente en asentamientos suburbanos y urbanos (descacharrización, limpieza de solares, separación de basura, etc.).	Se realizarán recorridos diarios para retirar residuos, envases, cuerdas, flejes, empaques y cualquier fragmento de geotextil o material constructivo. Al concluir cada frente se efectuará una limpieza final de la playa y áreas auxiliares. Los residuos recolectados serán separados y trasladados a los sitios o servicios autorizados, evitando su enterramiento, quema o abandono.
G053.- Instrumentar programas y mecanismos de reutilización de las aguas residuales tratadas.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla generar, tratar, reutilizar o descargar aguas residuales.
G054.- Promover en el sector industrial la instalación y operación adecuada de plantas de tratamiento para sus descargas.	No resulta aplicable, ya que el Proyecto no corresponde al sector industrial, no contempla procesos industriales ni incluye la instalación u operación de plantas de tratamiento de aguas residuales.
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 resulta aplicable, debido a que las áreas de intervención no corresponden a terrenos forestales y el Proyecto no contempla cambio de uso del suelo en terrenos forestales, aprovechamiento maderable o remoción de vegetación forestal. Las seis secciones dunares serán conformadas artificialmente y posteriormente revegetadas con especies nativas.
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 resulta aplicable directamente, toda vez que el Proyecto no contempla construir u operar sitios de disposición final. Los residuos generados durante las obras serán retirados del frente costero y entregados a los servicios municipales o prestadores autorizados, según su clasificación.
G057.- Promover los estudios sobre los problemas de salud relacionados con los efectos del cambio climático.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla investigaciones epidemiológicas o estudios de salud pública relacionados con el cambio climático.

CRITERIO	VINCULACIÓN
G058.- La gestión de residuos peligrosos deberá realizarse conforme a lo establecido por la legislación vigente y los lineamientos de la CICOPLAFEST que resulten aplicables.	Resulta aplicable únicamente en caso de generarse residuos peligrosos de manera eventual, por ejemplo, materiales absorbentes, recipientes o suelo impregnados con combustibles o lubricantes derivados de una contingencia. Estos residuos serán identificados, separados de los residuos urbanos, colocados en recipientes cerrados y compatibles, almacenados temporalmente en un área terrestre acondicionada y entregados a un prestador autorizado. No se almacenarán residuos peligrosos en la playa ni sobre embarcaciones más allá del tiempo indispensable para trasladarlos a tierra. El abastecimiento de combustible y mantenimiento de maquinaria, bombas y embarcaciones se efectuará exclusivamente fuera del área marina.
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.	Resulta directamente aplicable, debido a que las etapas 1, 2 y 3, las dunas artificiales y sus pasos elevados se encuentran en la Zona I. Uso Recreativo Intensivo del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, mientras que el Banco IRRM se localiza en la Zona IV. Zona para Navegación en la Laguna Arrecifal. En ambas zonas la restauración se encuentra reconocida entre las actividades permitidas; adicionalmente, en la Zona IV se contempla el aprovechamiento sustentable de recursos naturales. El Proyecto responde al retroceso documentado de la línea de costa y tiene una finalidad de restauración y estabilización, no de expansión urbana o creación de infraestructura turística. Su ejecución observará las prohibiciones de la Regla 76, particularmente las relativas a contaminación, suspensión de sedimentos, afectación de corales, modificación injustificada de la costa, daño a vegetación marina y alteración de sitios de anidación.
G060.- Ubicar la construcción de infraestructura costera en sitios donde se	Resulta directamente aplicable. Las estructuras estarán integradas por geotextiles de alta resistencia rellenados con arena compatible, evitando el

CRITERIO	VINCULACIÓN
minimice el impacto sobre la vegetación acuática sumergida.	empleo de materiales contaminados, residuos de demolición, arena asociada con sargazo o sustancias químicas. Durante la extracción, conducción, hidrollenado y vertimiento se utilizarán mallas antidispersión, bombeo gradual, confinamiento de los frentes y vigilancia visual de la turbidez. Las maniobras se suspenderán cuando se observe una pluma persistente fuera del área controlada. Se inspeccionará periódicamente la integridad de geotubos, costuras, puertos de llenado, mangueras y fijaciones para prevenir fugas de arena o desprendimiento de fragmentos sintéticos. No se descargarán aguas residuales, aceites, grasas, combustibles o residuos al mar. El abastecimiento y mantenimiento de los equipos se realizará fuera del área marina y se contará con materiales para contener y recuperar derrames accidentales.
G061.- La construcción de infraestructura costera se deberá realizar con procesos y materiales que minimicen la contaminación del ambiente marino.	El criterio resulta directamente aplicable a las barreras de contención C1 y C2, las barreras rompeolas, el vertimiento de arena, las dunas artificiales y el aprovechamiento del Banco IRRM. Las estructuras estarán conformadas por geotextiles de alta resistencia, tapetes antisocavación y tubos de anclaje rellenos con arena, sin incorporar concreto, residuos de demolición, sargazo, sustancias químicas o materiales ajenos al medio costero. La arena procederá exclusivamente del Banco IRRM y mantendrá compatibilidad física con la playa receptora, evitando modificar sustancialmente sus características naturales. El hidrollenado utilizará únicamente agua marina, sin aditivos; el agua de retorno atravesará el geotextil, que retendrá la fracción arenosa dentro de las estructuras. Durante la extracción, conducción y colocación de arena se emplearán mallas antidispersión, bombeo gradual y delimitación de los frentes de trabajo, con vigilancia de la turbidez dentro y fuera del confinamiento. Las actividades se ajustarán o suspenderán ante fugas,

CRITERIO	VINCULACIÓN
	ruptura de las mallas o dispersión persistente de sedimentos fuera del área controlada. Previamente a su colocación se verificará que geotubos, mangueras y demás componentes estén limpios y libres de residuos, grasas o sustancias contaminantes. Durante la operación y mantenimiento se inspeccionarán periódicamente las costuras, puertos de llenado, anclajes y superficies expuestas para detectar desgaste, roturas o desprendimientos; cualquier fragmento de material sintético será recuperado inmediatamente, evitando que se transforme en residuo marino. Quedará prohibido descargar aguas residuales, aceites, combustibles, lubricantes, residuos sólidos o productos químicos en la playa o el mar. El abastecimiento de combustible, reparación y mantenimiento de bombas, maquinaria y embarcaciones se realizará exclusivamente fuera del área marina, en superficies acondicionadas y con materiales para atender derrames. De esta manera, la selección de materiales, el confinamiento de sedimentos, el control operativo y el mantenimiento preventivo permitirán minimizar los riesgos de contaminación física y química del ambiente marino durante todas las etapas del Proyecto.
G062.- Implementar procesos de mejora de la actividad agropecuaria y aplicar mejores prácticas de manejo.	No resulta aplicable, ya que el Proyecto no contempla actividades agrícolas, pecuarias o agroindustriales.
G063.- Promover la elaboración de ordenamientos pesqueros y acuícolas a diferentes escalas y su vinculación con los ordenamientos ecológicos.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no comprende actividades pesqueras o acuícolas ni la formulación de instrumentos para su ordenamiento.
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	No resulta aplicable en sentido estricto, debido a que el Proyecto no contempla carreteras, caminos vehiculares, puentes o vías férreas. Los seis pasos de duna son estructuras peatonales elevadas de 5.00 × 2.00 m que no requerirán terraplenes ni rellenos

CRITERIO	VINCULACIÓN
dichas modificaciones en caso de que sean inevitables.	continuos. Su diseño permitirá el movimiento superficial del agua, el transporte eólico de arena y la continuidad de la vegetación bajo y alrededor de las estructuras, sin constituir una barrera hidráulica.
G065.- La realización de obras y actividades en Areas 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.	Resulta directamente aplicable, debido a que el Proyecto se desarrolla dentro del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. La ejecución de las etapas 1, 2 y 3, las dunas artificiales, los pasos elevados y el aprovechamiento del Banco IRRM deberá mantener congruencia con el Decreto, zonificación, Programa de Manejo y reglas administrativas del Parque. La información técnica y ambiental del Proyecto deberá ponerse a consideración de la Dirección del Área Natural Protegida o de la Dirección Regional competente para obtener la opinión correspondiente y establecer, en su caso, mecanismos de coordinación respecto de la delimitación de áreas sensibles, calendario de trabajos, navegación, protección de vegetación marina, control de sedimentos y seguimiento ambiental.
A005.- Fomentar la reducción de pérdida de agua durante los procesos de distribución de la misma.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla sistemas de abastecimiento o distribución de agua potable, urbana, agrícola o industrial.
A006.- Implementar programas para la captación de agua de lluvia y el uso de aguas grises.	No resulta aplicable, toda vez que el Proyecto no incluye viviendas o edificaciones nuevas, sistemas de captación pluvial ni generación o aprovechamiento de aguas grises.
A007.- Promover la constitución de áreas destinadas voluntariamente a la conservación o ANP en áreas aptas para la conservación o restauración de ecosistemas naturales.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla constituir una nueva Área Natural Protegida o Área Destinada Voluntariamente a la Conservación. Además, las obras se localizan parcialmente dentro de un Área Natural Protegida federal existente: el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos.

CRITERIO	VINCULACIÓN
A008.- Evitar las actividades humanas en las playas de anidación de tortugas marinas, salvo aquellas que estén autorizadas en los programas de conservación.	Resulta aplicable bajo un enfoque preventivo. Aunque no se han registrado avistamientos recientes de tortugas marinas frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, su presencia eventual no puede descartarse. Antes de iniciar actividades en playa se efectuarán recorridos para identificar ejemplares, huellas, camas, nidos o crías. Durante la temporada reproductiva se priorizarán trabajos diurnos, se restringirá la iluminación dirigida hacia la playa y el mar y se delimitarán los frentes de obra. Ante cualquier registro se suspenderán las actividades en el entorno inmediato, se establecerá una zona de protección y se dará aviso al personal autorizado. No se manipularán ejemplares, huevos o nidos por personal de obra, ni se permitirá el tránsito de maquinaria sobre áreas de anidación.
A009.- Fortalecer la inspección y vigilancia en las zonas de anidación y reproducción de las tortugas marinas.	El fortalecimiento formal de la inspección corresponde a las autoridades competentes. El Proyecto coadyuvará mediante vigilancia preventiva durante las obras, recorridos previos y posteriores a las jornadas, registro de observaciones en la bitácora ambiental y comunicación inmediata de cualquier evidencia de anidación. El personal será capacitado para reconocer huellas, nidos, crías y ejemplares adultos, así como para evitar conductas que interfieran con su desplazamiento.
A010.- Fortalecer el apoyo económico de las actividades de conservación de las tortugas marinas.	No resulta aplicable directamente, debido a que el Proyecto no tiene por objeto establecer mecanismos de financiamiento o subsidios para programas de conservación de tortugas marinas. Su contribución se concentrará en la aplicación de medidas preventivas y de vigilancia durante las obras.
A011.- Establecer e impulsar programas de restauración y recuperación de la cobertura vegetal original para revertir el avance de la frontera agropecuaria.	No resulta aplicable, debido a que en el sitio no existe avance de la frontera agropecuaria y el Proyecto no comprende actividades agrícolas o ganaderas. La revegetación de las dunas artificiales tiene como finalidad recuperar funciones del sistema

CRITERIO	VINCULACIÓN
	costero y no revertir procesos de expansión agropecuaria.
A012.- Promover la preservación de las dunas costeras y su vegetación natural, a través de la ubicación de la infraestructura detrás del cordón de dunas frontales.	Resulta aplicable por la relación del Proyecto con el sistema playa-duna. Las imágenes históricas de 2005 y 2006 muestran la presencia de acumulaciones arenosas y cobertura vegetal con características dunares en el frente costero; sin embargo, actualmente no se conserva un cordón dunar natural continuo dentro de las superficies propuestas. Por ello, el Proyecto no removerá ni ocupará una duna natural existente, sino que conformará seis secciones de duna artificial, con una superficie conjunta de 540 m², que serán revegetadas con aproximadamente 1,350 plantas nativas. Estas estructuras ayudarán a retener arena y recuperar la función de amortiguamiento del litoral. Los seis pasos elevados dirigirán el tránsito peatonal, reduciendo el pisoteo y permitiendo el movimiento de arena y la continuidad de la cobertura vegetal.
A013.- 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.	Resulta aplicable a las embarcaciones, bombas y equipos que ingresen a la zona marina. Previamente se verificará que cascos, cabos, anclas, mangueras y equipos se encuentren limpios y libres de organismos adheridos, restos vegetales o sedimentos procedentes de otros cuerpos de agua. No se descargarán aguas de lastre, residuos biológicos, carnadas o ejemplares vivos en el área del Proyecto. La revegetación dunar se realizará exclusivamente con especies costeras nativas, evitando especies exóticas o invasoras.
A014.- Instrumentar campañas de restauración, reforestación y recuperación de manglares y otros humedales en las zonas de mayor viabilidad ecológica.	No resulta directamente aplicable, debido a que el Proyecto no se desarrolla sobre manglar o humedal ni contempla intervenir dichos ecosistemas. Conforme a la cartografía de Uso del Suelo y Vegetación, Serie VII, del INEGI, los polígonos de manglar se encuentran hacia la porción continental, fuera de las áreas de obra y a más de 100 m de los

CRITERIO	VINCULACIÓN
	polígonos V1 y V2. Las actividades no implicarán remoción, relleno, poda, trasplante o interrupción de flujos hidrológicos asociados con manglares. En consecuencia, no se propone una compensación sobre manglar por un impacto que el Proyecto no generará.
A015.- Promover e impulsar la reubicación de instalaciones que se encuentran sobre las dunas arenosas en la zona costera del ASO.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla reubicar edificaciones o instalaciones existentes del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa. Tampoco se instalará nueva infraestructura turística sobre dunas naturales. Las estructuras dunares propuestas constituyen obras de restauración ambiental y no superficies para soportar edificaciones.
A016.- Establecer corredores biológicos para conectar las ANP existentes o las áreas en buen estado de conservación dentro del ASO.	No resulta aplicable directamente, debido a que el Proyecto no tiene por objeto establecer un corredor biológico entre diferentes Áreas Naturales Protegidas. La revegetación de las dunas favorecerá localmente la continuidad de la cobertura costera, pero no deberá presentarse como un corredor biológico regional.
A017.- Establecer e impulsar programas de restauración, reforestación y recuperación de zonas degradadas.	Resulta directamente congruente con la naturaleza del Proyecto. El frente costero presenta un proceso documentado de retroceso de la línea de costa, estimado en aproximadamente 25 m mediante el análisis de imágenes de 2005, 2006, 2009, 2014, 2015, 2019 y 2023. Para atender esta condición se propone una intervención integral que comprende barreras de contención y rompeolas mediante geotubos, colocación controlada de 8,084.43 m^3 de arena en V1 y V2, conformación de seis secciones dunares, revegetación con especies nativas y pasos elevados. Estas acciones buscan recuperar el perfil costero, favorecer la permanencia del sedimento y restablecer la función protectora del sistema playa-duna.

CRITERIO	VINCULACIÓN
A018.- 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).	Resulta aplicable durante todas las etapas. Previamente a la apertura de cada frente se efectuarán recorridos de inspección y, cuando sea necesario, acciones de ahuyentamiento, rescate y reubicación de fauna de baja movilidad. Se prohibirá capturar, recolectar, alimentar, acosar o dañar fauna silvestre. Se establecerán límites de velocidad, control de iluminación y suspensión de actividades ante especies sensibles. Para tortugas marinas se aplicarán medidas específicas de vigilancia y protección de nidos. Respecto de la vegetación marina, se priorizará la conservación in situ de los parches presentes y se aplicará el Programa de Protección, Manejo y Recuperación de Vegetación Marina Sumergida cuando exista interacción inevitable.
A019.- Los programas de remediación que se implementen, deberán ser formulados y aprobados de conformidad con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, y demás normatividad aplicable.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no corresponde a la remediación de un sitio contaminado ni se ha planteado un programa para tratar suelos, sedimentos o aguas afectados por materiales o residuos peligrosos. Las acciones propuestas son de restauración litoral, no de remediación por contaminación.
A021.- Fortalecer los mecanismos de control de emisiones y descargas para mejorar la calidad del aire, agua y suelos, particularmente en las zonas industriales y urbanas del ASO.	Resulta aplicable durante la construcción. Las emisiones atmosféricas serán controladas mediante mantenimiento preventivo de vehículos, bombas y maquinaria, apagado de motores en periodos de inactividad y optimización de jornadas. No se descargarán aguas residuales, aceites, grasas, combustibles, residuos o sustancias químicas en la playa o zona marina. Los residuos se almacenarán temporalmente en recipientes identificados y se retirarán del área. Durante el manejo de arena se utilizarán mallas antidispersión, bombeo gradual y vigilancia de la turbidez para evitar deterioros persistentes en la calidad del agua.

CRITERIO	VINCULACIÓN
A022.- Fomentar programas de remediación y monitoreo de zonas y aguas costeras afectadas por los hidrocarburos.	No resulta aplicable, debido a que el área del Proyecto no se ha identificado como una zona costera contaminada por hidrocarburos y no se contempla ejecutar un programa de remediación de esta naturaleza. No obstante, se aplicarán medidas preventivas para evitar derrames durante las obras.
A023.- Fomentar la aplicación de medidas preventivas y correctivas de contaminación del suelo con base a riesgo ambiental, así como la aplicación de acciones inmediatas o de emergencia y tecnologías para la remediación in situ, en términos de la legislación aplicable.	Resulta aplicable de manera preventiva durante el manejo de maquinaria y combustibles. El abastecimiento y mantenimiento se realizarán exclusivamente fuera del área marina, en sitios terrestres acondicionados y con materiales de contención. No se almacenarán combustibles directamente sobre arena o duna. En caso de derrame se suspenderá la fuente, delimitará el área, utilizarán absorbentes y recuperará inmediatamente el material afectado; los residuos resultantes se manejarán como peligrosos. No se aplicará agua, detergentes o dispersantes para limpiar derrames sobre la playa.
A024.- Fomentar el uso de tecnologías para reducir la emisión de gases de efecto invernadero y partículas al aire por parte de la industria y los automotores cuando ello sea técnicamente viable.	El Proyecto no corresponde a una industria; sin embargo, el criterio resulta aplicable a los vehículos y maquinaria utilizados temporalmente. Se emplearán equipos en condiciones mecánicas adecuadas, con mantenimiento preventivo y sin emisiones ostensiblemente anormales. Se evitará mantener motores encendidos durante periodos de espera, se optimizarán recorridos y se retirarán de operación los equipos que produzcan humo excesivo, fugas o combustión deficiente.
A025.- 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 resulta aplicable en su componente sectorial, debido a que el Proyecto no consiste en una instalación industrial. Sin embargo, cualquier residuo peligroso generado excepcionalmente por una contingencia o por actividades auxiliares será identificado, separado, almacenado temporalmente en un área terrestre acondicionada y entregado a un prestador autorizado, evitando su contacto con arena, suelo o agua marina.

CRITERIO	VINCULACIÓN
A026.- Promover e impulsar el uso de tecnologías 'Limpias' y 'Ambientalmente amigables' en las industrias registradas en el ASO y su área de influencia. Fomentar que las industrias que se establezcan cuenten con las tecnologías de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.	No resulta aplicable en su componente sectorial, debido a que el Proyecto no corresponde a una industria ni implica el establecimiento o modificación de instalaciones industriales. El empleo de geotubos, tapetes antisocavación, bombeo controlado y mallas antidispersión constituye parte del procedimiento constructivo ambiental del Proyecto, pero no deberá presentarse como la incorporación de tecnologías limpias en una industria registrada.
A027.- Mantener al mínimo posible la superficie ocupada por las instalaciones de infraestructura en las playas para evitar su perturbación.	Resulta directamente aplicable. La ocupación se limitará a las superficies definidas en el Capítulo I: 540.60 m² para las barreras de contención C1 y C2; 900.00 m² para los 18 geotubos rompeolas; 2,569.75 m² para los polígonos de vertimiento V1 y V2; 540.00 m² para las seis secciones de duna artificial, y 60.00 m² para los seis pasos elevados. La delimitación de los polígonos permitirá evitar la expansión de los trabajos hacia superficies adicionales. Las instalaciones auxiliares, líneas de conducción, equipos y materiales se mantendrán únicamente durante el tiempo indispensable y serán retirados al concluir las obras. El tránsito de personal y maquinaria se realizará por rutas definidas, evitando la circulación dispersa sobre la playa.
A028.- Promover las medidas necesarias para que la instalación de infraestructura de ocupación permanente sobre el primero o segundo cordón de dunas eviten generar efectos negativos sobre su estructura o función ecosistémica.	Resulta aplicable por la relación del Proyecto con el sistema playa-duna. En el frente del predio actualmente no se conserva un cordón dunar natural continuo; no obstante, las imágenes históricas de 2005 y 2006 muestran acumulaciones arenosas y cobertura vegetal asociadas con una condición dunar previa. El Proyecto no instalará edificaciones turísticas sobre dunas naturales ni utilizará las dunas como plataforma para infraestructura urbana. Por el contrario, conformará seis secciones de duna artificial destinadas a recuperar funciones de retención de arena, amortiguamiento frente al oleaje y establecimiento de vegetación costera. Los

CRITERIO	VINCULACIÓN
	seis pasos serán elevados, sin terraplenes continuos, para permitir el transporte eólico de arena, reducir el pisoteo y conservar la continuidad de la cobertura vegetal.
A029.- 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.	El criterio resulta directamente aplicable. El Proyecto reconoce como principio general la preservación del perfil costero y de los procesos naturales de circulación y transporte de sedimentos; sin embargo, el frente litoral del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa no presenta una condición estable que pueda conservarse sin intervención. El análisis histórico de las líneas de costa de 2005, 2006, 2009, 2014, 2015, 2019 y 2023 documenta un retroceso promedio aproximado de 25 m, con una afectación particularmente evidente en el sector suroeste del predio. Esta pérdida se relaciona con la acción combinada del oleaje, el transporte transversal y longitudinal de sedimentos, la disminución del aporte sedimentario y la exposición periódica a tormentas y huracanes. Los estudios antecedentes del mismo sitio identifican que, durante condiciones de alta energía, el transporte de sedimentos ocurre predominantemente en dirección al mar, favoreciendo la erosión; asimismo, reconocen al sector suroeste como el más vulnerable por la discontinuidad natural del arrecife frente a la zona conocida como Boca Grande. El análisis de riesgo estimó para el frente del predio niveles de inundación de aproximadamente 1.01, 1.13 y 2.05 m bajo escenarios de huracanes categorías 1, 3 y 5, respectivamente, lo que demuestra la exposición del sistema costero a fenómenos hidrometeorológicos extremos. En este contexto, el Proyecto se vincula con la excepción prevista en el propio criterio, pues las modificaciones localizadas del perfil no persiguen crear una playa nueva con fines exclusivamente estéticos o incrementar la superficie turística, sino mitigar los efectos acumulados de la erosión y

CRITERIO	VINCULACIÓN
	recuperar la capacidad de amortiguamiento del litoral frente al oleaje, las mareas de tormenta y otros eventos meteorológicos. Para ello se plantea un sistema integral conformado por barreras de contención C1 y C2, barreras rompeolas mediante geotubos, colocación controlada de arena en V1 y V2 y seis secciones de duna artificial revegetadas con especies nativas. Las estructuras se dispondrán dentro de polígonos definidos y no como barreras continuas a lo largo de toda la costa, con el propósito de favorecer la retención del sedimento sin interrumpir completamente su circulación. Los geotubos, tapetes antisocavación y elementos de anclaje permitirán una intervención localizada y adaptable, mientras que el aporte de arena y la conformación dunar restituirán material al balance sedimentario y recuperarán gradualmente la transición playa-duna. La ejecución se acompañará de seguimiento topográfico, batimétrico y de la posición de la línea de costa, incluyendo los sectores colindantes, para identificar cambios en el perfil, acumulaciones anómalas o erosión inducida. De esta manera, el Proyecto no desconoce la dinámica litoral ni pretende inmovilizarla totalmente, sino intervenir de forma controlada un tramo previamente degradado, conservar la continuidad de los procesos costeros fuera de las superficies estrictamente ocupadas y recuperar funciones ambientales de protección y estabilidad del litoral.
A030.- Generar o adaptar tecnologías constructivas y de ingeniería que minimicen la afectación al perfil costero y a los patrones de circulación de aguas costeras.	El criterio resulta directamente aplicable. El diseño del Proyecto adopta una solución integral de estabilización litoral basada en estructuras de geotextil rellenas con arena, seleccionadas para intervenir de manera localizada el frente costero y adaptarse a las condiciones del sustrato. La etapa 1 comprende 14 geotubos que conformarán las barreras de contención C1 y C2; la etapa 2 incorpora 18 geotubos dispuestos como barreras rompeolas; y

CRITERIO	VINCULACIÓN
	la etapa 3 considera la colocación controlada de 8,084.43 m³ de arena en los polígonos V1 y V2. El sistema se complementará con seis secciones de duna artificial revegetadas con especies nativas. En conjunto, estos componentes buscan disminuir la energía que alcanza la playa, retener parte del sedimento movilizado y restablecer gradualmente el perfil costero, sin conformar una barrera rígida y continua a lo largo de todo el litoral. Los geotubos estarán acompañados de tapetes antisocavación y tubos de anclaje, cuya función será distribuir las cargas, reducir la erosión localizada en la base y evitar el descalce de las estructuras. Su naturaleza semieflexible permitirá una mejor adaptación a las irregularidades del fondo que una estructura masiva rígida, además de facilitar su inspección, reparación o retiro en caso de deterioro. La instalación se restringirá a las dimensiones, orientaciones y polígonos definidos en el Capítulo I, evitando ampliaciones no previstas. Antes de colocar cada estructura se verificará puntualmente el fondo y se aplicará la microlocalización para priorizar superficies de arena o laja sin organismos sensibles, reduciendo la ocupación de parches de pastos marinos y manteniendo zonas de exclusión alrededor de gorgonáceos u otros componentes relevantes. La extracción, conducción e incorporación de arena se realizará mediante bombeo gradual, mallas antidispersión y frentes de trabajo delimitados, evitando descargas súbitas, acumulaciones fuera de diseño y dispersión persistente de sedimentos. Durante la operación y mantenimiento se inspeccionarán la geometría y estabilidad de los geotubos, tapetes, tubos de anclaje, costuras y puertos de llenado, así como la evolución del perfil de playa, la batimetría inmediata y la línea de costa en el tramo intervenido y sus sectores colindantes. Este seguimiento permitirá identificar oportunamente desplazamientos,

CRITERIO	VINCULACIÓN
	socavación, acumulaciones anómalas, fugas de arena o cambios erosivos que requieran mantenimiento o ajustes. De esta manera, la tecnología constructiva se adapta a la dinámica del sitio y procura que la modificación se limite al área necesaria para la restauración, conservando la continuidad de la circulación costera y del transporte litoral fuera de los polígonos de intervención.
A031.- Promover la preservación de las características naturales de las barras arenosas que limitan los sistemas lagunares costeros.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no interviene barras arenosas que delimiten lagunas costeras ni contempla abrir, cerrar, dragar o modificar bocas de comunicación lagunar.
A032.- Promover el mantenimiento de las características naturales, físicas y químicas de playas y dunas costeras.	Resulta directamente aplicable. La arena procederá exclusivamente del Banco IRRM y se utilizará para el llenado de geotubos, restauración del perfil de playa y conformación de las dunas artificiales. La información granulométrica disponible reporta para la muestra Puerto Morelos M1, correspondiente al banco, un diámetro medio D_{50} de 0.39 mm; mientras que la muestra 4, tomada en la zona de lavado frente al hotel, presenta un valor aproximado de 0.36 mm, lo que evidencia una correspondencia cercana entre ambos materiales en esa fracción del perfil. La muestra 3, asociada con la antigua zona dunar del predio, presenta arena más fina, con un D_{50} aproximado de 0.16 mm. La colocación se realizará sin mezclar arena con residuos, sargazo, hidrocarburos, materiales de demolición o sustancias químicas. Las dunas serán revegetadas con especies nativas y no se incorporarán suelos orgánicos, fertilizantes o mejoradores que puedan modificar la composición natural de la playa.
A033.- Fomentar el aprovechamiento de la energía eólica, excepto cuando su infraestructura pueda afectar corredores de especies migratorias.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla instalar aerogeneradores ni infraestructura para el aprovechamiento de energía eólica.

CRITERIO	VINCULACIÓN
A037.- Promover la generación energética por medio de energía solar.	No resulta aplicable, toda vez que el Proyecto no incluye instalaciones para generar energía solar.
A038.- Impulsar el uso de los residuos agrícolas para la generación de energía y reducir los riesgos de incendios forestales en las regiones más secas.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no genera residuos agrícolas, no contempla producción de energía a partir de biomasa y no se localiza en una región forestal susceptible de incendios por acumulación de residuos agrícolas.
A040.- 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 resulta aplicable, pues el Proyecto no contempla pesca extractiva, acuacultura, cultivo de especies marinas o infraestructura acuícola.
A044.- Diversificar la base de especies en explotación comercial en las pesquerías.	No resulta aplicable, debido a que no se realizará explotación, procesamiento o comercialización de recursos pesqueros.
A046.- Incentivar el cumplimiento de los mecanismos existentes para controlar el vertido y disposición de residuos de embarcaciones, en las porciones marinas tanto costeras como oceánicas.	Resulta aplicable a las embarcaciones que, en su caso, apoyen la instalación, bombeo, señalización, inspección o mantenimiento de las obras. Se prohibirá descargar al mar residuos sólidos, aguas residuales, aguas oleosas, combustibles, lubricantes, envases, cabos, plásticos o fragmentos de geotextil. Los residuos generados se conservarán a bordo en recipientes cerrados y se trasladarán a tierra para su manejo. Las embarcaciones deberán ingresar en condiciones mecánicas adecuadas, sin fugas visibles y con materiales para contener derrames. El abastecimiento de combustible y mantenimiento se realizarán exclusivamente fuera del área marina.
A048.- 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 resulta aplicable, debido a que el Proyecto no opera flotas pesqueras ni contempla captura o aprovechamiento de poblaciones marinas.

CRITERIO	VINCULACIÓN
A049.- Contribuir a la construcción, modernización y ampliación de la infraestructura portuaria de apoyo a la producción pesquera y turística para embarcaciones menores.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla construir, ampliar o modernizar puertos, muelles, marinas, embarcaderos o instalaciones para prestar servicios a embarcaciones. Las estructuras de geotextil tienen una finalidad de restauración y estabilización litoral y no constituyen infraestructura portuaria.
A050.- Promover el desarrollo de Programas de Desarrollo Urbano y Programas de Conurbación con el fin de dotar de infraestructura de servicios a las comunidades rurales.	No resulta aplicable, pues el Proyecto no tiene por objeto formular instrumentos de desarrollo urbano ni dotar de infraestructura o servicios a comunidades rurales.
A051.- Promover la construcción de caminos rurales, de terracería o revestidos entre las localidades estratégicas para mejorar la comunicación.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla caminos rurales, vialidades de terracería o infraestructura de comunicación entre localidades.
A052.- Promover el uso sostenible de la tierra/agricultura (cultivos, ganado, pastos y praderas, y bosques) y prácticas de manejo y tecnología que favorezcan la captura de carbono.	No resulta aplicable, toda vez que el Proyecto no comprende agricultura, ganadería, manejo de pastizales, aprovechamiento forestal o prácticas productivas orientadas a capturar carbono.
A053.- Desincentivar y evitar el desarrollo de actividades productivas extensivas.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no establece actividades agrícolas, pecuarias, acuícolas o forestales de carácter extensivo.
A054.- Promover la sustitución de tecnologías extensivas por intensivas en las actividades acordes a la aptitud territorial, utilizando esquemas de manejo y tecnología adecuada para minimizar el impacto ambiental.	No resulta aplicable, ya que el Proyecto no implica sustituir un sistema productivo extensivo por uno intensivo. Las obras de restauración litoral no corresponden a las actividades productivas a las que se dirige el criterio.
A055.- Coordinar los programas de gobierno que apoyan a la producción agropecuaria para actuar sinérgicamente sobre el territorio y la población que lo ocupa.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla producción agropecuaria ni participa en programas gubernamentales de apoyo a dicho sector.

CRITERIO	VINCULACIÓN
A057.- Evitar el establecimiento de zonas urbanas en zonas de riesgo industrial, zonas de riesgo ante eventos naturales, zonas susceptibles de inundación y derrumbe, zonas de restauración ecológica, en humedales, dunas costeras y manglares.	No resulta aplicable respecto del establecimiento de zonas urbanas, debido a que el Proyecto no crea un nuevo asentamiento, no amplía la superficie urbana del hotel ni construye viviendas, comercios o edificaciones turísticas. Las obras se desarrollarán frente a un inmueble existente y tienen como finalidad restaurar y estabilizar el litoral. No se ocuparán manglares o humedales y las dunas propuestas serán artificiales, revegetadas y destinadas a recuperar funciones de protección costera. El Proyecto tampoco pretende eliminar la condición de riesgo del litoral para justificar una expansión urbana posterior.
A058.- Realizar campañas para reubicar a personas fuera de las zonas de riesgo.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla reubicar viviendas, población o asentamientos localizados en zonas de riesgo.
A059.- Identificar, reforzar o dotar de equipamiento básico a las localidades estratégicas para la conservación y/o el desarrollo sustentable.	No resulta aplicable, pues el Proyecto no tiene por objeto identificar localidades estratégicas ni dotarlas de infraestructura, equipamiento o servicios básicos.
A060.- Establecer y mejorar sistemas de alerta temprana ante eventos hidrometeorológicos extremos.	El establecimiento de sistemas de alerta temprana corresponde principalmente a las autoridades de protección civil y no constituye una obra del Proyecto. Durante la ejecución se consultarán los avisos meteorológicos oficiales y los protocolos del Parque Nacional, Capitanía de Puerto y Protección Civil. Ante la proximidad de tormentas, huracanes, oleaje elevado o vientos que comprometan la seguridad, se suspenderán las maniobras, asegurarán las estructuras en proceso y retirarán de la playa los equipos, residuos y materiales susceptibles de ser dispersados.
A061.- Mejorar las condiciones de las viviendas y de infraestructura social y comunitaria en las localidades de mayor marginación.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla construir o rehabilitar viviendas ni dotar de infraestructura social o comunitaria a localidades marginadas.

CRITERIO	VINCULACIÓN
A062.- Fortalecer y consolidar las capacidades organizativas y de infraestructura para el manejo adecuado y disposición final de residuos peligrosos y de manejo especial. Asegurar el Manejo Integral de los Residuos Peligrosos.	Resulta aplicable respecto de los residuos que eventualmente puedan generarse durante la construcción y el mantenimiento. Los residuos de manejo especial, como empaques, recortes o fragmentos de geotextil, materiales deteriorados y componentes retirados, serán separados y trasladados fuera de la playa. Los materiales absorbentes, envases o sustratos impregnados con combustibles o lubricantes derivados de una contingencia se manejarán como residuos peligrosos, utilizando recipientes cerrados, identificados y compatibles. Su almacenamiento temporal se realizará exclusivamente en un área terrestre acondicionada y su retiro estará a cargo de prestadores autorizados. No se establecerán almacenes de residuos peligrosos en playa, duna o zona marina.
A063.- Instalar nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y optimizar las ya existentes.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla construir, ampliar u operar plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.
A064.- Completar la conexión de las viviendas al sistema de colección de aguas residuales municipales y a las plantas de tratamiento.	No resulta aplicable, toda vez que el Proyecto no comprende viviendas, redes de drenaje sanitario o conexiones a plantas municipales de tratamiento.
A065.- Instrumentar programas de recuperación y mejoramiento de suelos mediante el uso de lodos inactivados de las plantas de tratamiento de aguas servidas municipales.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla utilizar lodos, biosólidos o residuos provenientes de plantas de tratamiento. Estos materiales tampoco serán empleados para conformar o revegetar las dunas artificiales.
A066.- Incrementar la capacidad de tratamiento de las plantas para dar tratamiento terciario a los efluentes e inyectar aguas de mayor calidad al manto freático en apoyo, en su caso, a la restauración de humedales.	No resulta aplicable, pues el Proyecto no interviene plantas de tratamiento, no contempla la inyección de agua al subsuelo y no tiene por objeto restaurar humedales mediante efluentes tratados.

CRITERIO	VINCULACIÓN
A067.- Incrementar la capacidad de captación de aguas pluviales en las zonas urbanas y turísticas.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla edificaciones, cubiertas, redes pluviales, cisternas o sistemas de captación de agua de lluvia.
A068.- Promover el manejo integral de los residuos sólidos, peligrosos y de manejo especial para evitar su impacto ambiental en el mar y zona costera.	Resulta directamente aplicable. Se implementará separación desde la fuente, utilizando recipientes identificados y con tapa en las áreas terrestres de apoyo. Los residuos sólidos urbanos, empaques, envases, cuerdas, flejes, recortes de madera y fragmentos de geotextil serán retirados diariamente de los frentes de obra. Los residuos peligrosos eventuales se mantendrán separados y serán entregados a un prestador autorizado. Se inspeccionará la integridad de los geotubos, costuras, puertos de llenado, tapetes antisocavación y líneas de conducción para prevenir que fragmentos sintéticos alcancen el medio marino. Quedará prohibido enterrar, quemar o abandonar cualquier residuo en la playa, dunas, fondo marino o embarcaciones.
A069.- Promover el tratamiento o disposición final de los residuos sólidos urbanos, peligrosos y de manejo especial para evitar su disposición en el mar.	Resulta aplicable. Ningún residuo será dispuesto en la playa o zona marina. Los residuos sólidos urbanos se entregarán al servicio de recolección correspondiente; los de manejo especial se trasladarán a sitios o gestores autorizados, y los peligrosos se entregarán mediante prestadores con autorización vigente y será a través del Hotel.
A070.- Realizar campañas de colecta y concentración de residuos sólidos urbanos en la zona costera para su disposición final.	Resulta aplicable a los frentes de trabajo y su entorno inmediato. Se efectuarán recorridos diarios de limpieza durante la construcción y una limpieza general al concluir cada frente. Además de los residuos generados por las obras, se retirarán los residuos sólidos urbanos encontrados dentro de las superficies de intervención, sin remover elementos naturales como restos vegetales que formen parte de la dinámica costera. Todo el material recolectado será concentrado en tierra y enviado al sistema de manejo correspondiente.

CRITERIO	VINCULACIÓN
A071.- 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 resulta aplicable.
A072.- Promover que la operación de desarrollos turísticos se haga con criterios de sustentabilidad ambiental y social, a través de certificaciones ambientales nacionales o internacionales, u otros mecanismos.	No resulta aplicable.
A073.- 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 resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla puertos, terminales, marinas, muelles o infraestructura destinada a embarcaciones mayores de 500 TRB o 49 pies de eslora. Las barreras de geotubos no prestarán servicios portuarios ni tendrán como finalidad recibir embarcaciones.
A074.- 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 resulta aplicable, debido a que el Proyecto no comprende infraestructura portuaria, tráfico comercial de mercancías ni atención a embarcaciones de gran tamaño.

CRITERIO	VINCULACIÓN
ZMC-01.- 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.	Resulta directamente aplicable por la ubicación del Proyecto dentro del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. La caracterización marina disponible identifica fondos de arena, arena con algas, laja con algas, laja con gorgonáceas y parches de pastos marinos; no representa formaciones coralinas dentro de los polígonos de las estructuras. No obstante, antes de instalar cada geotubo, tapete, anclaje o línea de conducción se verificará puntualmente el fondo. Cualquier formación coralina o colonia de gorgonáceos será delimitada como zona de exclusión y no podrá utilizarse como superficie de apoyo, anclaje, depósito o tránsito. La microlocalización permitirá ajustar puntualmente las maniobras sin ampliar la superficie autorizada, evitando la colocación de infraestructura sobre comunidades arrecifales.
ZMC-02.- 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.	La cartografía de caracterización marina muestra un mosaico de sustratos y diversos parches de pastos marinos dentro o próximos a las áreas donde se proyectan obras marinas. La estrategia ambiental priorizará su conservación in situ mediante verificación del fondo, microlocalización de estructuras, delimitación de parches y prohibición de colocar anclas, mangueras, materiales o equipos sobre la vegetación que pueda evitarse. Cuando exista una interacción técnicamente inevitable, se aplicará el Programa de Protección, Manejo y Recuperación de Vegetación Marina Sumergida, mediante una jerarquía de prevención, minimización, rescate, reubicación, recuperación y seguimiento. La reubicación no se considerará una autorización para remover indiscriminadamente la vegetación ni sustituirá la obligación primaria de evitar su afectación.
ZMC-03.- Sólo se permitirá la captura de mamíferos marinos, aves y reptiles para fines de investigación, rescate y traslado	El Proyecto no contempla captura, colecta o aprovechamiento de mamíferos marinos, aves o reptiles. Ante la presencia de fauna se disminuirá la

CRITERIO	VINCULACIÓN
con fines de conservación y preservación, conforme a lo dispuesto en la Ley General de Vida Silvestre y demás disposiciones jurídicas aplicables.	velocidad o se suspenderán temporalmente las maniobras para permitir su desplazamiento. Únicamente se efectuarán acciones de rescate o traslado cuando un ejemplar se encuentre en riesgo y con la intervención de personal capacitado. Se prohibirá perseguir, alimentar, acosar, sujetar o manipular fauna por parte de trabajadores y operadores de embarcaciones.
ZMC-04.- 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.	Se evitará el anclaje convencional dentro de los polígonos con pastos marinos, gorgonáceos o formaciones coralinas. Para el posicionamiento se utilizarán preferentemente maniobras desde tierra, sistemas de sujeción a puntos previamente definidos fuera de comunidades sensibles o posicionamiento controlado de la embarcación. Cuando resulte indispensable utilizar un ancla, el punto deberá verificarse previamente y ubicarse sobre fondo arenoso desprovisto de vegetación y organismos sésiles. No se permitirá arrastrar anclas, cabos o cadenas sobre el fondo.
ZMC-05.- 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.	El Proyecto no contempla la recolección de organismos marinos con fines comerciales, ornamentales o científicos. Las acciones previstas en el Programa de Protección, Manejo y Recuperación de Vegetación Marina Sumergida únicamente se aplicarán como medida ambiental frente a interacciones inevitables y serán ejecutadas por personal especializado, conservando la trazabilidad de las áreas de origen y destino y efectuando seguimiento de supervivencia, cobertura y establecimiento. Cualquier organismo coralino o gorgonáceo será conservado in situ y considerado elemento de exclusión.
ZMC-06.- La construcción de estructuras promotoras de playas deberán estar avaladas por las autoridades competentes y contar con los estudios técnicos y	Las barreras de contención C1 y C2, los 18 geotubos rompeolas y el aporte de arena tienen como finalidad disminuir la pérdida de sedimentos y recuperar el perfil litoral frente al Hotel Dreams

CRITERIO	VINCULACIÓN
específicos que la autoridad requiera para este fin.	Puerto Morelos Resort & Spa. La justificación se sustenta en el retroceso histórico de aproximadamente 25 m identificado mediante el análisis de las líneas de costa de 2005, 2006, 2009, 2014, 2015, 2019 y 2023. El Capítulo I define la geometría, ubicación, materiales, superficies, volúmenes y procedimientos constructivos; adicionalmente, se dispone de levantamientos topobatimétricos, caracterización del fondo marino, análisis granulométricos y medidas de seguimiento ambiental. La finalidad no es crear una playa exclusivamente estética, sino restablecer funciones de protección, retención de sedimentos y amortiguamiento del sistema playa-duna. Se anexan los estudios ambientales realizados para considerar el proyecto de restauración. Para dar cumplimiento con este criterio se presenta la Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional para obtener la autorización en impacto ambiental. Asimismo, se tramitarán los permisos y autorizaciones correspondientes.
ZMC-07.- 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.	Resulta directamente aplicable. Se prohíbe descargar combustibles, aceites, grasas, detergentes, pinturas, solventes, aditivos o cualquier producto químico en la playa o zona marina. El abastecimiento de combustible y mantenimiento de bombas, maquinaria y embarcaciones se realizará exclusivamente fuera del área marina. Los equipos deberán ingresar sin fugas y contar con materiales absorbentes y elementos de contención. Ante un derrame se suspenderá inmediatamente la actividad, se controlará la fuente y se recuperará el material sin utilizar detergentes o dispersantes.
ZMC-08.- 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	El Proyecto no contempla organizar actividades recreativas marinas; sin embargo, el criterio se adopta preventivamente para las obras. Durante la temporada de anidación se priorizará la ejecución de trabajos en horario diurno y se evitará mantener

CRITERIO	VINCULACIÓN
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.	equipos, vehículos o personal operando en la playa entre el ocaso y el amanecer. La iluminación indispensable será temporal, de baja intensidad, dirigida hacia el suelo y en sentido opuesto al mar. Ante la presencia de una tortuga, huellas, nido o crías se suspenderán las actividades en el área inmediata y se dará aviso al personal responsable.
ZMC-09.- 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.	Resulta directamente aplicable por desarrollarse el Proyecto dentro del Parque Nacional y en la zona de influencia de su sistema arrecifal. Las actividades se limitarán a los polígonos definidos, no comprenderán aprovechamiento recreativo del arrecife ni incrementarán su capacidad de carga turística. Se establecerán zonas de exclusión, y restricciones de anclaje para evitar contacto físico con corales, gorgonáceos y pastos marinos. El control de sedimentos impedirá que las maniobras generen depósitos persistentes sobre comunidades arrecifales. El Proyecto se sujetará a las disposiciones del Decreto, Programa de Manejo y reglas administrativas del Parque, así como a las autorizaciones ambientales y marítimas aplicables.
ZMC-10.- 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.	Resulta aplicable a las embarcaciones de apoyo y su personal. Antes de iniciar las actividades se impartirá una inducción sobre las reglas del Parque Nacional, navegación a velocidad reducida, prohibición de pesca y colecta, manejo de residuos a bordo, prevención de derrames, protección de tortugas y mamíferos marinos, zonas de exclusión y prohibición de anclar sobre corales o pastos. Las obligaciones se incorporarán a las instrucciones de trabajo y su cumplimiento será verificado mediante supervisión ambiental.
ZMC-11.- Se requerirá que en caso de alguna actividad relacionada con obras de canalización y dragado debidamente autorizadas, se utilicen mallas geotextiles	Resulta directamente aplicable al aprovechamiento del Banco IRRM, conducción y colocación de arena. Las áreas de trabajo serán delimitadas con mallas antidispersión antes de iniciar el bombeo. La

CRITERIO	VINCULACIÓN
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.	extracción y conducción se efectuarán de manera gradual, evitando sobrepresiones, fugas y descargas fuera de las celdas o polígonos establecidos. Se vigilará visualmente la turbidez dentro y fuera del confinamiento y se ajustará o suspenderá el bombeo cuando se observe una pluma persistente, ruptura de mallas o dispersión hacia parches de pastos marinos, gorgonáceos u otros componentes sensibles. Las mallas permanecerán instaladas hasta que el material en suspensión se haya asentado y su retiro no provoque una nueva dispersión.
ZMC-12.- 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.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla construir muelles ni infraestructura destinada a embarcaciones mayores de 500 TRB o 49 pies de eslora.
ZMC-13.- Las embarcaciones utilizadas para la pesca comercial o deportiva deberán portar los colores y claves distintivas asignadas por la Comisión Nacional de Pesca y Acuacultura, en los Lineamientos para los Mecanismos de Identificación y Control del Esfuerzo Pesquero, así como el permiso de pesca correspondiente.	No resulta aplicable, debido a que las embarcaciones de apoyo no realizarán pesca comercial o deportiva. Se prohibirá al personal efectuar actividades de pesca durante las obras.
ZMC-14.- 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	No resulta aplicable, debido a que el propio criterio se dirige específicamente a las UGA 139, 152 y 156, mientras que el Proyecto se vincula con las UGA 138, Benito Juárez, y 180, Arrecifes de Puerto Morelos. Además, las obras no contemplan establecer Áreas Naturales Protegidas, Áreas Destinadas

CRITERIO	VINCULACIÓN
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 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.	Voluntariamente a la Conservación o corredores regionales de humedales.

II.4.3 Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo

El ordenamiento ecológico local es un instrumento de política ambiental dirigido a regular los usos del suelo y las actividades productivas de acuerdo con las características, aptitudes y fragilidad ambiental del territorio.

El Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo —en adelante POEL-BJ— fue publicado en el Periódico Oficial del Estado de Quintana Roo el 27 de febrero de 2014. El programa divide su área de aplicación en Unidades de Gestión Ambiental, a las que asigna políticas ambientales, lineamientos ecológicos, usos y criterios de regulación.

Puerto Morelos se constituyó posteriormente como municipio independiente; sin embargo, de acuerdo con la cartografía disponible del modelo del POEL-BJ, el frente costero donde se localiza el Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa se encuentra comprendido en la UGA 28, denominada "Centro de Población de Puerto Morelos".

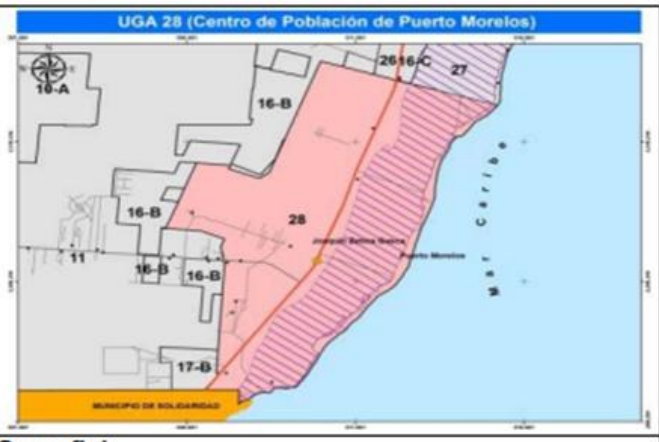
Tabla 16. Características de la UGA 28 denominada "Centro de Población de Puerto Morelos".

Elemento	Características
Unidad de Gestión Ambiental	UGA 28
Denominación	Centro de Población de Puerto Morelos
Superficie	5,740.85 ha
Política ambiental	Aprovechamiento sustentable
Criterio de delimitación	Poligonal decretada para el Centro de Población de Puerto Morelos conforme al programa de desarrollo urbano correspondiente
Vinculación territorial	Frente continental y costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa
Tipo de Proyecto	Restauración, recuperación y estabilización del sistema litoral

La política de aprovechamiento sustentable permite el desarrollo de actividades dentro de la UGA siempre que su ejecución resulte compatible con la regulación urbana aplicable y se mantengan las funciones ambientales relevantes.

El Proyecto no contempla un nuevo desarrollo turístico ni incrementa la densidad hotelera existente. Su finalidad es restaurar y estabilizar un frente litoral afectado por procesos erosivos mediante barreras de contención y rompeolas de geotubos, vertido controlado de arena, conformación y revegetación de dunas artificiales y pasos elevados.

UGA 28 – CENTRO DE POBLACIÓN DE PUERTO MORELOS.





Superficie:
5,740.85 ha

Política Ambiental:
Aprovechamiento Sustentable

Criterios de Delimitación:
Esta UGA se delimitó con base a la poligonal decretada para el Centro de Población de Puerto Morelos, de acuerdo al programa de Desarrollo Urbano de 2009, publicado en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado

Condiciones de la Vegetación y Uso de Suelo:

CLAVE	CONDICIONES DE LA VEGETACION	HECTAREAS	%
Ma	Manglar	1,912.70	33.32
VSA	Vegetación Secundaria Arbórea de selva Mediana Subperennifolia en buen estado	1,075.26	18.73
AH	Asentamiento Humano	659.07	11.48
SBS	Selva Baja Subcaducifolia	611.90	10.66
VS2	Vegetación Secundaria Arbórea de selva Mediana Subperennifolia en recuperación	566.06	9.86
VSa	Vegetación Secundaria Arbustiva de selva Mediana Subperennifolia	444.28	7.74
CA	Cuerpo de Agua	169.38	2.95
TU	Tular	164.21	2.86
SV	Sin Vegetación Aparente	99.98	1.74
MT	Matorral Costero	30.50	0.53
PZC	Pastizal cultivado	5.78	0.10
GR	Mangle Chaparro y graminoides	1.51	0.03
ZU	Zona Urbana	0.21	0.00
	TOTAL	**5,740.85**	**100.00**

Figura 4. Características generales de la UGA 28 "Centro de Población de Puerto Morelos". Fuente: Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo, 2014.

Tabla 17. Vinculación de los criterios ecológicos generales del POELMBJ con el Proyecto.

No.	CRITERIOS ECOLÓGICOS DE APLICACIÓN GENERAL	VINCULACIÓN
CG-01	En el tratamiento de plagas y enfermedades de plantas en cultivos, jardines, áreas de reforestación y de manejo de la vegetación nativa deben emplearse productos que afecten específicamente la plaga o enfermedad que se desea controlar, así como los fertilizantes que sean preferentemente orgánicos y que estén publicados en el catálogo vigente por la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Substancias Tóxicas (CICOPLAFEST).	El Proyecto contempla la revegetación de 540.00 m² de dunas artificiales con aproximadamente 1,350 ejemplares de especies nativas costeras. No se prevé el empleo rutinario de plaguicidas. Si durante el establecimiento de la vegetación fuera necesario controlar alguna plaga o enfermedad, se utilizarán exclusivamente productos dirigidos al organismo que se pretenda controlar y autorizados por la autoridad competente. Los fertilizantes, en caso de requerirse, serán preferentemente orgánicos y se aplicarán de manera puntual, evitando su dispersión hacia la playa o el medio marino.
CG-02	Los proyectos que en cualquier etapa empleen agroquímicos de manera rutinaria e intensiva, deberán elaborar un programa de monitoreo de la calidad del agua del subsuelo a fin de detectar, prevenir y, en su caso, corregir la contaminación del recurso. Los resultados del Monitoreo se incorporarán a la bitácora ambiental.	**No resulta aplicable.** El Proyecto no corresponde a una actividad agrícola ni contempla el uso rutinario o intensivo de agroquímicos. La revegetación dunar se realizará con especies nativas adaptadas a las condiciones costeras, por lo que no requiere un esquema intensivo de fertilización o control químico.
CG-03	Con la finalidad de restaurar la cobertura vegetal que favorece la captación de agua y la conservación de los suelos, la superficie del predio sin vegetación que no haya sido autorizada para su aprovechamiento, debe ser reforestada con especies nativas propias del hábitat que haya sido afectado.	El Proyecto es congruente con el objetivo del criterio, debido a que contempla la conformación de seis secciones de duna artificial y la revegetación de 540.00 m² con especies nativas costeras. Estas acciones incrementarán la cobertura vegetal del frente de playa, favorecerán la retención de arena y contribuirán a recuperar funciones del sistema playa-duna.

No.	CRITERIOS ECOLÓGICOS DE APLICACIÓN GENERAL	VINCULACIÓN
CG-04	En los nuevos proyectos de desarrollo urbano, agropecuario, suburbano, turístico e industrial se deberá separar el drenaje pluvial del drenaje sanitario. El drenaje pluvial de techos, previo al paso a través de un decantador para separar sólidos no disueltos, podrá ser empleado para la captación en cisternas, dispuesto en áreas con jardines o en las áreas con vegetación nativa remanente de cada proyecto. El drenaje pluvial de estacionamientos públicos y privados, así como de talleres mecánicos deberá contar con sistemas de retención de grasas y aceites.	**No resulta aplicable.** No se construirán edificios, estacionamientos, talleres, redes sanitarias ni sistemas permanentes de drenaje pluvial. Las obras consisten en estructuras de estabilización litoral, vertimiento de arena, dunas artificiales y pasos elevados, sin modificar los drenajes existentes del hotel.
CG-05	Para permitir la adecuada recarga del acuífero, todos los proyectos deben acatar lo dispuesto en el artículo 132 de la LEEPAQROO o la disposición jurídica que la sustituya.	El Proyecto no contempla pozos, extracción de agua subterránea, inyección al subsuelo ni impermeabilización extensiva del terreno. Las dunas conservarán una cubierta arenosa permeable y los pasos serán elevados, por lo que no formarán una superficie continua que impida la infiltración. En consecuencia, no se reducirá la capacidad de recarga del acuífero en la porción continental.
CG-06	Con la finalidad de evitar la fragmentación de los ecosistemas y el aislamiento de las poblaciones, se deberán agrupar las áreas de aprovechamiento preferentemente en áreas "sin vegetación aparente" y mantener la continuidad de las áreas con vegetación natural. Para lo cual, el promovente deberá presentar un estudio de zonificación ambiental que demuestre la mejor ubicación de la infraestructura planteada por el proyecto, utilizando preferentemente las áreas perturbadas por usos previos o con vegetación secundaria o acahual.	Las obras terrestres y costeras se concentran en el frente de un desarrollo turístico existente y en superficies de playa clasificadas cartográficamente como asentamientos humanos. No se requiere desmontar selva o manglar ni abrir nuevos polígonos dentro de vegetación natural. La revegetación de las dunas con especies nativas favorecerá la continuidad de la vegetación costera.

No.	CRITERIOS ECOLÓGICOS DE APLICACIÓN GENERAL	VINCULACIÓN
CG-07	En los proyectos en donde se pretenda llevar a cabo la construcción de caminos, bardas o cualquier otro tipo de construcción que pudiera interrumpir la conectividad ecosistémica deberán implementar pasos de fauna menor (pasos inferiores) a cada 50 metros, con excepción de áreas urbanas.	**No resulta directamente aplicable**, ya que no se construirán caminos, bardas o cerramientos que atraviesen vegetación natural. Los seis pasos de duna serán elevados y permitirán el tránsito de usuarios sin crear una barrera continua sobre la superficie arenosa ni interrumpir el desplazamiento de fauna menor.
CG-08	Los humedales, rejolladas inundables, petenes, cenotes, cuerpos de agua superficiales, presentes en los predios deberán ser incorporados a las áreas de conservación.	Dentro de los polígonos terrestres y costeros del Proyecto no se identifican cenotes, petenes, rejolladas inundables o vegetación de humedal. El manglar representado en la cartografía de la UGA 28 se localiza en otros predios, tierra adentro y fuera de los buffers de 100 m aplicados a V1 y V2. El Proyecto tampoco implica el relleno o desecación del medio marino, sino la colocación controlada de estructuras y arena para la recuperación del litoral.
CG-09	Salvo en las UGA urbanas, los desarrollos deberán ocupar el porcentaje de aprovechamiento o desmonte correspondiente para la UGA en la que se encuentre, y ubicarse en la parte central del predio, en forma perpendicular a la carretera principal. Las áreas que no sean intervenidas no podrán ser cercadas o bardeadas y deberán ubicarse preferentemente a lo largo del perímetro del predio en condiciones naturales y no podrán ser desarrolladas en futuras ampliaciones.	No resulta aplicable, debido a que la UGA 28 corresponde a un centro de población y el propio criterio exceptúa a las UGA urbanas. Adicionalmente, el Proyecto no constituye una ampliación inmobiliaria ni pretende aprovechar superficies de vegetación natural.
CG-10	Sólo se permite la apertura de nuevos caminos de acceso para actividades relacionadas a los usos compatibles, así como aquellos relacionados con el establecimiento de redes de distribución de servicios básicos necesarios para la población.	**No resulta aplicable.** No se contempla la apertura de nuevos caminos. El acceso de personal y equipo se realizará mediante accesos existentes y a través de los frentes de trabajo autorizados.

No.	CRITERIOS ECOLÓGICOS DE APLICACIÓN GENERAL	VINCULACIÓN
CG-11	El porcentaje de desmonte que se autorice en cada predio deberá estar acorde a cada uso compatible y no deberá exceder el porcentaje establecido en el lineamiento ecológico de la UGA, aplicando el principio de equidad y proporcionalidad	**No resulta aplicable.** El Proyecto no contempla el desmonte de vegetación forestal, selva o manglar. Las obras se ubican en playa, ZOFEMAT, áreas intervenidas y medio marino.
CG-12	En el caso de desarrollarse varios usos de suelo compatibles en el mismo predio, los porcentajes de desmonte asignados a cada uno de ellos solo serán acumulables hasta alcanzar el porcentaje definido en el lineamiento ecológico.	**No resulta aplicable.** No se pretenden distintos usos del suelo que impliquen porcentajes acumulables de desmonte, ni se solicita cambio de uso de suelo en terrenos forestales.
CG-13	En la superficie de aprovechamiento autorizada previo al desarrollo de cualquier obra o actividad, se deberá de ejecutar un programa de rescate de flora y fauna.	No se contempla remover vegetación natural, por lo que el supuesto de rescate de flora asociado al desmonte no se actualiza. Sin embargo, antes y durante las maniobras se realizará inspección de los frentes de trabajo y, si se detecta fauna silvestre susceptible de afectación, se permitirá su desplazamiento o se efectuará su rescate y reubicación por personal capacitado.
CG-14	En los predios donde no exista cobertura arbórea, o en el caso que exista una superficie mayor desmontada a la señalada para la unidad de gestión ambiental ya sea por causas naturales y/o usos previos, el proyecto sólo podrá ocupar la superficie máxima de aprovechamiento que se indica para la unidad de gestión ambiental y la actividad compatible que pretenda desarrollarse.	No resulta directamente aplicable. El Proyecto no pretende ocupar una superficie forestal previamente desmontada ni ampliar el área de aprovechamiento urbano del hotel. Las intervenciones se limitan al frente de playa y al medio marino, conforme a los polígonos establecidos.

No.	CRITERIOS ECOLÓGICOS DE APLICACIÓN GENERAL	VINCULACIÓN
CG-15	En los ecosistemas forestales deberán eliminarse los ejemplares de especies exóticas considerados como invasoras por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) que representen un riesgo de afectación o desplazamiento de especies silvestres. El material vegetal deberá ser eliminado mediante procedimientos que no permitan su regeneración y/o propagación.	No resulta directamente aplicable, porque el Proyecto no interviene ecosistemas forestales. La revegetación de las dunas se realizará con especies nativas propias del ambiente costero y no contempla introducir especies exóticas invasoras.
CG-16	La introducción y manejo de palma de coco (*Cocus nucifera*) debe restringirse a las variedades que sean resistentes a la enfermedad conocida como "amarillamiento letal del cocotero".	No resulta aplicable. La revegetación dunar no contempla la introducción de palma de coco. Si posteriormente se incorporara esta especie, únicamente podrían emplearse variedades resistentes al amarillamiento letal y adecuadas para el ambiente costero.
CG-17	Se permite el manejo de especies exóticas, cuando: 1. La especie no esté catalogada como especie invasora por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y/o La SAGARPA. 2. La actividad no se proyecte en cuerpos naturales de agua, 3. El manejo de fauna, en caso de utilizar encierros, se debe realizar el tratamiento secundario por medio de biodigestores autorizados por la autoridad competente en la materia de aquellas aguas provenientes de la limpieza de los sitios de confinamiento. 4. Se garantice el confinamiento de los ejemplares y se impida su dispersión o distribución al medio natural. 5. Deberán estar dentro de una Unidad de Manejo Ambiental o PIMVS.	No resulta aplicable. El Proyecto no considera el manejo, confinamiento, reproducción o aprovechamiento de especies exóticas de flora o fauna.
CG-18	No se permite la acuicultura en cuerpos de agua en condiciones naturales, ni en	No resulta aplicable. El Proyecto no contempla actividades acuícolas en cuerpos de agua naturales o artificiales.

No.	CRITERIOS ECOLÓGICOS DE APLICACIÓN GENERAL	VINCULACIÓN
	cuerpos de agua artificiales con riesgo de afectación a especies nativas.	
CG-19	Todos los caminos abiertos que estén en propiedad privada deberán contar con acceso controlado, a fin de evitar posibles afectaciones a los recursos naturales existentes.	No resulta aplicable. No se abrirán caminos dentro de propiedades privadas. Los accesos temporales a los frentes de trabajo se realizarán por áreas existentes y permanecerán controlados durante la construcción.
CG-20	Los cenotes, rejolladas inundables y cuerpos de agua deberán mantener inalterada su estructura geológica y mantener el estrato arbóreo, asegurando que la superficie establecida para su uso garantice el mantenimiento de las condiciones ecológicas de dichos ecosistemas.	Dentro del frente continental del Proyecto no se identifican cenotes o rejolladas inundables. Las obras marinas no alterarán estructuras geológicas continentales ni implicarán la extracción de agua subterránea. La intervención se limitará a los polígonos autorizados y no se ocuparán ecosistemas de humedal ubicados tierra adentro.
CG-21	Donde se encuentren vestigios arqueológicos, deberá reportarse dicha presencia al Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) y contar con su correspondiente autorización para la construcción de la obra o realización de actividades.	No se tiene prevista la intervención de sitios arqueológicos. En caso de producirse un hallazgo fortuito durante las maniobras o la colocación de elementos de anclaje, se suspenderán los trabajos en el punto correspondiente y se dará aviso al Instituto Nacional de Antropología e Historia para que determine lo procedente.
CG-22	El derecho de vía de los tendidos de energía eléctrica de alta tensión sólo podrá ser utilizado conforme a la normatividad aplicable, y en apego a ella no podrá ser utilizado para asentamientos humanos.	**No resulta aplicable.** Las obras no se ubican en derechos de vía de líneas eléctricas de alta tensión ni contemplan asentamientos humanos dentro de éstos.

No.	CRITERIOS ECOLÓGICOS DE APLICACIÓN GENERAL	VINCULACIÓN
CG-23	La instalación de infraestructura de conducción de energía eléctrica de baja tensión y de comunicación deberá ser subterránea en el interior de los predios, para evitar la contaminación visual del paisaje y afectaciones a la misma por eventos meteorológicos extremos y para minimizar la fragmentación de ecosistemas.	**No resulta aplicable.** El Proyecto no incorpora redes permanentes de distribución eléctrica o comunicación. Las bombas y equipos que se utilicen durante la ejecución serán temporales y se retirarán al concluir las maniobras.
CG-24	Los taludes de los caminos y carreteras deberán ser reforestados con plantas nativas de cobertura y herbáceas que limiten los procesos de erosión.	No resulta aplicable. No se construirán caminos, carreteras ni taludes viales. La revegetación proyectada corresponde a las seis secciones de duna artificial.
CG-25	En ningún caso la estructura o cimentación de las construcciones deberá interrumpir la hidrodinámica natural superficial y/o subterránea.	El Proyecto no contempla cimentaciones profundas, excavaciones continentales o barreras impermeables que intercepten el flujo del agua subterránea. Los pasos de duna serán elevados y sostenidos mediante elementos puntuales, permitiendo el movimiento natural de arena y agua. En el medio marino, los geotubos se dispondrán conforme a la geometría autorizada y sin formar un cierre continuo de la zona costera. Su función es atenuar localmente la energía del oleaje y favorecer la retención de sedimentos, manteniendo espacios para la circulación del agua entre las estructuras. Por tanto, se generará una modificación local controlada para estabilizar el litoral, pero no la interrupción total de la circulación marina o de los flujos superficiales y subterráneos.

No.	CRITERIOS ECOLÓGICOS DE APLICACIÓN GENERAL	VINCULACIÓN
CG-26	De acuerdo con lo que establece el Reglamento Municipal de Construcción, los campamentos de construcción o de apoyo y todas las obras en general deben: A. Contar con al menos una letrina por cada 20 trabajadores. B. Áreas específicas y delimitadas para la pernocta y/o para la elaboración y consumo de alimentos, con condiciones higiénicas adecuadas (ventilación, miriñaques, piso de cemento, correcta iluminación, lavamanos, entre otros). C. Establecer las medidas necesarias para almacenamiento, retiro, transporte y disposición final de los residuos sólidos generados. D. Establecer medidas para el correcto manejo, almacenamiento, retiro, transporte y disposición final de los residuos peligrosos.	No se contempla instalar campamentos de pernocta. Se utilizarán los sanitarios del hotel. Los residuos sólidos y peligrosos se separarán, almacenarán temporalmente en recipientes adecuados y se retirarán mediante prestadores autorizados. No se permitirán áreas improvisadas para dormir, preparar alimentos o disponer residuos en la playa.
CG-27	En el diseño y construcción de los sitios de disposición final de Residuos Sólidos Urbanos se deberán colocar en las celdas para residuos y en el estanque de lixiviados, una geomembrana de polietileno de alta densidad o similar, con espesor mínimo de 1.5 mm. Previo a la colocación de la capa protectora de la geomembrana se deberá acreditar la aprobación de las pruebas de hermeticidad de las uniones de la geomembrana por parte de la autoridad que supervise su construcción.	**No resulta aplicable.** El Proyecto no comprende la construcción u operación de un relleno sanitario, celdas de residuos o estanques de lixiviados.
CG-28	La disposición de materiales derivados de obras, excavaciones o dragados sólo podrá realizarse en sitios autorizados por la autoridad competente, siempre y cuando no contengan residuos sólidos urbanos, así como aquellos que puedan	El material excedente, empaques, restos de geotextil, residuos de construcción o cualquier otro material que deba retirarse no será depositado en la playa, dunas, mar o predios vecinos. Será recolectado y transportado a sitios autorizados. La arena extraída del Banco IRRM no se manejará como residuo de

No.	CRITERIOS ECOLÓGICOS DE APLICACIÓN GENERAL	VINCULACIÓN
	ser catalogados como peligrosos por la normatividad vigente.	dragado, sino como material de aporte destinado al hidrollenado y restauración del litoral, dentro de los volúmenes y polígonos autorizados.
CG-29	La disposición final de residuos sólidos únicamente podrá realizarse en los sitios previamente aprobados para tal fin.	Los residuos sólidos generados por el personal y por las maniobras serán separados, contenidos y entregados al servicio municipal o a prestadores autorizados, según su clasificación. No se dispondrán residuos en el mar, la playa, las dunas o el Banco IRRM.
CG-30	Los desechos biológico infecciosos no podrán disponerse en el relleno sanitario y/o en depósitos temporales de servicio municipal.	No se prevé la generación ordinaria de residuos biológico-infecciosos. Si excepcionalmente se generaran materiales de curación derivados de primeros auxilios, se separarían de los residuos urbanos y serían manejados conforme a la normatividad sanitaria aplicable.
CG-31	Los sitios de disposición final de RSU deberán contar con un banco de material pétreo autorizado dentro del área proyectada, mismo que se deberá ubicar aguas arriba de las celdas de almacenamiento y que deberá proveer diariamente del material de cobertura.	No resulta aplicable. El Proyecto no construirá ni operará un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos.
CG-32	Se prohíbe la quema de basura, así como su entierro o disposición a cielo abierto.	Se prohibirá la quema, entierro, abandono o disposición a cielo abierto de residuos. Esta medida será aplicable tanto en los frentes de playa como durante las actividades marinas y en el Banco IRRM.
CG-33	Todos los proyectos deberán contar con áreas específicas para el acopio temporal de los residuos sólidos. En el caso de utilizar el servicio municipal de colecta, dichas áreas deben ser accesibles a la operación del servicio.	Se habilitará dos áreas delimitadas para el acopio temporal de residuos en contenedores de 200 L, ubicada fuera de la zona de rompiente y protegida contra viento, lluvia y dispersión. Los residuos se mantendrán en recipientes identificados y serán retirados periódicamente, evitando acumulaciones en playa o zonas de tránsito.

No.	CRITERIOS ECOLÓGICOS DE APLICACIÓN GENERAL	VINCULACIÓN
CG-34	El material pétreo, sascab, piedra caliza, tierra negra, tierra de despalme, madera, materiales vegetales y/o arena, que se utilice en la construcción de un proyecto, deberá provenir de fuentes y/o bancos de material autorizados.	La arena necesaria para el hidrollenado de los geotubos, vertido y conformación de las dunas procederá exclusivamente del Banco IRRM. Su extracción y utilización se realizarán una vez obtenidas las autorizaciones correspondientes. Los demás materiales de construcción, incluidos geotextiles, madera, fijaciones y elementos de anclaje, serán adquiridos de proveedores legalmente establecidos y, cuando corresponda, de fuentes autorizadas.
CG-35	En la superficie en la que por excepción la autoridad competente autorice la remoción de la vegetación, también se podrá retirar el suelo, subsuelo y las rocas para nivelar el terreno e instalar los cimientos de las edificaciones e infraestructura, siempre y cuando no se afecten los ríos subterráneos que pudieran estar presentes en los predios que serán intervenidos.	No resulta aplicable. No se contempla la remoción de vegetación forestal, suelo continental o roca para nivelar el predio o construir edificaciones. Los pasos elevados utilizarán apoyos puntuales y las dunas se conformarán mediante aporte de arena sobre el frente costero intervenido.
CG-36	Los desechos orgánicos derivados de las actividades agrícolas, pecuarias y forestales deberán aprovecharse en primera instancia para la recuperación de suelos, y/o fertilización orgánica de cultivos y áreas verdes, previo composteo y estabilización y ser dispuestos donde lo indique la autoridad competente en la materia.	No resulta aplicable. El Proyecto no incluye actividades agrícolas, pecuarias o forestales que generen residuos orgánicos de esa naturaleza.
CG-37	Todos los proyectos que impliquen la remoción de la vegetación y el despalme del suelo deberán realizar acciones para la recuperación de la tierra vegetal, realizando su separación de los residuos vegetales y pétreos, con la finalidad de que sea utilizada para acciones de reforestación dentro del mismo proyecto o donde lo disponga la autoridad	No resulta aplicable, ya que no se efectuará despalme ni remoción de suelo vegetal. Por el contrario, se incorporará vegetación nativa en las dunas artificiales como parte de la restauración del sistema costero.

No.	CRITERIOS ECOLÓGICOS DE APLICACIÓN GENERAL	VINCULACIÓN
	competente en la materia, dentro del territorio municipal.	
CG-38	No se permite la transferencia de densidades de cuartos de hotel, residencias campestres, cabañas rurales y/o cabañas ecoturísticas de una unidad de gestión ambiental a otra.	No resulta aplicable. El Proyecto no contempla transferencia de densidad hotelera o residencial entre UGA, ni incrementa el número de habitaciones del hotel.
CG-39	El porcentaje de desmonte permitido en cada UGA que impliquen el cambio de uso de suelo de la vegetación forestal solo podrá realizarse cuando la autoridad competente expida por excepción las autorizaciones de cambio de uso de suelo de los terrenos forestales	No resulta aplicable. Las obras no implican el desmonte de terrenos forestales ni la remoción de selva o manglar, por lo que no se requiere utilizar un porcentaje de desmonte de la UGA ni solicitar cambio de uso de suelo en terrenos forestales.

Tabla 18. Vinculación de los criterios urbanos del POELMBJ con el Proyecto.

No.	CRITERIOS URBANOS	VINCULACIÓN
URB-01	En tanto no existan sistemas municipales para la construcción y tratamiento de las aguas residuales municipales, los promoventes nuevos proyectos, de hoteles, fraccionamientos, condominios, industrias y similares, deberán instalar y operar por su propia cuenta, sistemas de tratamiento y reciclaje de las aguas residuales, ya sean individuales o comunales, para satisfacer las condiciones particulares que determinen las autoridades competentes y las normas oficiales mexicanas aplicables en la materia.	No resulta directamente aplicable. El Proyecto no comprende la construcción de un nuevo hotel, fraccionamiento, condominio, industria o desarrollo urbano, sino obras de restauración y estabilización del litoral frente a un complejo turístico existente. El personal utilizará los servicios sanitarios y la infraestructura hidrosanitaria del hotel. No se instalarán campamentos ni se generarán descargas de aguas residuales sobre la playa, el suelo o la zona marina.

URB-02	A fin de evitar la contaminación ambiental y/o riesgos a la salud pública y sólo en aquellos casos excepcionales en que el tendido de redes hidrosanitarias no exista, así como las condiciones financieras, socioeconómicas y/o topográficas necesarias para la introducción del servicio lo ameriten y justifiquen, la autoridad competente en la materia podrá autorizar a persona físicas el empleo de biodigestores para que en sus domicilios particulares se realice de manera permanente un tratamiento de aguas negras domiciliarias. Estos sistemas deberán estar aprobados por la autoridad ambiental competente	No resulta aplicable. No se contempla instalar biodigestores ni sistemas domiciliarios para el tratamiento de aguas negras. El Proyecto tampoco comprende viviendas o instalaciones sanitarias permanentes.
URB-03	En zonas que ya cuenten con el servicio de drenaje sanitario el usuario estará obligado a conectarse a dicho servicio. En caso de que a partir de un dictamen técnico del organismo operador resulte no ser factible tal conexión, se podrán utilizar sistemas de tratamiento debidamente certificados y contar con la autorización para las descargas por la CONAGUA.	El criterio tiene una aplicación indirecta. El Proyecto utilizará los servicios sanitarios existentes del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa y no modificará su sistema de drenaje. No se construirán sistemas particulares de descarga ni se verterán aguas sanitarias en la playa o en el medio marino.
URB-04	Los sistemas de producción agrícola intensiva (invernaderos, hidroponía y viveros) que se establezcan dentro de los centros de población deben reducir la pérdida del agua de riego, limitar la aplicación de agroquímicos y evitar la contaminación de los mantos freáticos	No resulta aplicable. No se establecerán invernaderos, sistemas hidropónicos, viveros o actividades de producción agrícola intensiva. Las plantas utilizadas para revegetar las dunas procederán de viveros o proveedores legalmente autorizados.
URB-05	En el caso de los campos de golf o usos de suelo similares que requieran la aplicación de riegos con agroquímicos y/o aguas residuales tratadas, deberán contar con la infraestructura necesaria para optimización y reciclaje del agua Evitando en	No resulta aplicable. El Proyecto no comprende campos de golf ni actividades que requieran riego con aguas residuales tratadas o aplicación intensiva de agroquímicos.

	toda la contaminación al suelo, cuerpos de agua, y mantos freáticos.	
URB-06	Los proyectos de campos deportivos y/o de golf, así como las áreas ajardinadas de los desarrollos turísticos deberán minimizar el uso de fertilizantes y/o pesticidas químicos para evitar riesgos de contaminación.	El Proyecto no contempla campos deportivos o de golf. Durante el establecimiento de la vegetación dunar no se aplicarán fertilizantes, herbicidas o plaguicidas de manera rutinaria. Si excepcionalmente se requiriera algún producto, su empleo deberá sustentarse técnicamente y realizarse de forma controlada, evitando escurrimientos hacia la playa o el mar.
URB-07	No se permite la disposición de aguas residuales sin previo tratamiento hacia los cuerpos de agua, zonas inundables y/o al suelo y subsuelo, por lo que se promoverá que se establezca un sistema integral de drenaje y tratamiento de aguas residuales.	El Proyecto cumple con el criterio, ya que no realizará descargas de aguas residuales al suelo, subsuelo, playa, zonas inundables o medio marino.
URB-08	En las zonas urbanas y sus reservas del Municipio de Benito Juárez se deberán establecer espacios ajardinados que incorporen elementos arbóreos y arbustivos de especies nativas.	El Proyecto es congruente con el objetivo del criterio. Se revegetarán 540.00 m² de dunas artificiales con aproximadamente 1,350 plantas costeras nativas, incluyendo especies rastreras, herbáceas, gramíneas y arbustivas.
URB-09	Para mitigar el aumento de la temperatura y la sensación térmica en las zonas urbanas, mejorar el paisaje, proteger las zonas de infiltración de aguas y recarga de mantos acuíferos, dotar espacios para recreación y mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos en general, deben existir parques y espacios recreativos que cuenten con elementos arbóreos y arbustivos y cuya separación no será mayor a un km entre dichos parques.	El establecimiento del sistema municipal de parques y espacios recreativos corresponde a la planeación urbana municipal. No resulta directamente aplicable al Proyecto, porque no constituye un nuevo desarrollo urbano; no obstante, la revegetación de las dunas contribuirá a mejorar el paisaje y recuperar cobertura vegetal en el frente costero.
UBR-10	Los cenotes, rejolladas inundables y cuerpos de agua presentes en los centros de población deben formar parte de las áreas verdes, asegurando que la superficie establecida para tal destino del suelo	En las superficies terrestres del Proyecto no se identifican cenotes, rejolladas inundables o cuerpos de agua continentales que deban integrarse como áreas verdes. Las obras marinas se limitarán a la zona marina somera y no implicarán el relleno o desecación de humedales continentales.

	garantice el mantenimiento de las condiciones ecológicas de dichos ecosistemas.	
URB-11	Para el ahorro del recurso agua, las nuevas construcciones deberán implementar tecnologías que aseguren el ahorro y uso eficiente del agua.	No se construirán edificios o instalaciones permanentes que demanden agua.
URB-12	En las plantas de tratamiento de aguas residuales y de desactivación de lodos deberán implementarse procesos para la disminución de olores y establecer franjas de vegetación arbórea de al menos 15 m de ancho que presten el servicio de barreras dispersantes de malos olores dentro del predio que se encuentren dichas instalaciones.	No resulta aplicable. El Proyecto no comprende plantas de tratamiento de aguas residuales o instalaciones para la desactivación de lodos.
URB-13	La canalización del drenaje pluvial hacia espacios verdes, cuerpos de agua superficiales o pozos de absorción, debe realizarse previa filtración de sus aguas con sistemas de decantación, trampas de grasas y sólidos, u otros que garanticen la retención de sedimentos y contaminantes. Dicha canalización deberá ser autorizada por la Comisión Nacional del Agua.	No resulta aplicable. No se construirán redes de drenaje pluvial, pozos de absorción o canalizaciones hacia cuerpos de agua. Las dunas artificiales y los pasos elevados mantendrán la permeabilidad del sustrato arenoso.
URB-14	Los crematorios deberán realizar un monitoreo y control de sus emisiones a la atmósfera.	No resulta aplicable. No se construirán u operarán crematorios.
URB-15	Los cementerios deberán impermeabilizar paredes y piso de las fosas, con el fin de evitar contaminación al suelo, subsuelo y manto freático.	No resulta aplicable. No se construirán cementerios o fosas.
URB-16	Los proyectos en la franja costera dentro de las UGA urbanas deberán tomar en cuenta la existencia de las bocas de tormenta que de manera temporal desaguan las zonas sujetas a inundación durante la	El Proyecto se ubica en una franja costera y, por tanto, atenderá preventivamente el criterio. No se construirán canales, muros continuos o cimentaciones que bloqueen el escurrimiento superficial desde la porción continental. Durante el trazo se conservará libre cualquier trayectoria natural de desagüe identificada en el frente costero. Las barreras rompeolas serán discontinuas y mantendrán espacios para la circulación del

	ocurrencia de lluvias extraordinarias o eventos ciclónicos. Por ser tales sitios zonas de riesgo, en los espacios públicos y privados se deben de realizar obras de ingeniería permanentes que en una franja que no será menor de 20 m conduzcan y permitan el libre flujo que de manera natural se establezca para el desagüe.	agua. Las dunas y pasos se distribuirán en secciones independientes, evitando formar una barrera impermeable continua.
UBR-17	Serán susceptible de aprovechamiento los recursos biológicos forestales, tales como semilla, que generen los árboles urbanos, con fines de propagación por parte de particulares, mediante la autorización de colecta de recursos biológicos forestales.	No resulta aplicable. No se contempla recolectar semillas u otros recursos biológicos forestales de árboles urbanos. Las plantas para la revegetación serán adquiridas en viveros o con proveedores autorizados.
CRITERIOS ECOLÓGICOS DE APLICACIÓN URBANA RECURSO SUELO Y SUBSUELO		
URB-19	La autorización emitida por la autoridad competente para la explotación de bancos de materiales pétreos deberá sustentarse en los resultados provenientes de estudios de mecánica de suelos y geohidrológicos que aseguren que no existan afectaciones irreversibles al recurso agua, aun en los casos de afloramiento del acuífero para extracción debajo del manto freático. Estos estudios deberán establecer claramente cuáles serán las medidas de mitigación aplicables al proyecto y los parámetros y periodicidad para realizar el monitoreo que tendrá que realizarse durante todas las etapas del proyecto, incluyendo las actividades de la etapa de abandono.	El Banco IRRM es un banco de arena localizado en el medio marino y no un banco terrestre de materiales pétreos dentro del centro urbano. Por ello, el criterio no resulta directamente aplicable en lo relativo a bancos terrestres y aguas subterráneas. Su aprovechamiento se limitará al polígono, espesor y volumen autorizados, sin extraer arena de playas, dunas naturales o predios costeros.
URB-20	Con el objeto de integrar cenotes, rejolladas, cuevas y cavernas a las áreas públicas urbanas, se permite realizar un aclareo, poda y modificación de	No resulta aplicable. No existen cenotes, cuevas, cavernas o rejolladas dentro de los polígonos del Proyecto y no se realizarán podas o aclareos para habilitar estos elementos como áreas públicas.

	vegetación rastrera y arbustiva presente, respetando en todo momento los elementos arbóreos y vegetación de relevancia ecológica, así como la estructura geológica de estas formaciones.	
URB-21	Los bancos de materiales autorizados deben respetar una zona de amortiguamiento que consiste en una barrera vegetal alrededor del mismo, conforme lo señala el Decreto 36, del Gobierno del Estado; y/o la disposición jurídica que la sustituya.	No resulta directamente aplicable. El Banco IRRM se localiza en el medio marino, donde no existe una barrera vegetal terrestre que pueda conservarse alrededor del polígono. Su área se delimitará mediante coordenadas y señalización marina temporal.
URB-22	Para evitar la contaminación del suelo y subsuelo, en las actividades de extracción y exploración de materiales pétreos deberán realizarse acciones de acopio, separación, utilización y disposición final de cualquier tipo de residuos generados, en el marco de o que establezcan las disposiciones jurídicas aplicables.	Aunque el Banco IRRM no constituye un banco pétreo terrestre, se atenderá el objetivo preventivo del criterio. En el banco y los frentes de bombeo se realizará la separación, contención y retiro de residuos. No se abandonarán mangueras, geotextiles, empaques, combustibles, lubricantes o residuos en el fondo marino.
URB-23	Para reincorporar las superficies afectadas por extracción de materiales pétreos a las actividades económicas del municipio, deberá realizarse la rehabilitación de dichas superficies en congruencia con los usos que prevean los instrumentos de planeación vigentes para la zona.	El aprovechamiento del Banco IRRM será puntual y no implica convertir posteriormente esa superficie en un área urbana o productiva terrestre. Al finalizar la extracción se retirarán bombas, mangueras, boyas y elementos provisionales, procurando conservar la configuración general del fondo fuera del espesor autorizado.
URB-24	Los generadores de Residuos de Manejo Especial y los Grandes Generadores de Residuos Sólidos Urbanos deberán contar con un plan de manejo de los mismos, en apego a la normatividad vigente en la materia.	No se prevé la generación ordinaria de residuos de manejo especial ni se estima que el Proyecto alcance la categoría de gran generador de residuos sólidos urbanos. Los materiales llegarán previamente dimensionados y los elementos retornables serán retirados por los proveedores. Si excepcionalmente se genera un residuo que por su volumen o características deba clasificarse como de manejo especial, será separado y entregado a un prestador autorizado conforme a la regulación aplicable.
URB-25	Para el caso de fraccionamientos habitacionales, el fraccionador deberá construir a su cargo y entregar al Ayuntamiento por	No resulta aplicable. El Proyecto no corresponde a un fraccionamiento habitacional y no contempla la construcción de viviendas.

	cada 1000 viviendas previstas en el proyecto de fraccionamiento, parque o parques públicos recreativos con sus correspondientes áreas jardinadas y arboladas con una superficie mínima de 5,000 metros cuadrados, mismos que podrán ser relacionados a las áreas de donación establecidas en la legislación vigente en la materia. Tratándose de fracciones en el número de viviendas previstas en el fraccionamiento, las obras de equipamiento urbano serán proporcionales, pudiéndose construir incluso en predios distintos al fraccionamiento.	
URB-26	En las etapas de crecimiento de la mancha urbana considerada por el PDU, para mitigar el aumento de la temperatura y la sensación térmica en la zonas urbanas, mejorar el paisaje, proteger las zonas de infiltración de aguas y recarga de mantos acuíferos, favorecer la función de barrera contra ruido, dotar espacios para recreación y mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos en general, los fraccionamientos deben incorporar áreas verdes que contribuyan al Sistema Municipal de Parques, de conformidad con la normatividad vigente en la materia.	No resulta directamente aplicable, debido a que no se contempla un fraccionamiento o crecimiento de la mancha urbana. La revegetación de las dunas con especies nativas contribuirá, en su ámbito específico, a recuperar cobertura vegetal y mejorar el paisaje costero.
URB-27	La superficie ocupada por equipamiento en las áreas verdes no deberá exceder de un 30% del total de la superficie cada una de ellas.	No resulta aplicable. Las dunas artificiales no constituirán parques públicos con equipamiento urbano. Los pasos elevados ocuparán únicamente 60.00 m² y tendrán como finalidad proteger las superficies revegetadas y ordenar el tránsito peatonal.
URB-28	Para evitar las afectaciones por inundaciones, se prohíbe el establecimiento de fraccionamientos habitacionales, así como de infraestructura urbana dentro espacio excavado de las	No resulta aplicable. No se establecerán fraccionamientos o infraestructura urbana en sascaberas abandonadas. Las obras se ubicarán en el frente de playa y la zona marina somera.

	sascaberas en desuso y en zonas en donde los estudios indiquen que existe el riesgo de inundación (de acuerdo con el Atlas de Riesgos de municipio y/o del estado).	
UBR-29	En la construcción de fraccionamientos dentro de las áreas urbanas, se permite la utilización del material pétreo que se obtenga de los cortes de nivelación dentro de predio. El excedente de los materiales extraídos que no sean utilizados deberá disponerse en la forma indicada por la autoridad competente en la materia.	No resulta aplicable. El Proyecto no contempla fraccionamientos, cortes de nivelación o extracción de material pétreo dentro de un predio urbano. La nivelación será localizada y se efectuará con la misma arena existente o con arena compatible procedente del Banco IRRM.
RECURSO FLORA Y FAUNA		
URB-30	En zonas inundables, se deben mantener las condiciones naturales de los ecosistemas y garantizar la conservación de las poblaciones silvestres que la habitan. Por lo que las actividades recreativas de contemplación deben ser promovidas y las actividades de aprovechamiento extractivo y de construcción deben ser condicionadas.	El Proyecto no construirá infraestructura urbana dentro de humedales continentales o zonas inundables con vegetación natural. Las obras buscan incrementar la capacidad de amortiguamiento del litoral mediante recuperación de playa seca, dunas artificiales y vegetación nativa. No se realizarán actividades extractivas de flora o fauna.
URB-31	Las áreas destinadas a la conservación de la biodiversidad y/o del agua que colinden con las áreas definidas para los asentamientos humanos, deberán ser los sitios prioritarios para ubicar los ejemplares de plantas y animales que sean rescatados en el proceso de eliminación de la vegetación.	No resulta directamente aplicable, debido a que no se eliminará cobertura vegetal natural. En los frentes marinos se aplicará el Programa de Rescate, Ahuyentamiento y Reubicación de Fauna Marina. Los organismos rescatados se trasladarán a sitios con condiciones ambientales semejantes, fuera de la influencia inmediata de las maniobras.
URB-32	Deberá preverse un mínimo de 50% de la superficie de los espacios públicos jardinados para que tengan vegetación natural de la zona y mantener todos los árboles nativos que cuenten con DAP mayores de 15 cm, en buen estado fitosanitario y que no representen riesgo de accidentes para los usuarios.	No resulta directamente aplicable, ya que el Proyecto no comprende parques públicos o espacios urbanos jardinados. La revegetación de las dunas se realizará íntegramente con especies costeras nativas.

URB-33	Deberán establecerse zonas de amortiguamiento de al menos 50 m alrededor de las zonas industriales y centrales de abastos que se desarrollen en las reservas urbanas. Estas zonas de amortiguamiento deberán ser dotados de infraestructura de parque público.	No resulta aplicable. No se construirán zonas industriales o centrales de abasto.
URB-34	En los programas de rescate de fauna silvestre que deben elaborarse y ejecutarse con motivo de la eliminación de la cobertura vegetal de un predio, se deberá incluir el sitio de reubicación de los ejemplares, aprobado por la autoridad ambiental competente.	No se eliminará cobertura vegetal natural, por lo que no se requiere ejecutar un rescate de fauna asociado al desmonte. Sin embargo, se contempla inspección ambiental previa y un Programa de Rescate, Ahuyentamiento y Reubicación de Fauna Marina para los frentes de instalación de geotubos, líneas de bombeo y aprovechamiento del Banco IRRM.
URB-35	No se permite introducir o liberar fauna exótica en parques y/o áreas de reservas urbanas.	El Proyecto no introducirá o liberará fauna exótica. El personal tendrá prohibido capturar, alimentar, molestar o trasladar fauna fuera de las acciones autorizadas de rescate.
URB-36	Las áreas con presencia de ecosistemas de manglar dentro de los centros de población deberán ser consideradas como Áreas de Preservación Ecológica para garantizar el mantenimiento de los bienes y servicios ambientales que proveen por lo que no podrán ser modificadas, con el fin de proporcionar una mejor calidad de vida para los habitantes del municipio; con excepción de aquellas que cuenten previamente con un plan de manejo autorizado por la autoridad ambiental.	Dentro de los polígonos de obras no existe vegetación de manglar. La cartografía de INEGI Serie VII ubica las obras terrestres y costeras en una unidad de asentamientos humanos, mientras que el manglar se localiza tierra adentro, en otros predios y a más de 100 m de V1 y V2. El Proyecto no removerá, podará, rellenará o modificará manglar, ni ocupará las superficies donde se encuentra presente. Por tanto, las áreas de manglar de la UGA 28 permanecerán sin intervención.
URB-37	Para minimizar los impactos ambientales y el efecto de borde sobre los ecosistemas adyacentes a los centros urbanos, la ocupación de nuevas reservas territoriales para el desarrollo urbano solo podrá realizarse cuando se haya ocupado el 85% de territorio de	No resulta aplicable. No se pretende ocupar una nueva reserva territorial ni ampliar la mancha urbana. El Proyecto se desarrollará frente a un complejo turístico existente y no incrementará su densidad, número de habitaciones o superficie edificada.

	la etapa de desarrollo urbano previa.	
URB-38	Las áreas verdes de los estacionamientos descubiertos públicos y privados deben ser diseñadas en forma de camellones continuos y deberá colocarse por lo menos un árbol por cada dos cajones de estacionamiento.	No resulta aplicable. No se construirán o modificarán estacionamientos.
URB-39	Los predios colindantes con los humedales deberán tener áreas de vegetación preferentemente nativa, que permitan el tránsito de la vida silvestre hacia otros manchones de vegetación. Los predios colindantes en el Sur del área natural protegida Manglares de Nichupté (ANPLN) deberán mantener su cubierta vegetal para favorecer el tránsito de fauna. Se deberán realizar obras que permitan la comunicación de la fauna entre el ANPLN el área de vegetación nativa con la que colinda en su límite Sur, para tal efecto se deberán realizar las obras necesarias en la carretera que las divide para que la fauna pueda transitar entre ambos terrenos, sin que pueda ser atropellada.	No resulta aplicable. El predio y los polígonos de obra no colindan con vegetación de humedal y se encuentran fuera del Área Natural Protegida Manglares de Nichupté. El manglar identificado en la cartografía se localiza en otros predios y no existe superposición con las obras.
URB-40	En las previsiones de crecimiento de las áreas urbanas colindantes con las ANP's, se deberán mantener corredores biológicos que salvaguarden la conectividad entre los ecosistemas existentes.	No resulta directamente aplicable. El Proyecto no representa crecimiento de un área urbana sobre una reserva territorial colindante con un área natural protegida. Las obras se concentran en el frente costero existente y no fragmentarán corredores terrestres de vegetación.
URB-41	Los proyectos urbanos deberán reforestar camellones y áreas verdes colindantes a las ANP's y parques municipales deberán reforestar con especies nativas que sirvan de refugio y alimentación para la fauna	El Proyecto no contempla camellones, parques municipales o nuevas áreas verdes urbanas. No obstante, la revegetación de las seis dunas artificiales con especies nativas generará cobertura vegetal costera con funciones de refugio y desplazamiento potencial para fauna.

	silvestre, destacando el chicozapote (*Manilkara zapota*), la guaya (*Talisia olivaeriformis*), capulín (*Muntingia calabura*), Ficus spp, entre otros.	
CRITERIOS ECOLOGICOS DE APLICACIÓN URBANA RECURSO PAISAJE		
URB-43	Las áreas verdes y en las áreas urbanas de conservación, deberán contar con el equipamiento adecuado para evitar la contaminación por residuos sólidos, ruido, aguas residuales y fecalismo al aire libre.	Las dunas artificiales y superficies revegetadas contarán con delimitación temporal, señalización y pasos peatonales definidos. Se instalarán dos puntos temporales para residuos, con contenedores de 200 L provistos de tapa e identificación. El personal utilizará los servicios sanitarios del hotel, evitando fecalismo al aire libre. No se permitirán residuos, descargas o actividades ruidosas innecesarias en las áreas restauradas.
URB-44	Las autorizaciones municipales para el uso de suelo en los predios colindantes a la zona federal marítimo terrestre y las concesiones de zona federal marítimo terrestre otorgadas por la Federación, deberán ser congruentes con los usos de suelo de la zona que expida el Estado o Municipio.	Las obras ubicadas en playa seca y ZOFEMAT se sujetarán a la regulación de uso del suelo y a las autorizaciones correspondientes. La concesión de ZOFEMAT para el frente de playa se encuentra en trámite mediante la solicitud ingresada en enero de 2025, con número de bitácora 09/KU-0018/01/25. La ejecución de las obras estará condicionada a contar con los títulos, permisos y autorizaciones aplicables.
URB-45	Para recuperar el paisaje y compensar la pérdida de vegetación en las zonas urbanas, en las actividades de reforestación designadas por la autoridad competente, se usarán de manera prioritaria especies nativas acordes a cada ambiente.	El Proyecto cumple con el criterio, ya que la revegetación de las dunas artificiales utilizará aproximadamente 1,350 ejemplares de especies nativas propias del ambiente costero. No se introducirán especies ornamentales exóticas o invasoras.
URB-46	El establecimiento de actividades de la industria concretera y similares debe ubicarse a una distancia mínima de 500 metros del asentamiento humano más próximo y debe contar con barreras naturales perimetrales para evitar la dispersión de polvos.	No resulta aplicable. No se instalarán plantas concreteras ni se utilizarán tetrápodos o estructuras masivas de concreto. Las obras de protección estarán conformadas por geotextiles rellenos con arena.
URB-47	Se establecerán servidumbres de paso y accesos a la zona federal marítimo terrestre y el libre paso por la zona federal a una distancia máxima de 1000 metros entre estos accesos, de conformidad con la Ley de Bienes Nacionales y el	El Proyecto no restringirá el libre tránsito por la ZOFEMAT. Los seis pasos elevados permitirán mantener accesos ordenados hacia la playa, al tiempo que evitarán el pisoteo de las dunas revegetadas. La delimitación temporal de los frentes se retirará al concluir la construcción.

	Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar.	
URB-48	En las áreas de aprovechamiento proyectadas se debe mantener en pie la vegetación arbórea y palmas de la vegetación original que por diseño del proyecto coincidan con las áreas destinadas a camellones, parques, áreas verdes, jardines, áreas de donación o áreas de equipamiento, de tal forma que estos individuos se integren al proyecto.	No se removerán árboles o palmas de vegetación original para ejecutar las obras. Las superficies destinadas a las dunas se encuentran en playa seca y áreas previamente intervenidas. La vegetación que se incorpore será nativa y se integrará al diseño de restauración.
URB-49	Los proyectos que pretendan realizarse en predios que colinden con playas aptas para la anidación de tortugas marinas deberán incorporar medidas preventivas que minimicen el impacto negativo a estos animales tanto durante la temporada de arribo y anidación de las hembras como durante el período de desarrollo de los huevos y eclosión de las crías.	Aunque no existen registros o avistamientos confirmados de tortugas marinas en el frente del hotel, su posible presencia o anidación no puede descartarse. En aplicación del principio precautorio, antes de habilitar cada frente terrestre se verificará la presencia de ejemplares, rastros, nidos o indicios de anidación. Si se detecta alguno, se suspenderán las actividades en el área inmediata, no se manipulará el nido o ejemplar y se notificará al responsable del programa autorizado de protección de tortugas marinas y, cuando corresponda, a la autoridad competente.
URB-50	Las especies recomendadas para la reforestación de dunas son: plantas rastreras*: Ipomea pes-caprae, Sesuvium portulacastrum,* herbáceas*: Ageratum littorale, Erythalis fruticosa* y arbustos: *Tournefortia gnaphalodes, Suriana maritima y Coccoloba uvifera* y Palmas *Thrinax radiata, Coccothrinax readii.*	La propuesta de revegetación es congruente con el criterio. Se utilizarán *Ipomoea pes-caprae, Sesuvium portulacastrum y Suriana maritima*, expresamente recomendadas, además de *Canavalia rosea, Sporobolus virginicus, Uniola paniculata y Scaevola plumieri*, todas propias de ambientes costeros. La distribución incluirá especies rastreras y pioneras en el talud frontal, herbáceas y gramíneas en las zonas media y alta y arbustos hacia la porción terrestre.

URB-51	URB-51. La selección de sitios para la rehabilitación de dunas y la creación de infraestructura de retención de arena deberá considerar la evidencia de dunas durante los últimos 20 años, dirección de los vientos, presencia de zonas pioneras y arena seca, características de las cercas de retención y reforestación de las dunas rehabilitadas.	La selección de sitios para la rehabilitación de dunas y la creación de infraestructura de retención de arena deberá tomar en cuenta los siguientes criterios: que haya evidencia de la existencia de dunas en los últimos 20 años; que los vientos prevalecientes soplen en dirección a las dunas; que existan zonas de dunas pioneras o embrionarias en playas con arena seca; que las cercas de retención sean biodegradables, con altura aproximada de 1.20 m, 50 % de porosidad y paralelas a la costa; y que las dunas rehabilitadas sean reforestadas. El Proyecto resulta congruente con los objetivos de este criterio, debido a que la selección del sitio para la conformación de las seis dunas artificiales se sustenta en la evidencia histórica del componente dunar, en las condiciones regionales de viento, en la restitución de una superficie de playa seca que podrá participar en el transporte eólico de sedimentos y en la revegetación con especies costeras nativas. En relación con la existencia histórica de dunas, la revisión de las imágenes de Google Earth correspondientes a octubre de 2005 y septiembre de 2006 permite identificar que el frente costero donde actualmente se localiza el Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa presentaba una franja arenosa considerablemente más amplia que la observada en las condiciones actuales. Sobre esta superficie se distinguen acumulaciones arenosas elevadas, con cobertura vegetal discontinua y formas paralelas y subparalelas a la línea de costa, cuyas características son compatibles con la morfología de cordones dunares costeros.  Figura 5. Condición histórica del sistema playa-duna en el frente costero donde actualmente se localiza el Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, en octubre de 2005. Se observa una extensa superficie arenosa con cobertura vegetal discontinua y acumulaciones elevadas compatibles con cordones dunares. Fuente: imagen histórica de Google Earth, Maxar Technologies. La imagen de septiembre de 2006 muestra con mayor claridad la presencia de extensas superficies arenosas parcialmente

		cubiertas por vegetación, así como elevaciones y cordones de configuración irregular que se desarrollaban detrás de la playa. Esta condición constituye evidencia cartográfica de que el componente dunar formó parte de la configuración histórica del sistema costero antes del desarrollo y consolidación de la infraestructura turística existente.  Figura 6. Evidencia histórica del sistema dunar en el frente costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, en septiembre de 2006. Se distinguen acumulaciones arenosas con vegetación irregular y formas paralelas y subparalelas al litoral, compatibles con un sistema de dunas costeras. Fuente: imagen histórica de Google Earth, Maxar Technologies. Las imágenes históricas no constituyen levantamientos topográficos y, por tanto, no permiten determinar con precisión la altura, volumen, pendiente o delimitación de las antiguas dunas. No obstante, sí aportan evidencia cartográfica suficiente para reconocer la existencia histórica de superficies arenosas vegetadas y de una morfología dunar en el mismo frente costero. Esta evidencia se complementa con la muestra de sedimento No. 3, permiten acreditar la presencia del componente dunar dentro del periodo de 20 años considerado por el criterio. La comparación entre las condiciones históricas y actuales muestra que la franja arenosa y el componente dunar han experimentado una reducción y fragmentación asociadas con los procesos de erosión litoral. Por ello, las dunas propuestas no deben interpretarse como la introducción de un elemento ajeno al paisaje costero, sino como una medida destinada a restablecer, mediante estructuras artificiales revegetadas, un componente históricamente presente y actualmente degradado.

Respecto de la dirección de los vientos prevalecientes, la Memoria Técnica de Modelaje contiene un análisis de aproximadamente 39 años de información, correspondiente al periodo comprendido entre enero de 1979 y noviembre de 2018. Los datos fueron obtenidos del nodo 20.5° N, 86° O del modelo de reanálisis WaveWatch III de la NOAA, localizado en aguas profundas frente a la costa de Puerto Morelos. El análisis anual y estacional identifica una dirección predominante de los vientos procedente del este.

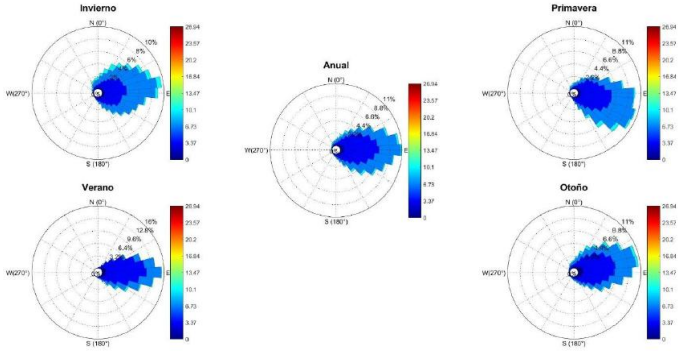


Figura 7. Rosas de viento anual y estacionales correspondientes a la región costera donde se localiza el Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa. El análisis identifica el predominio de vientos procedentes del este. Fuente: Memoria Técnica de Modelaje, con datos de reanálisis WaveWatch III de la NOAA para el periodo enero de 1979-noviembre de 2018.

Debido a que el frente costero del Proyecto se encuentra orientado hacia el Mar Caribe, los vientos procedentes del este presentan una componente predominante desde el mar hacia la porción continental. Esta condición favorece el transporte eólico de arena desde la playa seca hacia la zona donde se conformarán las dunas artificiales, particularmente cuando el material superficial pierde humedad y puede ser movilizado por el viento.

La información sobre viento se utiliza exclusivamente como antecedente de las condiciones atmosféricas regionales del mismo sitio. No se trasladan al Proyecto actual las conclusiones de modelación obtenidas para estructuras u obras diferentes, debido a que la configuración rectora es la establecida en el Capítulo I para el Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa.

En cuanto a la disponibilidad de arena seca y al establecimiento de zonas pioneras, las condiciones erosivas actuales han reducido y, en algunos sectores, eliminado la continuidad de la playa seca y de las formaciones dunares. Precisamente por ello, el Proyecto considera una secuencia integral de restauración.

		Inicialmente se instalarán las barreras de contención y rompeolas para disminuir parcialmente la energía del oleaje y favorecer la retención de sedimentos. Posteriormente se realizará el vertido, extendido y nivelación de aproximadamente 8,084.43 m³ de arena dentro de los polígonos V1 y V2, sobre una superficie conjunta de 2,569.75 m². La restitución de este perfil permitirá conformar una franja de playa seca que, además de funcionar como zona de amortiguamiento, constituirá una fuente potencial de sedimentos susceptibles de ser transportados por el viento hacia las dunas. Una vez establecido el perfil arenoso previsto, se conformarán seis secciones de duna artificial, cada una de aproximadamente 30.00 m de longitud por 3.00 m de ancho, con una superficie conjunta de 540.00 m². Las dunas estarán integradas por núcleos de geotextil rellenos con arena y cubiertos completamente con material arenoso, de manera que el geotextil no permanezca expuesto al ambiente. La cubierta proporcionará un sustrato adecuado para la revegetación y permitirá generar una transición física entre la playa seca y la porción terrestre. Para favorecer la formación de condiciones equivalentes a una zona dunar pionera, las superficies frontales y más expuestas al viento serán revegetadas principalmente con especies rastreras y fijadoras de arena, como *Ipomoea pes-caprae, Canavalia rosea y Sesuvium portulacastrum.* En las zonas media y alta se incorporarán *Sporobolus virginicus y Uniola paniculata*, mientras que hacia la porción posterior se establecerán elementos arbustivos como *Scaevola plumieri y Suriana maritima.* La distribución de estas especies permitirá interceptar y retener parte de la arena transportada por el viento, reducir su movilidad superficial, favorecer la acumulación gradual de sedimentos y estabilizar progresivamente la cubierta arenosa. De esta manera, la recuperación del componente dunar no dependerá únicamente del núcleo estructural, sino también del establecimiento de vegetación nativa y de su interacción con el transporte eólico. El Proyecto no contempla instalar cercas convencionales para la retención de arena. Por consiguiente, las especificaciones del criterio relativas a que dichas cercas sean biodegradables, tengan una altura aproximada de 1.20 m, una porosidad del 50 % y se dispongan paralelamente a la costa no resultan aplicables al diseño propuesto. Los núcleos de geotextil no funcionarán

		como cercas expuestas, sino como elementos internos de soporte que permanecerán cubiertos con arena y vegetación. Las cuerdas, postes y señalamientos utilizados durante el establecimiento vegetal serán temporales y tendrán exclusivamente la finalidad de evitar el pisoteo y el tránsito fuera de los pasos autorizados. Finalmente, el Proyecto atiende expresamente la disposición relativa a la reforestación de las dunas. Las seis secciones artificiales serán revegetadas con aproximadamente 1,350 ejemplares de especies costeras nativas, distribuidos de manera irregular y en tresbolillo. Durante su establecimiento se utilizará temporalmente riego por goteo de bajo caudal con agua dulce; posteriormente, la frecuencia de riego se reducirá hasta retirar completamente el sistema. Se realizará el seguimiento de la supervivencia, cobertura, vigor y condición fitosanitaria de las plantas, procurando alcanzar una supervivencia mínima del 80 % al finalizar el primer año y reponiendo los ejemplares muertos con plantas nativas equivalentes. En conclusión, el sitio seleccionado cumple con la finalidad ambiental del criterio URB-51, debido a que existe evidencia histórica y reciente de la presencia del componente dunar; los vientos predominantes del este presentan una componente desde el mar hacia tierra que favorece el transporte eólico de arena; la restauración de V1 y V2 permitirá restituir una superficie de playa seca que funcionará como fuente potencial de sedimentos; y las seis dunas artificiales serán cubiertas con arena y revegetadas con especies nativas pioneras, gramíneas y arbustos costeros. En consecuencia, el Proyecto permitirá restablecer progresivamente funciones de retención de arena, estabilización del sustrato, recuperación de cobertura vegetal y amortiguamiento del frente litoral.

URB-52	En las playas de anidación de tortugas marinas se deben realizar las siguientes medidas precautorias: • Evitar la remoción de la vegetación nativa y la introducción de especies exóticas en el hábitat de anidación. • Favorecer y propiciar la regeneración natural de la comunidad vegetal nativa y el mantenimiento de la dinámica de acumulación de arena del hábitat de anidación. • Retirar de la playa, durante la temporada de anidación, cualquier objeto movible que tenga la capacidad de atrapar, enredar o impedir el paso de las tortugas anidadoras y sus crías. • Eliminar, reorientar o modificar cualquier instalación o equipo que durante la noche genere una emisión o reflexión de luz hacia la playa de anidación o cause resplandor detrás de la vegetación costera, durante la época de anidación y emergencia de crías de tortuga marina. • Orientar los tipos de iluminación que se instalen cerca de las playas de anidación, de tal forma que su flujo luminoso sea dirigido hacia abajo y fuera de la playa, usando alguna de las siguientes medidas para la mitigación del impacto: a) Luminarias direccionales o provistas de mamparas o capuchas. b) Focos de bajo voltaje (40 watts) o lámparas fluorescentes compactas de luminosidad equivalente. c) Fuentes de luz de coloración amarilla o roja, tales como las lámparas de vapor de sodio de baja presión. Tomar medidas para mantener fuera de la playa de anidación, durante la temporada de anidación, el tránsito vehicular y el de cualquier animal doméstico que pueda perturbar o lastimar a las hembras, nidadas y crías. Sólo pueden circular los vehículos destinados para tareas de monitoreo y los correspondientes para el manejo protección de las tortugas marinas, sus nidadas y crías.	Se aplicarán medidas precautorias para tortugas marinas aun cuando no existan registros confirmados de anidación. No se removerá vegetación nativa; las dunas serán revegetadas con especies costeras locales; se retirarán diariamente equipos, materiales y objetos móviles que puedan obstaculizar el tránsito; no se permitirá circulación vehicular innecesaria ni animales domésticos en los frentes; y las actividades se realizarán preferentemente durante el día. En caso de requerirse iluminación temporal, será dirigida hacia abajo y en sentido contrario al mar, de baja intensidad y coloración cálida. La detección de rastros, nidos, hembras o crías implicará la suspensión inmediata de las actividades en el área correspondiente.

URB-53	Las obras y actividades que son susceptibles de ser desarrolladas en las dunas costeras deberán evitar la afectación de zonas de anidación y de agregación de especies, en particular aquellas que formen parte del hábitat de especies enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010.	Antes de habilitar las dunas artificiales, los pasos y los polígonos de vertido se efectuará una inspección ambiental para comprobar la ausencia de nidos, rastros, refugios o agregaciones de fauna. No existen registros confirmados de anidación, pero la posibilidad se atenderá de manera precautoria. Si se identifica alguna especie protegida o sitio de anidación, se delimitará el área, se suspenderán las maniobras y se aplicarán las medidas determinadas por el personal responsable y la autoridad competente.
URB-54	En las dunas no se permite la instalación de tuberías de drenaje pluvial, la extracción de arena, ni ser utilizadas como depósitos de la arena o sedimentos que se extraen de los dragados que se realizan para mantener la profundidad en los canales de puertos, bocas de lagunas o lagunas costeras.	No se instalarán tuberías permanentes de drenaje pluvial dentro de las dunas. Tampoco se extraerá arena de dunas naturales o artificiales. La arena utilizada procederá del Banco IRRM y no de dragados de canales portuarios, bocas de lagunas o lagunas costeras. La conducción y el riego serán temporales y sus mangueras se retirarán al concluir las actividades.
URB-55	La construcción de infraestructura permanente o temporal debe quedar fuera de las dunas pioneras (embrionarias).	En el frente del Proyecto no se identifican dunas pioneras o embrionarias naturales. Las dunas serán creadas artificialmente como parte del Proyecto. La bodega, los puntos de residuos, equipos de bombeo y demás instalaciones provisionales se ubicarán en superficies previamente intervenidas, fuera de posibles zonas de anidación y fuera del alcance ordinario del oleaje.
URB-56	En las dunas primarias podrá haber construcciones de madera o material degradable y piloteadas (p.e. casas tipo palafito o andadores), detrás de la cara posterior del primer cordón y evitando la invasión sobre la corona o cresta de estas dunas. El pilotaje deberá ser superficial (hincado a golpes), no cimentado y deberá permitir el crecimiento de la vegetación, el transporte de sedimentos y el paso de fauna, por lo que se recomienda que tenga al menos un metro de elevación respecto al nivel de la duna. Esta recomendación deberá revisarse en regiones donde hay fuerte incidencia de huracanes, ya que en estas áreas constituyen un sistema importante de protección, por lo que se recomienda, después de su valoración específica, dejar inalterada esta sección del sistema de dunas.	Los seis pasos de duna serán construidos con madera dura regional de procedencia legal y mediante apoyos puntuales. Se ubicarán en las discontinuidades previstas entre las secciones de duna, evitando invadir sus coronas. Tendrán una elevación aproximada de 0.50 a 1.00 m, ajustada al perfil definitivo de cada sección. Esta separación permitirá el transporte de arena, el drenaje y el desplazamiento de fauna menor. La recomendación de un metro se atenderá particularmente en las secciones donde la altura final de la duna lo permita, mientras que las menores elevaciones corresponderán a transiciones y rampas de acceso.

URB-57	La restauración de playas deberá realizarse con arena que tenga una composición química y granulometría similar a la de la playa que se va a rellenar. El material arenoso que se empleará en la restauración de playas deberá tener la menor concentración de materia orgánica, arcilla y limo posible para evitar que el material se consolide formando escarpes pronunciados en las playas por efecto del oleaje.	La arena procederá exclusivamente del Banco IRRM. La muestra Puerto Morelos M1 presenta D_{16}=0.31 mm, D_{50}=0.39 mm y D_{89}= 0.49 mm, así como únicamente 0.80 % de partículas menores de 0.075 mm. Su diámetro medio se encuentra dentro del intervalo granulométrico observado en la playa receptora: aproximadamente 0.17–0.18 mm en la muestra de la zona dunar y aproximadamente 0.50 mm en la zona de lavado. En consecuencia, el material presenta compatibilidad granulométrica preliminar con el sistema playa-duna y una baja proporción de finos. Antes de su colocación se verificará que la arena se encuentre limpia, libre de residuos y contaminantes y con una concentración mínima de materia orgánica, limo y arcilla.
URB-58	Se prohíbe la extracción de arena en predios ubicados sobre la franja litoral del municipio con cobertura de matorral costero.	El Proyecto cumple con el criterio. No se extraerá arena de predios ubicados en la franja litoral, playas naturales, dunas o superficies con matorral costero. La extracción se realizará exclusivamente dentro del polígono marino del Banco IRRM, conforme al espesor, volumen y condiciones autorizadas.
URB-59	En las áreas verdes los residuos vegetales producto de las podas y deshierbes deberán incorporarse al suelo después de su composteo. Para mejorar la calidad del suelo y de la vegetación.	La vegetación dunar se dejará crecer con su morfología natural y no estará sujeta a podas ornamentales. El mantenimiento consistirá principalmente en reposición de ejemplares muertos y retiro manual de especies invasoras. Si se generan residuos vegetales durante estas actividades, serán recolectados y podrán incorporarse a un esquema de composteo; no serán abandonados o enterrados directamente en la playa.

II.5 INSTRUMENTOS DE CARÁCTER MUNICIPAL

II.5.1 Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Puerto Morelos, Quintana Roo (2026)

El Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Puerto Morelos, Quintana Roo, publicado el 19 de febrero de 2026, constituye el instrumento de planeación que establece la estrategia general para ordenar el territorio municipal y orientar su desarrollo bajo principios de sustentabilidad ambiental, resiliencia, prevención de riesgos, adaptación al cambio climático y aprovechamiento responsable de los recursos naturales. Su publicación y vigencia se encuentran reconocidas en el registro oficial de programas de desarrollo urbano de la Secretaría de Desarrollo Territorial Urbano Sustentable del Estado de Quintana Roo. SEDETUS: Programas de Desarrollo Urbano

Debe precisarse que, en esa misma fecha, también fue publicado el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Puerto Morelos. Ambos instrumentos tienen alcances complementarios: mientras que el PMDU establece la estrategia territorial general para el municipio, el programa del centro de población contiene la regulación urbana más específica respecto de la zonificación, usos y destinos del suelo y parámetros aplicables dentro de su ámbito territorial. Por tanto, la presente vinculación se refiere a la congruencia estratégica del Proyecto con el PMDU, sin sustituir el análisis particular que corresponda al programa del centro de población.

El Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa se desarrollará en la playa y zona marina somera frente a un establecimiento turístico existente en Bahía de Petempich. Comprende la instalación de 14 geotubos en las barreras de contención C1 y C2; 18 geotubos dispuestos como barreras rompeolas discontinuas; el vertido controlado de 8,084.43 m^3 de arena en los polígonos V1 y V2; la conformación de seis secciones de duna artificial; la revegetación de 540.00 m^2 mediante aproximadamente 1,350 ejemplares de especies nativas; la construcción de seis pasos elevados sobre las dunas y el aprovechamiento de arena procedente del Banco IRRM.

Las obras propuestas no tienen por objeto establecer un nuevo desarrollo turístico, ampliar el número de habitaciones del hotel ni incrementar la densidad o intensidad urbana del predio. Tampoco consideran la construcción de nuevos edificios, vialidades, estacionamientos, equipamiento urbano o infraestructura permanente de servicios. En consecuencia, el Proyecto no constituye una acción de expansión urbana ni representa un cambio en el uso turístico existente, sino una intervención ambiental y de ingeniería costera dirigida a atender la pérdida de playa, estabilizar el perfil litoral y recuperar la función protectora del sistema playa-duna.

Aunque el PMDU no establece lineamientos constructivos particulares para geotubos, rellenos costeros, barreras rompeolas o proyectos de restauración de playas, ello no significa que estas obras se encuentren exentas de regulación. Su compatibilidad debe determinarse a partir de su congruencia con los principios de ordenamiento territorial, protección ambiental, resiliencia, adaptación climática y reducción de riesgos establecidos por el programa, así como mediante el cumplimiento de los instrumentos ambientales, costeros, marítimos y urbanos aplicables.

En materia de sustentabilidad ambiental, el Proyecto responde a un proceso de erosión que ha reducido progresivamente la amplitud y estabilidad de la playa frente al hotel. Su finalidad no se limita al mejoramiento paisajístico o al incremento del atractivo turístico, sino que busca restablecer parte del perfil costero, favorecer la retención de sedimentos, disminuir la exposición del frente de playa ante el oleaje y recuperar una franja de duna con vegetación nativa.

La conformación de seis secciones de duna artificial es congruente con el propósito de recuperar las funciones ambientales y de protección que estos elementos proporcionan al litoral. La cobertura arenosa y la incorporación de vegetación nativa contribuirán a retener el sedimento, disminuir su

movilización por el viento, mejorar la estabilidad superficial de las dunas y restablecer una barrera física frente al oleaje y los eventos hidrometeorológicos. Los seis pasos elevados permitirán el tránsito controlado entre el hotel y la playa sin establecer recorridos directamente sobre las áreas revegetadas, reduciendo el pisoteo, la compactación del sustrato y la fragmentación de la cobertura vegetal.

El Proyecto también es congruente con el enfoque de resiliencia territorial del PMDU, debido a que sus obras se orientan a reducir la vulnerabilidad de un frente costero sujeto a procesos de erosión y a la incidencia de tormentas y ciclones tropicales. Las barreras de contención y los rompeolas de geotubos tendrán la función de favorecer la permanencia del material arenoso y disminuir parcialmente la energía del oleaje incidente. Su disposición discontinua permite conservar espacios de circulación del agua, evitando formar una barrera impermeable continua en la zona marina.

Por su parte, el vertido de arena en V1 y V2 permitirá recuperar parcialmente el perfil de playa y proporcionar el material necesario para la estabilización del litoral. La arena provendrá exclusivamente del Banco IRRM y será utilizada como material constructivo y de restauración. Su colocación se limitará a los volúmenes y polígonos definidos en el Capítulo I y deberá ejecutarse de manera controlada para evitar la dispersión innecesaria de sedimentos fuera de las áreas de trabajo.

Durante el hidrollenado de los geotubos se utilizará únicamente agua marina, sin aditivos químicos. El agua retornará al medio a través de la superficie filtrante del geotextil, mientras que la fracción arenosa quedará retenida en el interior de las estructuras. Este procedimiento disminuye la introducción de sustancias ajenas al ambiente marino y deberá complementarse con el control de la turbidez y la suspensión temporal de los trabajos cuando se advierta una dispersión de sedimentos fuera del área autorizada.

Desde el punto de vista de la ocupación territorial, las obras se concentran en el frente costero de un desarrollo turístico existente y no implican la apertura de nuevas áreas urbanizables. De acuerdo con la cartografía de Uso del Suelo y Vegetación, Serie VII, de INEGI, las porciones terrestre y costera inmediatas al Proyecto corresponden a un entorno identificado como asentamiento humano, mientras que las obras marinas se ubican en el cuerpo de agua. Esta clasificación constituye una referencia sobre la cobertura territorial existente y no debe confundirse con la zonificación urbana asignada por el programa del centro de población.

El Proyecto no se superpone con vegetación de manglar ni contempla su remoción, poda, relleno o trasplante. Las formaciones de manglar identificadas cartográficamente se localizan hacia la porción continental, en terrenos diferentes al frente de playa intervenido. Las obras se desarrollarán hacia la costa y el medio marino, sin ocupar los humedales continentales ni establecer canales, terraplenes, vialidades o infraestructura que interrumpa su conectividad hidrológica. Por ello, la ejecución del Proyecto no representa una expansión urbana sobre áreas de manglar o humedal costero.

Respecto de la biodiversidad, las actividades deberán desarrollarse bajo un esquema preventivo. Aunque no se han registrado avistamientos de tortugas marinas en el área inmediata, su presencia eventual no puede descartarse, por lo que las actividades de vertido, conformación de playa y construcción de dunas deberán acompañarse de medidas de vigilancia, recorridos previos, control de iluminación, restricción de maquinaria y aplicación de protocolos de protección durante la temporada reproductiva. De igual manera, las obras marinas deberán ejecutarse con medidas para evitar la afectación de fauna acuática y la dispersión de residuos o fragmentos de geotextil.

El componente denominado Banco IRRM se encuentra en el medio marino y no constituye una superficie destinada a urbanización. Su aprovechamiento se relaciona exclusivamente con el suministro de arena para las obras de restauración y estabilización litoral, por lo que no representa un cambio de uso del suelo urbano. Las actividades asociadas a este banco estarán sujetas a las autorizaciones ambientales y marítimas aplicables y a las condiciones que establezcan las autoridades competentes.

La ejecución del Proyecto deberá acompañarse de seguimiento topográfico, batimétrico, fotográfico y ambiental para verificar el comportamiento del relleno, la estabilidad de los geotubos, la evolución de la línea de costa, la permanencia de las dunas artificiales y el establecimiento de la vegetación. Este seguimiento permitirá identificar oportunamente cualquier modificación no prevista y adoptar medidas de mantenimiento o corrección, especialmente ante la posibilidad de que las obras produzcan cambios en el transporte litoral o en la distribución del sedimento.

Asimismo, la intervención no deberá trasladar los procesos erosivos hacia los predios colindantes. En caso de que el seguimiento identifique pérdida de playa, acumulaciones anómalas, exposición de los geotubos o modificaciones adversas fuera de los polígonos autorizados, deberán adoptarse medidas correctivas, privilegiando soluciones compatibles con la dinámica natural del litoral.

En cuanto a la situación jurídica del frente costero, la concesión de Zona Federal Marítimo Terrestre se encuentra en trámite mediante la solicitud ingresada en enero de 2025, con número de bitácora 09/KU-0018/01/25. La existencia de esta solicitud no equivale al otorgamiento de la concesión ni autoriza por sí misma la ocupación o ejecución de las obras, por lo que deberán observarse las condiciones y resoluciones que emitan las autoridades competentes. De igual manera, la autorización en materia de impacto ambiental no sustituirá las concesiones, permisos marítimos, autorizaciones de ocupación ni demás actos administrativos requeridos.

Por lo anterior, se concluye que el Proyecto resulta congruente, en términos estratégicos, con los principios de sustentabilidad, resiliencia territorial, adaptación al cambio climático, protección ambiental y gestión integral del riesgo establecidos en el Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Puerto Morelos, Quintana Roo, debido a que atiende un proceso de erosión existente, recupera parcialmente el sistema playa-duna, incorpora vegetación nativa, no promueve la expansión urbana y no incrementa la densidad turística del predio.

Esta congruencia no debe interpretarse como una autorización urbanística o ambiental automática. La viabilidad definitiva dependerá del cumplimiento de la zonificación y disposiciones específicas del Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Puerto Morelos, así como de las autorizaciones ambientales, costeras, marítimas y de ocupación de bienes nacionales que resulten aplicables.

II.6 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS: PARQUE NACIONAL ARRECIFE DE PUERTO MORELOS

Las Áreas Naturales Protegidas son porciones terrestres o acuáticas del territorio nacional representativas de distintos ecosistemas, en las cuales los ambientes originales no han sido significativamente alterados por las actividades humanas, o bien requieren ser preservados, restaurados y sujetos a un régimen especial de protección y manejo. Las obras y actividades que se desarrollen dentro de ellas deberán ajustarse a su decreto de creación, programa de manejo, zonificación, reglas administrativas y demás disposiciones jurídicas aplicables.

Mediante Decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación el 2 de febrero de 1998 se declaró Área Natural Protegida, con la categoría de Parque Nacional, la región denominada Arrecife de Puerto Morelos, ubicada en el estado de Quintana Roo, con una superficie de 9,066-63-11 hectáreas.

El Parque forma parte de la barrera arrecifal del Caribe mexicano y comprende ambientes de playa, dunas costeras, laguna arrecifal, pastos marinos y formaciones coralinas. Estos ecosistemas mantienen procesos de protección litoral, producción primaria, refugio, alimentación y reproducción de numerosas especies, además de sustentar actividades turísticas, recreativas, científicas y pesqueras.

De acuerdo con el análisis cartográfico del Decreto y la zonificación del Programa de Manejo, el Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa se encuentra dentro del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos.

La relación espacial de los componentes del Proyecto con la zonificación del Parque es la siguiente:

Justificación ambiental de la restauración

El Proyecto atiende un proceso documentado de erosión y retroceso de la línea de costa frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa. El análisis comparativo elaborado para el sitio incorpora líneas de costa correspondientes a agosto de 2005, junio de 2006, julio de 2009, septiembre de 2014, abril de 2015, agosto de 2019 y mayo de 2023, e identifica una erosión promedio aproximada de 25 m de playa.

Este proceso ha disminuido progresivamente la amplitud del frente costero, debilitando la función protectora del sistema playa-duna y aumentando su exposición frente al oleaje, nortes, tormentas tropicales y huracanes. La afectación no se limita a la infraestructura turística existente, sino que comprende la pérdida de servicios ambientales relacionados con la protección litoral, retención de sedimentos, hábitat costero, amortiguamiento de eventos hidrometeorológicos y continuidad del sistema playa-duna.

Por ello, el Proyecto no se plantea como una actuación exclusivamente estética ni como la creación de una superficie recreativa nueva, sino como una intervención de restauración dirigida a recuperar parcialmente un perfil costero históricamente existente, estabilizar el sedimento y restablecer parte de los servicios ambientales perdidos. La conformación de seis secciones de duna artificial y su revegetación con especies nativas forman parte integral de este objetivo.

Vinculación con las Reglas Administrativas del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos

Capítulo I. Disposiciones generales

Tabla 19. Vinculación de las Reglas del Capítulo I del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto.

Regla	Vinculación con el Proyecto
Regla 1. Observancia general de las Reglas Administrativas dentro del Parque.	Resulta aplicable. El Proyecto se encuentra dentro del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos; por tanto, el promovente, contratistas, supervisores, operadores de maquinaria, embarcaciones y demás personal deberán cumplir el Programa de Manejo, su zonificación y reglas administrativas.
Regla 2. Aplicación de las Reglas por la autoridad ambiental.	Resulta aplicable como disposición de competencia. El promovente reconocerá las atribuciones de SEMARNAT, CONANP, PROFEPA y demás autoridades, sin considerar que la autorización de impacto ambiental sustituye otros permisos, concesiones o autorizaciones.
Regla 3. Obligación de cumplir las Reglas y facilitar la inspección y vigilancia.	Resulta aplicable. El personal atenderá las indicaciones de la Dirección del Parque, proporcionará la información requerida y facilitará las acciones de inspección, vigilancia y seguimiento. Se impartirá una inducción ambiental antes de ingresar a los frentes de trabajo.
Regla 4. Definiciones aplicables al Programa de Manejo.	Resulta aplicable como marco interpretativo. Para el Proyecto son relevantes las definiciones de Parque, embarcación, navegación, monitoreo, restauración, manejo, permiso, autorización, concesión y zonificación. Las actividades se interpretarán conforme a estas definiciones y no únicamente conforme a su denominación en el Capítulo I.

Regla	Vinculación con el Proyecto
Regla 5. Facultad para limitar actividades ante riesgos de desequilibrio ecológico.	Resulta aplicable. La autoridad podrá limitar, suspender o modificar las actividades cuando el monitoreo identifique riesgo para la calidad del agua, comunidades bentónicas, pastos marinos, fauna, arrecifes o dinámica litoral. El promovente acatará las medidas adicionales que se determinen.
Regla 6. Condiciones de seguridad proporcionadas por prestadores de servicios e instructores.	No resulta aplicable.

Capítulo II. Permisos, autorizaciones, concesiones y avisos

Tabla 20. Vinculación de las Reglas del Capítulo II del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto.

Regla	Vinculación con el Proyecto
Regla 7. Permisos para servicios recreativos, filmación comercial y pesca deportiva.	No resulta aplicable.
Regla 8. Autorización para aprovechamiento y colecta de flora y fauna, obra pública o privada, restauración, repoblamiento y pesca didáctica.	Resulta directamente aplicable por sus fracciones III y IV. El Proyecto comprende obra privada y actividades de restauración en áreas terrestres y marinas. Las barreras de contención, rompeolas, vertido de arena, dunas, pasos elevados y aprovechamiento del Banco IRRM no podrán ejecutarse sin las autorizaciones correspondientes. La autorización deberá reconocer expresamente la naturaleza restaurativa de las obras y su congruencia con el Programa de Manejo.
Regla 9. Concesiones para aguas nacionales, ZOFEMAT y pesca o acuacultura comercial.	Resulta aplicable respecto del uso de la ZOFEMAT. La solicitud de concesión se encuentra en trámite desde enero de 2025, con bitácora **09/KU-0018/01/25**. Esta solicitud no equivale al otorgamiento de la concesión. El Proyecto no contempla pesca ni acuacultura comercial.
Regla 10. Aviso previo para investigación, monitoreo científico y educación ambiental.	Resulta aplicable a las actividades de monitoreo topográfico, batimétrico, fotográfico, biológico y ambiental. Antes de efectuarlas se dará el aviso correspondiente a la Dirección del Parque, cuando proceda.
Regla 11. Requisitos para permisos de prestación de servicios recreativos.	No resulta aplicable.

Regla	Vinculación con el Proyecto
Regla 12. Temporalidad y refrendo de permisos para servicios recreativos.	No resulta aplicable.
Regla 13. Plazo para otorgar o negar permisos de servicios recreativos.	No resulta aplicable.
Regla 14. Evaluación de requisitos para otorgar permisos de servicios recreativos.	No resulta aplicable.
Regla 15. Refrendo y evaluación de permisos de servicios recreativos.	No resulta aplicable.
Regla 16. Requisitos para permisos de filmación, videograbación y fotografía comercial o cultural.	No resulta aplicable. La fotografía técnica destinada al registro y seguimiento ambiental del Proyecto no tendrá como finalidad una producción comercial o cultural.
Regla 17. Anticipación para solicitar permisos de filmación y fotografía.	No resulta aplicable.
Regla 18. Plazo de resolución de permisos de filmación y fotografía.	No resulta aplicable.

Capítulo III. Embarcaciones

Tabla 21. Vinculación de las Reglas del Capítulo III del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto.

Regla	Vinculación con el Proyecto
Regla 19. Permisos de embarcaciones para prestar servicios recreativos.	No resulta aplicable. Las embarcaciones asociadas al Proyecto serán de apoyo técnico y no prestarán servicios recreativos. Lo anterior no las exime de contar con los permisos marítimos y de navegación correspondientes.
Regla 20. Condiciones mecánicas, de seguridad y prevención de contaminación.	Resulta aplicable. Las embarcaciones deberán encontrarse en condiciones mecánicas adecuadas, sin fugas, con dispositivos de seguridad, materiales para atender derrames y mecanismos para impedir descargas contaminantes.
Regla 21. Portación de permisos de embarcaciones autorizadas.	Resulta aplicable. Las embarcaciones que requieran autorización deberán llevar a bordo copia de los permisos

Regla	Vinculación con el Proyecto
	correspondientes y exhibirlos cuando sean solicitados por la autoridad.
Regla 22. Prohibición de utilizar embarcaciones sobre formaciones coralinas o sitios de nado.	Resulta aplicable. Las embarcaciones de apoyo circularán exclusivamente por rutas autorizadas, fuera de formaciones coralinas y áreas ocupadas por bañistas.
Regla 23. Embarcaciones autorizadas para servicios de buceo, deportes acuáticos y recorridos.	No resulta aplicable.
Regla 24. Condiciones para recorridos en embarcaciones biplaza.	No resulta aplicable.
Regla 25. Contenedores para aguas residuales en embarcaciones con sanitarios.	Resulta aplicable cuando las embarcaciones utilizadas cuenten con sanitarios. Las aguas residuales permanecerán contenidas y serán descargadas únicamente fuera del Parque, en instalaciones autorizadas.
Regla 26. Trampas de grasa o mecanismos para evitar contaminación de sentinas.	Resulta aplicable. Las embarcaciones dispondrán de sistemas que impidan que las aguas de sentina se mezclen con combustibles, aceites o grasas.
Regla 27. Prohibición de mantenimiento, limpieza, reparación, abastecimiento de combustible y achique dentro del Parque.	Resulta aplicable. Estas actividades se realizarán fuera del Parque y en instalaciones autorizadas. Solo se atenderán situaciones de emergencia conforme a los protocolos y avisos correspondientes.
Regla 28. Embarcaciones particulares, en tránsito, de auxilio, rescate u oficiales.	Resulta aplicable a las embarcaciones de apoyo que ingresen en tránsito. Aunque no requieran un permiso recreativo, sus actividades deberán respetar la zonificación y reglas del Parque.
Regla 29. Prohibición de anclaje fuera de sitios destinados para ello.	Resulta aplicable. Se realizarán las acciones en zonificaciones permitidas

Capítulo IV. Navegación

Tabla 22. Vinculación de las Reglas del Capítulo IV del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto.

Regla	Vinculación con el Proyecto
Regla 30. Navegación de embarcaciones biplaza por el Canal Nizuc.	No resulta aplicable.

Regla	Vinculación con el Proyecto
Regla 31. Navegación en zonas y velocidades permitidas.	Resulta aplicable. Las embarcaciones respetarán la zonificación, boyas, balizamiento, rutas de navegación y límites de velocidad establecidos.
Regla 32. Anclaje cuando no existan muertos para amarre.	Resulta aplicable de manera condicionada. Cuando resulte indispensable anclar y no exista un muerto autorizado, se verificará que el fondo sea arenoso y se encuentre libre de corales, pastos marinos y fauna bentónica.
Regla 33. Prohibición de navegación y anclaje de embarcaciones mayores.	El Proyecto utilizará embarcaciones menores y compatibles con las profundidades de la laguna arrecifal. No ingresarán embarcaciones mayores, salvo emergencia en los términos establecidos por la Regla.
Regla 34. Velocidad máxima de tres nudos en zonas de amarre, nado, buceo y canal de seguridad.	Las embarcaciones navegarán a una velocidad máxima de tres nudos o sin generar oleaje en las zonas señaladas, especialmente frente al hotel y durante las maniobras.
Regla 35. Actuación cuando las boyas de amarre estén ocupadas.	Resulta aplicable cuando se utilicen boyas del Parque. Las embarcaciones deberán esperar o buscar otro sitio autorizado, sin realizar anclajes improvisados.
Regla 36. Condiciones de navegación en las distintas zonas del Parque.	El tránsito de embarcaciones para traslado de personal, inspección, instalación y mantenimiento se ajustará a las condiciones establecidas para la Zona I y la Zona IV.

Capítulo V. Prestadores de servicios recreativos

Tabla 23. Vinculación de las Reglas del Capítulo V del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto.

Regla	Vinculación con el Proyecto
Regla 37. Prestadores de servicios recreativos originarios de Puerto Morelos.	No resulta aplicable.
Regla 38. Prestadores de servicios turísticos foráneos.	No resulta aplicable.
Regla 39. Obligaciones de prestadores de servicios recreativos y visitantes.	No resulta aplicable.
Regla 40. Información a usuarios sobre el ingreso a un Área Natural Protegida.	No resulta aplicable.

Regla	Vinculación con el Proyecto
Regla 41. Requisitos de guías turísticos.	No resulta aplicable.
Regla 42. Identificación del personal de servicios recreativos.	No resulta aplicable.
Regla 43. Apoyo de prestadores recreativos en inspección y contingencias.	No resulta aplicable.
Regla 44. Seguro de responsabilidad civil de prestadores recreativos.	No resulta aplicable.
Regla 45. Exhibición del permiso de actividades recreativas.	No resulta aplicable.
Regla 46. Desarrollo de servicios recreativos conforme a la zonificación.	No resulta aplicable.
Regla 47. Número máximo de embarcaciones y usuarios de servicios recreativos.	No resulta aplicable.
Regla 48. Responsabilidad de prestadores recreativos por daños ambientales.	No resulta aplicable. Sin perjuicio de ello, el promovente y sus contratistas serán responsables de los daños que pudieran ocasionar conforme a la legislación ambiental general.
Regla 49. Restricciones para tabla vela, tablas de oleaje, canoas y kayaks.	No resulta aplicable.

Capítulo VI. Investigación científica

Tabla 24. Vinculación de las Reglas del Capítulo VI del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto.

Regla	Vinculación con el Proyecto
Regla 50. Colecta, investigación, restauración y monitoreo con autorización.	Los equipos, materiales y procedimientos deberán estar comprendidos en las autorizaciones correspondientes.
Regla 51. Cumplimiento de condicionantes de investigación y colecta.	No resulta aplicable.

Regla	Vinculación con el Proyecto
Regla 52. Entrega de informes y publicaciones derivados de investigación y colecta.	No resulta aplicable.

Capítulo VII. Actividades de buceo

Tabla 25. Vinculación de las Reglas del Capítulo VII del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto.

Regla	Vinculación con el Proyecto
Regla 53. Horarios de buceo diurno y nocturno.	No resulta aplicable.
Regla 54. Uso obligatorio de chaleco salvavidas en buceo libre.	No resulta aplicable.
Regla 55. Distancia de las actividades subacuáticas respecto de formaciones coralinas.	No resulta aplicable a actividades de buceo. Sin embargo, el personal técnico que excepcionalmente realice inspecciones subacuáticas deberá evitar el contacto con corales y conservar una distancia preventiva.
Regla 56. Equipo de seguridad para buceo autónomo.	No resulta aplicable.
Regla 57. Supervisión de buceo comercial.	No resulta aplicable.
Regla 58. Ascenso y descenso de buzos en arenales o ceibadales libres de coral.	No resulta aplicable.
Regla 59. Pruebas de flotabilidad antes de la inmersión.	No resulta aplicable.
Regla 60. Número máximo de usuarios durante buceo diurno.	No resulta aplicable.
Regla 61. Número máximo de usuarios durante buceo nocturno.	No resulta aplicable.

Capítulo VIII. Actividad pesquera

Tabla 26. Vinculación de las Reglas del Capítulo VIII del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto.

Regla	Vinculación con el Proyecto
Regla 62. Sujeción de la pesca a normas y vedas.	No resulta aplicable.
Regla 63. Artes permitidas para pesca de autoconsumo.	No resulta aplicable.

Regla 64. Especies y artes autorizadas para pesca comercial.	No resulta aplicable.
Regla 65. Pesca subacuática de escama con arpón.	No resulta aplicable.
Regla 66. Condiciones de la actividad pesquera por zona.	No resulta aplicable.
Regla 67. Prohibiciones relativas a pesca comercial o deportiva.	No resulta aplicable.

Capítulo IX. Uso y aprovechamiento de la ZOFEMAT

Tabla 27. Vinculación de las Reglas del Capítulo IX del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto.

Regla	Vinculación con el Proyecto
Regla 68. Congruencia y autorización ambiental previa para obras dentro del Parque o ZOFEMAT aledaña.	El Proyecto deberá ser congruente con el Decreto y Programa de Manejo y obtener previamente la autorización en materia de impacto ambiental. Dicha autorización no sustituirá la concesión de ZOFEMAT, autorización de restauración, permisos marítimos ni autorización para aprovechar el Banco IRRM.
Regla 69. Integración paisajística de construcciones en ZOFEMAT.	Resulta aplicable. Las dunas artificiales serán cubiertas con arena y vegetación nativa; los geotextiles permanecerán cubiertos y los pasos elevados utilizarán materiales y acabados acordes con el paisaje costero.
Regla 70. Prohibición de ganado en ZOFEMAT.	No resulta aplicable.
Regla 71. Control de perros, gatos y residuos fecales en ZOFEMAT.	No resulta aplicable.
Regla 72. Prohibición del tránsito de vehículos motorizados en ZOFEMAT.	Las actividades privilegiarán el bombeo, transporte manual, mangueras y carretillas. El ingreso de maquinaria a la playa deberá limitarse a situaciones autorizadas y estrictamente indispensables para la restauración, sin circulación libre ni estacionamiento fuera de los frentes delimitados.

Capítulo X. Zonificación

Tabla 28. Vinculación de las Reglas del Capítulo X del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto.

Regla	Vinculación con el Proyecto
Regla 73. Unidades y subunidades arrecifales.	Resulta aplicable como referencia espacial. Las rutas de embarcaciones, líneas de conducción y polígonos de obra deberán respetar las unidades arrecifales y evitar cualquier contacto con formaciones coralinas.
Regla 74. Establecimiento de las zonas de manejo.	Las etapas 1, 2 y 3, las dunas artificiales y los pasos se encuentran en la **Zona I. Uso Recreativo Intensivo**. El Banco IRRM se localiza en la **Zona IV. Navegación en la Laguna Arrecifal**.

Regla 75. Actividades permitidas y prohibidas conforme a la zonificación del Parque

La Regla 75 establece las actividades permitidas y prohibidas dentro de cada zona de manejo del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. Su aplicación al Proyecto se determina de la siguiente manera:

- Las barreras de contención C1 y C2, los 18 geotubos rompeolas, el vertido de arena en V1 y V2, las seis dunas artificiales, su revegetación y los seis pasos elevados se localizan en la **Zona I. Uso Recreativo Intensivo**.
- El Banco IRRM se localiza en la **Zona IV. Navegación en la Laguna Arrecifal**.

La inclusión de una actividad dentro del listado de actividades permitidas no constituye por sí misma una autorización para ejecutarla. Las actividades deberán contar con los permisos, concesiones y autorizaciones correspondientes y cumplir las prohibiciones generales de la Regla 76.

ZONA I. USO RECREATIVO INTENSIVO

Esta zona se utiliza principalmente para la recreación de playa y la natación. Comprende la Zona Federal Marítimo Terrestre y los primeros 200 m del área marina adyacente desde la Unidad Puerto Morelos hasta la Unidad El Islote, así como los primeros 100 m desde la Unidad El Islote hasta la Unidad Limones, excepto en los pasos de navegación delimitados por profundidades menores de 50 cm.

Tabla 29. Vinculación con las Actividades permitidas en la Zona I.

Actividad permitida	Vinculación específica con el Proyecto
Anclaje	Resulta aplicable únicamente a las embarcaciones de apoyo. El anclaje no podrá realizarse libremente; se efectuará en sitios autorizados o, cuando resulte indispensable, sobre fondos arenosos desprovistos de corales, pastos marinos y otros organismos bentónicos.
Buceo diurno	No resulta aplicable como actividad recreativa. Si se requieren inspecciones subacuáticas para verificar el fondo, geotubos, anclajes o mangueras, éstas serán de carácter técnico, se efectuarán en horario diurno y estarán sujetas a las autorizaciones y medidas de seguridad correspondientes.
Colecta de flora, fauna u otros recursos biológicos con fines científicos o educativos, previa autorización	No resulta aplicable como objetivo del Proyecto. El Proyecto no contempla colecta científica. Si durante el monitoreo se requiriera tomar muestras biológicas o manipular organismos, se solicitará previamente la autorización correspondiente. El rescate ambiental de fauna o vegetación marina se efectuará exclusivamente bajo los programas y autorizaciones aplicables.
Ecoturismo	No resulta aplicable.

Actividad permitida	Vinculación específica con el Proyecto
Educación ambiental	Se impartirá capacitación ambiental al personal sobre las reglas del Parque, protección de arrecifes y pastos marinos, manejo de residuos, tortugas marinas y actuación ante derrames. Esta capacitación interna no representa la prestación de un servicio ecoturístico.
Fotografía y videograbación	Resulta aplicable al registro técnico, fotográfico y audiovisual de las actividades, condiciones iniciales, avance de obra, aplicación de medidas ambientales y seguimiento del litoral.
Investigación y monitoreo	Resulta directamente aplicable. Se efectuará seguimiento topográfico, batimétrico, fotográfico, biológico y ambiental para verificar la estabilidad de los geotubos, evolución de la línea de costa, permanencia del relleno, establecimiento de la vegetación dunar, turbidez y condición de las comunidades marinas. Se dará aviso a la Dirección del Parque y se cumplirán las condicionantes que establezca la autoridad.
Natación	No forma parte de las actividades constructivas. Durante las obras se delimitarán temporalmente los frentes de trabajo para evitar el ingreso de bañistas y prevenir accidentes. Concluidos los trabajos, la ejecución del Proyecto no impedirá el uso recreativo de la playa y la natación dentro de las áreas permitidas.
Navegación a velocidad menor de tres nudos	Las embarcaciones de apoyo navegarán a una velocidad menor de tres nudos dentro de la Zona I, evitando generar oleaje, acercarse a bañistas, afectar organismos marinos o desplazar las mallas antidispersión y líneas de conducción.
Pernocta o campamento en el Parque	No resulta aplicable. No se instalarán campamentos, dormitorios, comedores o instalaciones permanentes para trabajadores dentro del Parque.
Pesca comercial con redes agalleras en condiciones específicas	No resulta aplicable. El Proyecto no contempla pesca comercial y el personal tendrá prohibido realizar actividades pesqueras durante las jornadas de trabajo.
Pesca de autoconsumo únicamente con anzuelo	No resulta aplicable.
Recreación en playa	No constituye una actividad del Proyecto. Durante la construcción se delimitarán temporalmente los frentes activos por razones de seguridad. Una vez concluidas las obras, se mantendrá el uso recreativo de la playa conforme a las disposiciones del Parque.
Restauración	Resulta directamente aplicable y constituye el principal fundamento de compatibilidad con la Zona I. El Proyecto busca atender un retroceso documentado de la línea de costa, recuperar

Actividad permitida	Vinculación específica con el Proyecto
	parcialmente el perfil de playa y restablecer servicios ambientales del sistema playa-duna. Las barreras de contención, geotubos rompeolas, vertido de arena, dunas artificiales, revegetación y pasos elevados forman parte de una estrategia integral de restauración y estabilización litoral. No obstante, su clasificación como restauración deberá ser reconocida expresamente por SEMARNAT y CONANP y no exime del cumplimiento de la Regla 76.

Tabla 30. Vinculación con las Actividades prohibidas en la Zona I

Actividad prohibida	Vinculación específica con el Proyecto
Buceo nocturno	No resulta aplicable. Las inspecciones subacuáticas, en caso de requerirse, se realizarán únicamente en horario diurno.
Navegación de embarcaciones con calado mayor de dos metros	Resulta aplicable. El Proyecto utilizará exclusivamente embarcaciones menores y de bajo calado, compatibles con la profundidad de la zona marina somera. No se permitirá el ingreso de embarcaciones con calado mayor de dos metros.
Pesca	No resulta aplicable como actividad del Proyecto. El personal no podrá pescar, portar artes de pesca, colocar redes, trampas o anzuelos ni capturar organismos. Las modalidades expresamente permitidas por el Programa para usuarios autorizados no forman parte del Proyecto.

ZONA IV. NAVEGACIÓN EN LA LAGUNA ARRECIFAL

Esta zona corresponde a un canal localizado dentro de la laguna arrecifal, alejado de las formaciones coralinas y con profundidades mayores de 1.5 m. Se utiliza para la navegación de embarcaciones de bajo calado. El Banco IRRM se localiza dentro de esta zona.

Tabla 31. Actividades permitidas en la Zona IV

Actividad permitida	Vinculación específica con el Proyecto
Anclaje	Resulta aplicable a las embarcaciones y equipos de apoyo que intervengan en la localización, extracción y conducción de arena desde el Banco IRRM. El anclaje se realizará en sitios autorizados, sobre fondo arenoso y fuera de corales, pastos marinos y comunidades bentónicas sensibles. Las embarcaciones portaran la señalización correspondiente y evitar obstruir el canal de navegación.
Aprovechamiento sustentable de recursos naturales	Resulta directamente aplicable al análisis del Banco IRRM. La arena constituye el recurso natural que será aprovechado para abastecer las obras de restauración y estabilización litoral. Su extracción deberá limitarse al polígono de 35,003 m², al espesor, profundidad

Actividad permitida	Vinculación específica con el Proyecto
	y volumen expresamente autorizados, sin ampliar el área de aprovechamiento ni generar depresiones irregulares. La presencia de esta actividad en el listado de permitidas permite plantear la compatibilidad del aprovechamiento, pero no constituye una autorización automática.
Colecta de flora, fauna u otros elementos biológicos con fines científicos o educativos	No resulta aplicable.
Fotografía y video no submarinos	Resulta aplicable al registro técnico desde embarcaciones o medios aéreos de las actividades realizadas en el Banco IRRM, colocación de señalización, operación de bombas, ubicación de mangueras y medidas de control ambiental.
Investigación y monitoreo	Se realizará seguimiento de la extracción, profundidad, estabilidad del fondo, turbidez, extensión de la pluma de sedimentos, condición de las mallas antidispersión, calidad del agua y presencia de organismos. Los resultados permitirán suspender o ajustar las maniobras cuando se identifique riesgo ambiental.
Navegación a velocidad libre, fuera de formaciones arrecifales	Resulta aplicable a las embarcaciones que trasladarán personal, equipos o materiales hacia el Banco IRRM. Aunque el Programa permita velocidad libre, la navegación se realizará a una velocidad segura, atendiendo las condiciones del oleaje, presencia de otras embarcaciones, fauna marina, mangueras y señalización. En ningún caso se navegará sobre formaciones arrecifales o fuera de los canales autorizados.
Pesca de autoconsumo, únicamente con anzuelo y desde embarcación	No resulta aplicable. El personal del Proyecto tendrá prohibido realizar actividades de pesca durante los trabajos.
Restauración	Resulta aplicable por la relación funcional del Banco IRRM con el Proyecto. La arena será aprovechada exclusivamente para suministrar material a las barreras de geotubos, vertido V1 y V2 y dunas artificiales. Sin embargo, la extracción de arena no adquiere automáticamente el carácter de restauración por destinarse a otra zona. Deberá demostrarse y autorizarse como una actividad necesaria, proporcional y ambientalmente compatible con la restauración litoral, evitando trasladar el impacto desde el frente erosionado hacia el fondo de la laguna arrecifal.

Tabla 32. Vinculación con las Actividades prohibidas en la Zona IV.

Actividad prohibida	Vinculación específica con el Proyecto
Anclaje de artefactos flotantes de salvamento	El Proyecto no contempla la instalación de plataformas recreativas, artefactos flotantes de salvamento o estructuras destinadas al descanso de visitantes. La señalización temporal de las obras deberá contar con autorización y no confundirse con este tipo de artefactos.
Buceo en cualquiera de sus modalidades	No se realizarán actividades de buceo dentro de la Zona IV. La inspección del Banco y de las líneas de conducción deberá efectuarse mediante métodos que no requieran buceo o, si técnicamente fuera indispensable, deberá consultarse y obtenerse previamente la autorización expresa de la Dirección del Parque, debido a la prohibición establecida en esta zona.
Ecoturismo	No resulta aplicable. No se realizarán recorridos turísticos, observación recreativa de fauna o actividades de buceo asociadas con la operación del Banco.
Educación ambiental	No resulta aplicable como actividad abierta al público dentro de la Zona IV. La capacitación interna del personal se realizará fuera del área de extracción.
Fotografía y videograbación submarinas	No se realizarán actividades de fotografía o videograbación submarinas dentro de la Zona IV. El seguimiento se efectuará desde embarcaciones, mediante fotografía no submarina o por otros mecanismos previamente autorizados.
Natación	Resulta aplicable como restricción. Se prohibirá el ingreso de nadadores a las áreas de operación del Banco IRRM y las maniobras se delimitarán mediante señalización para prevenir accidentes. El personal no podrá ingresar al agua nadando para instalar, revisar o reparar mangueras.

PROHIBICIONES Regla 76

La Regla 76 contiene prohibiciones generales aplicables en todo el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, con independencia de la zona de manejo en la que se desarrollen las obras. Por ello, aunque la restauración se encuentre prevista como actividad permitida en las zonas I y IV, su ejecución deberá realizarse sin actualizar los supuestos prohibitivos señalados en esta Regla.

Tabla 33. Vinculación de la Regla 76 del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos con el Proyecto.

Fracción/prohibición	Vinculación con el Proyecto
I. Verter o descargar aguas residuales, aceites, grasas, combustibles, desechos	El Proyecto no contempla la descarga de aguas residuales, aguas sanitarias, aguas oleosas,

Fracción/prohibición	Vinculación con el Proyecto
sólidos, líquidos o de cualquier otro tipo; usar explosivos o cualquier sustancia que pueda ocasionar alteraciones a los ecosistemas; así como tirar o abandonar desperdicios en las playas.	combustibles, lubricantes, residuos líquidos o sólidos en la playa, laguna arrecifal o cualquier otra superficie del Parque. Quedará prohibido abandonar bolsas, envases, cabos, mangueras, fragmentos de geotextil, restos de madera, materiales vegetales o cualquier residuo en la playa o fondo marino. Las embarcaciones, bombas y maquinaria deberán encontrarse en condiciones mecánicas adecuadas y contar con materiales absorbentes, barreras y recipientes para atender derrames. El abastecimiento de combustible y las reparaciones se efectuarán fuera del Parque.
II. El uso de insecticidas, fungicidas y pesticidas, así como la utilización inadecuada de detergentes e hidrocarburos.	La revegetación de las dunas artificiales se realizará mediante especies nativas adaptadas a las condiciones de salinidad, viento y sustrato arenoso, sin utilizar insecticidas, fungicidas, herbicidas o pesticidas dentro del Parque. No se lavarán equipos, herramientas, vehículos o embarcaciones con detergentes en la playa o zona marina. Los combustibles y lubricantes únicamente permanecerán dentro de los depósitos funcionales de los equipos y se manejarán mediante procedimientos que eviten fugas, goteos y escurrimientos.
III. Realizar actividades de dragado o de cualquier otra naturaleza que generen suspensión de sedimentos o provoquen áreas con aguas fangosas o limosas dentro del Parque o zonas aledañas.	Resulta directamente aplicable y constituye una de las restricciones más relevantes para el Proyecto, debido al aprovechamiento del Banco IRRM, hidrollenado de los geotubos y vertido de arena en V1 y V2. Las actividades no se ejecutarán como un dragado abierto o indiscriminado, sino mediante extracción y bombeo controlados, restringidos a los polígonos, profundidades y volúmenes autorizados. Se utilizarán ***mallas o barreras antidispersión*** alrededor de los frentes activos, se controlará la velocidad de bombeo y se inspeccionarán permanentemente las conexiones, mangueras, costuras y puertos de llenado. La finalidad será confinar los sedimentos y evitar la formación de áreas con aguas fangosas o limosas. Se establecerá

Fracción/prohibición	Vinculación con el Proyecto
	vigilancia visual y seguimiento de turbidez antes, durante y después de las maniobras. Cuando se observe una pluma fuera del área confinada, pérdida de visibilidad, acumulación de sedimento sobre vegetación marina o condiciones fangosas, se suspenderá inmediatamente el bombeo y únicamente se reanudará cuando se hayan restablecido las condiciones normales. Las mallas antidispersión evitará partículas suspendidas y será una medida de contención destinada a impedir que una resuspensión temporal, localizada y reversible se convierta en el supuesto expresamente prohibido por la Regla.
IV. El uso de explosivos.	No se utilizarán explosivos, detonaciones, sustancias expansivas ni procedimientos de fragmentación del fondo. La instalación de geotubos, tapetes antisocavación, anclajes, mangueras y demás componentes se realizará mediante procedimientos manuales, mecánicos e hidráulicos controlados.
V. Instalar o anclar plataformas o infraestructura de cualquier índole que afecte las formaciones coralinas.	El Proyecto no contempla plataformas, muelles, pilotes o estructuras apoyadas sobre formaciones coralinas. Los geotubos, tapetes antisocavación, tubos de anclaje, bombas, mangueras, señalización y embarcaciones deberán permanecer dentro de los polígonos y rutas autorizados y fuera de las formaciones arrecifales. Previamente a las maniobras se delimitarán las áreas de exclusión y se verificará el fondo en los puntos de instalación. Cuando se detecten corales u organismos bentónicos sensibles, se modificará la microlocalización del componente para evitar el contacto, recubrimiento o sedimentación. No se permitirá el fondeo o arrastre de anclas, mangueras y equipos sobre corales.
VI. Colectar, capturar especies o extraer flora o fauna marina o terrestre, viva o muerta, sus restos u otros elementos biogenéticos, sin autorización.	El Proyecto no tiene como finalidad la colecta o aprovechamiento de flora y fauna. El personal tendrá prohibido extraer peces, crustáceos, moluscos, corales, conchas, plantas, huevos, restos

Fracción/prohibición	Vinculación con el Proyecto
	de organismos o cualquier elemento natural. El rescate y reubicación de organismos únicamente se realizará como medida de protección, por personal capacitado y conforme a la autorización correspondiente. Los organismos capaces de desplazarse por sus propios medios serán ahuyentados de manera no invasiva.
VII. Introducir especies vivas ajenas a la flora y fauna propias del Parque, así como trasladar especies de una comunidad a otra sin autorización.	Para revegetar las dunas se utilizarán exclusivamente especies nativas propias del sistema costero regional. No se introducirán especies exóticas, invasoras u ornamentales. Los ejemplares deberán encontrarse libres de plagas y enfermedades. En caso de requerirse la reubicación de vegetación marina u otros organismos, ésta no podrá efectuarse libremente entre comunidades y deberá contar con autorización, protocolo técnico y selección de un sitio receptor ambientalmente compatible.
VIII. Alimentar, perseguir, acosar, molestar o remover de cualquier forma a la flora y fauna silvestres.	Se implementará un Programa de Rescate, Ahuyentamiento y Reubicación de Fauna Silvestre. El personal no podrá alimentar, perseguir, capturar, tocar o molestar a los organismos. Antes del inicio diario de actividades se realizarán recorridos para detectar fauna en los frentes de trabajo. El ahuyentamiento será gradual y no invasivo; el rescate se limitará a organismos de lento desplazamiento, atrapados, heridos o expuestos a riesgo directo. Las maniobras se suspenderán cuando ingresen tortugas, mamíferos marinos u otros organismos sensibles.
IX. Amarrarse a las boyas de señalización.	Estas no podrán sujetarse a las boyas de señalización, delimitación o seguridad del Parque. Se utilizarán sistemas de amarre autorizados y, cuando resulte indispensable anclar, se hará exclusivamente en sitios permitidos y sobre fondos arenosos libres de corales, pastos marinos y otros organismos bentónicos.
X. La pesca de autoconsumo con arpón.	El Proyecto no contempla actividades de pesca. El personal tendrá prohibido introducir o utilizar

Fracción/prohibición	Vinculación con el Proyecto
	arpones, redes, trampas, líneas, anzuelos o cualquier arte de pesca durante las jornadas de trabajo.
XI. El arrastre de artefactos para recreación, como esquís acuáticos, bananas, paracaídas y similares.	No resulta aplicable.
XII. La ejecución de obras públicas o privadas sin la autorización correspondiente por parte de la SEMARNAT.	El Proyecto no podrá iniciar hasta obtener la autorización en materia de impacto ambiental y las autorizaciones específicas para obra privada y restauración dentro del Parque. También deberán atenderse los permisos marítimos, la autorización para aprovechar el Banco IRRM, la concesión de ZOFEMAT y los actos administrativos que correspondan. La solicitud de concesión de ZOFEMAT con bitácora 09/KU-0018/01/25 se encuentra en trámite y no constituye una autorización para iniciar las obras. Todos los trabajos se limitarán a las características, coordenadas, superficies, volúmenes y procedimientos que sean expresamente autorizados.
XIII. Ingresar, sustituir o utilizar embarcaciones diferentes de las permitidas para la prestación de servicios recreativos.	No resulta aplicable respecto de la prestación de servicios recreativos, debido a que las embarcaciones se utilizarán para apoyo técnico y ejecución de las obras. No obstante, las embarcaciones deberán encontrarse autorizadas para las maniobras correspondientes, ser compatibles con la zonificación, respetar los canales de navegación y no sustituirse por unidades de mayor calado o capacidad sin autorización.
XIV. Utilizar guantes y cuchillos en el buceo libre y guantes en el buceo autónomo.	No resulta aplicable, debido a que el Proyecto no contempla servicios o actividades recreativas de buceo. Si excepcionalmente se requieren inspecciones subacuáticas, se efectuarán mediante personal especializado y conforme a las autorizaciones y protocolos aplicables, sin utilizar equipos para tocar, cortar o extraer organismos.
XV. Alumbrar directamente a los ojos con una lámpara a cualquier especie animal.	Resulta aplicable. El personal no dirigirá lámparas, reflectores, luces de embarcaciones o equipos

Fracción/prohibición	Vinculación con el Proyecto
	fotográficos hacia ejemplares de fauna. Cuando se requieran inspecciones con iluminación, ésta se orientará hacia el área estrictamente necesaria y se disminuirá su intensidad ante la presencia de organismos.
XVI. Modificar la línea de costa, crear playas artificiales, remover o mover dunas, así como rellenar o talar zonas de manglar o humedales.	Resulta directamente aplicable y constituye una de las disposiciones determinantes para la viabilidad del Proyecto. El análisis multitemporal del frente costero, elaborado a partir de líneas correspondientes a 2005, 2006, 2009, 2014, 2015, 2019 y 2023, documenta una erosión promedio aproximada de 25 m de playa. El Proyecto no pretende crear una playa donde históricamente no haya existido ni ganar terrenos al mar para ampliar la infraestructura turística. Su finalidad es ***recuperar parcialmente un perfil costero previamente existente***, reducir la vulnerabilidad ocasionada por el proceso erosivo y restablecer servicios ambientales de protección litoral. El vertido se limitará a V1 y V2 y no deberá rebasar deliberadamente la configuración histórica del frente costero. Las seis dunas artificiales no implican remover, trasladar o destruir dunas naturales existentes, sino restituir un componente actualmente degradado mediante arena compatible, geotextil cubierto y vegetación nativa. Tampoco se rellenará, talará, podará o removerá manglar o humedal. Debido al carácter expreso de la prohibición, la clasificación del Proyecto como restauración y la procedencia de sus acciones deberán ser reconocidas expresamente por SEMARNAT y CONANP en las autorizaciones correspondientes.
XVII. Alterar o destruir sitios de anidación o refugio de fauna silvestre.	Aunque no se han registrado evidencias recientes de anidación de tortugas marinas, su presencia eventual no puede descartarse. Antes del inicio diario de las actividades se realizarán recorridos para identificar ejemplares, rastros, nidos o crías. Ante cualquier hallazgo se suspenderán los trabajos

Fracción/prohibición	Vinculación con el Proyecto
	en el área inmediata y se dará aviso al responsable ambiental y a la autoridad. No se compactará innecesariamente la arena ni se dejarán cortes abruptos, zanjas, residuos, mangueras o geotextiles expuestos que puedan convertirse en obstáculos. Las obras deberán observar las medidas de la NOM-162-SEMARNAT-2012.
XVIII. La alteración o erradicación de pastos marinos vivos.	Resulta directamente aplicable. Se implementará el **Programa de Protección, Manejo y Recuperación de Vegetación Marina Sumergida**, basado en la jerarquía de evitar, minimizar, restaurar y monitorear. Antes de instalar geotubos, tapetes, anclajes, mangueras y equipos se delimitarán las áreas de vegetación marina y se privilegiará la microlocalización sobre fondos sin cobertura. Las praderas conservadas se establecerán como áreas de exclusión, sin fondeo, tránsito, arrastre o depósito de arena. Cuando se confirme una superposición técnicamente inevitable, cualquier rescate o reubicación se realizará por especialistas, considerando especie, densidad, profundidad, sustrato, iluminación, hidrodinámica y compatibilidad del sitio receptor. Se establecerá seguimiento de supervivencia y recuperación. La reubicación no se considerará una autorización anticipada para alterar pastos ni sustituirá la obligación principal de evitar su afectación.
XIX. Utilizar reflectores y lámparas dirigidos hacia el mar entre las 19:00 y las 06:00 horas.	Resulta aplicable. Las obras se desarrollarán preferentemente en horario diurno. No se utilizarán reflectores dirigidos hacia la playa o el mar durante el horario restringido. Cuando por seguridad sea indispensable contar con iluminación, ésta será temporal, de baja intensidad, dirigida hacia abajo y protegida para evitar su dispersión hacia el medio marino.
XX. Dañar o apropiarse de sistemas de boyeo, balizamiento y señalización.	Resulta aplicable. Las rutas de navegación y líneas de conducción se establecerán manteniendo una distancia segura respecto de boyas y señalizaciones. No se utilizarán como puntos de

Fracción/prohibición	Vinculación con el Proyecto
	amarre o apoyo. Cualquier daño accidental deberá notificarse inmediatamente a la Dirección del Parque y repararse conforme a sus indicaciones.
XXI. Tocar, pararse, dañar, pisar, sujetarse, arrastrar equipo, remover el fondo o provocar sedimentación sobre formaciones y organismos arrecifales.	Resulta directamente aplicable. Las embarcaciones, mangueras, bombas, anclajes y demás equipos deberán utilizar rutas previamente delimitadas y mantenerse fuera de formaciones arrecifales. No se permitirá caminar, sujetarse, apoyar materiales o arrastrar equipos sobre corales. Las mangueras deberán colocarse y retirarse de forma controlada, evitando que el oleaje o las corrientes las desplacen hacia los arrecifes. La turbidez será controlada para evitar la deposición de sedimentos sobre organismos. Ante cualquier riesgo de contacto o sedimentación se suspenderán las maniobras y se ajustará el procedimiento.
XXII. Llevar un número de usuarios mayor al permitido por embarcación o instructor durante actividades de buceo.	No resulta aplicable.
XXIII. Utilizar motos acuáticas tipo jet ski, wave runner, aqua ray o similares.	No resulta aplicable. El Proyecto no utilizará motos acuáticas.
XXIV. Utilizar embarcaciones biplaza fuera del área permitida.	No resulta aplicable. El Proyecto no contempla embarcaciones biplaza para recorridos recreativos.
XXV. Emplear dardos, anzuelos, arpones, fármacos, palangres, redes agalleras u otros equipos o métodos que dañen a la flora y fauna acuáticas.	No resulta aplicable. El personal tendrá prohibido portar o utilizar artes de pesca, sustancias para captura o equipos destinados a extraer organismos.
XXVI. Utilizar altoparlantes o equipos que emitan o reproduzcan sonido a un volumen mayor de 55 decibeles.	Resulta aplicable. No se utilizarán altoparlantes, equipos de sonido o música en los frentes de trabajo. Las bombas, motores y maquinaria recibirán mantenimiento preventivo y operarán únicamente durante los horarios autorizados. Cuando técnicamente resulte posible, se utilizarán silenciadores, cubiertas y bases amortiguadoras.
XXVII. Extraer o utilizar recursos genéticos con fines de lucro o para fines contrarios al Decreto y Programa de Manejo.	No resulta aplicable. El Proyecto no contempla bioprospección, extracción de material genético, investigación genética o aprovechamiento comercial de recursos biológicos.

Fracción/prohibición	Vinculación con el Proyecto
XXVIII. Construir muelles, embarcaderos, atracaderos o infraestructura portuaria o de otra índole en el área marina próxima a formaciones arrecifales.	El Proyecto no comprende muelles, marinas, embarcaderos, atracaderos o instalaciones destinadas a recibir embarcaciones. Los geotubos corresponden a estructuras de restauración y estabilización litoral y no prestarán servicios portuarios. No obstante, las obras marinas no se encuentran en formaciones arrecifales, tal y como se expresa en el plano de Caracterización marina.

Capítulos XII y XIII. Inspección, vigilancia, sanciones y recursos

Tabla 34. Vinculación del Capítulo XII y XIII del ANP

Regla	Vinculación con el Proyecto
Regla 77. Inspección y vigilancia por la autoridad.	Resulta aplicable. El promovente permitirá las acciones de inspección de PROFEPA, CONANP y demás autoridades competentes y mantendrá disponible la bitácora ambiental.
Regla 78. Aviso de infracciones o ilícitos ambientales.	Resulta aplicable. El personal deberá informar a la supervisión ambiental y a la autoridad cuando detecte derrames, daños a fauna, afectación de pastos o corales, pesca ilegal, residuos o cualquier otra irregularidad dentro del Parque.
Regla 79. Sanciones por incumplimiento.	Resulta aplicable. El promovente reconoce que el incumplimiento de las Reglas, autorizaciones o condicionantes puede generar sanciones administrativas, medidas de seguridad y responsabilidades ambientales o penales.
Regla 80. Obligación de abandonar el Parque ante violaciones.	Resulta aplicable. El personal que incumpla las disposiciones podrá ser retirado del Parque, sin perjuicio de otras responsabilidades. Esta condición se incorporará a los contratos y reglamento interno de obra.
Regla 81. Medios de inconformidad.	Resulta aplicable como disposición procedimental. Cualquier inconformidad respecto de sanciones deberá tramitarse mediante los medios legales correspondientes.

Conclusión de la Vinculación del ANP Parque Nacional Arrecife Puerto Morelos

A partir del análisis de la ubicación, naturaleza y características del Proyecto, se concluye que las obras y actividades propuestas guardan congruencia con los objetivos de conservación y restauración del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. Las etapas 1, 2 y 3, así como la conformación de dunas artificiales, su revegetación y los pasos elevados, se localizan en la Zona I. Uso Recreativo Intensivo, en la cual la restauración se encuentra expresamente contemplada como actividad permitida. Por su parte, el Banco IRRM se ubica en la Zona IV. Zona para Navegación en la Laguna

Arrecifal, donde se permiten el aprovechamiento sustentable de recursos naturales, la navegación, el monitoreo y la restauración.

El Proyecto responde al retroceso histórico de la línea de costa registrado frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa y tiene como finalidad restablecer el perfil litoral, reducir la pérdida de sedimentos y recuperar funciones ambientales de protección ante el oleaje y los fenómenos hidrometeorológicos. En consecuencia, no constituye una intervención destinada exclusivamente a crear una playa con fines estéticos o turísticos, sino una acción integral de restauración y estabilización del sistema costero, complementada con la conformación de dunas artificiales y su revegetación con especies nativas.

La ejecución de las obras incorporará medidas específicas para prevenir los supuestos establecidos en la Regla 76. El hidrollenado utilizará únicamente agua marina, sin aditivos, y el agua de retorno será filtrada por el geotextil. Durante la extracción, conducción y colocación de arena se emplearán mallas antidispersión, bombeo controlado, delimitación de áreas de trabajo y seguimiento de la turbidez, con objeto de evitar la formación de plumas persistentes de sedimentos o aguas fangosas fuera de las áreas de intervención.

Asimismo, se evitará la afectación de formaciones coralinas mediante la delimitación de zonas de exclusión, la microlocalización de las obras y la restricción del anclaje y tránsito de embarcaciones sobre fondos sensibles. No se efectuarán descargas de aguas residuales, combustibles, aceites, residuos sólidos ni otras sustancias contaminantes dentro del Parque.

En relación con la vegetación marina sumergida, se aplicará el Programa de Protección, Manejo y Recuperación de Vegetación Marina Sumergida, priorizando la prevención y minimización de afectaciones. Cuando la ocupación de algún parche resulte inevitable, se realizarán acciones de rescate, reubicación, recuperación y seguimiento ambiental, evitando la pérdida neta de cobertura y considerando la dinámica natural de estos ecosistemas.

Aunque no se han registrado avistamientos de tortugas marinas en el área inmediata, su presencia eventual no se descarta. Por ello, se implementarán medidas preventivas durante la temporada de anidación, incluyendo recorridos previos, control de iluminación, delimitación de áreas sensibles, suspensión temporal de actividades ante la presencia de ejemplares y protección de cualquier nido que pudiera registrarse.

El Proyecto no contempla la remoción, poda, relleno o afectación de manglar o humedales. Conforme a la cartografía de Uso del Suelo y Vegetación, Serie VII, del INEGI, las obras se localizan en unidades correspondientes a asentamientos humanos y cuerpo de agua, mientras que los polígonos de manglar se encuentran hacia la porción continental, fuera de las áreas de intervención y a más de 100 m de los polígonos de vertimiento V1 y V2. Las obras tampoco interrumpirán flujos hidrológicos asociados con dichos ecosistemas.

El aprovechamiento del Banco IRRM se limitará a su polígono, superficie, profundidad y volumen definidos, aplicando controles de extracción y dispersión de sedimentos, así como medidas de señalización y seguridad para mantener la navegación en la laguna arrecifal.

Por lo anterior, se concluye que el Proyecto es congruente con la zonificación y los objetivos de restauración, protección y manejo sustentable del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. Su diseño atiende un proceso documentado de erosión costera e incorpora medidas orientadas a conservar la calidad del agua, evitar la dispersión de sedimentos, proteger las formaciones coralinas, prevenir afectaciones a la vegetación marina y fauna silvestre, y restablecer la función protectora del sistema playa-duna. De esta manera, las obras propuestas contribuirán a recuperar la estabilidad y los servicios ambientales del litoral sin comprometer los elementos naturales que constituyen el objeto de conservación del Área Natural Protegida.

II.7 NORMAS OFICIALES MEXICANAS

En lo referente a la protección al ambiente la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en su artículo 5º faculta a la SEMARNAT para que elabore Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y vigile su cumplimiento en los términos de la misma ley. La promovente dará cumplimiento, previendo cualquier deterioro ambiental relacionado al proyecto.

Tabla 35. Vinculación de las Normas Oficiales Mexicanas con el Proyecto.

NORMA OFICIAL	VINCULACIÓN
NOM-001-SEMARNAT-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.	El Proyecto no contempla la generación o descarga deliberada de aguas residuales en la playa o el medio marino. Para el hidrollenado de los geotubos se utilizará exclusivamente agua marina. Durante este procedimiento, la mezcla de agua y arena será introducida en los geotubos; el material arenoso quedará retenido en su interior y el agua retornará al medio a través de la superficie filtrante del geotextil. En condiciones normales de operación, este retorno no corresponde a una descarga de aguas residuales derivada de un proceso industrial, sanitario o de servicios. No obstante, se implementarán medidas para controlar la turbidez y la dispersión de sedimentos, incluyendo el llenado gradual de las estructuras, la inspección de costuras y válvulas, el uso de barreras o mallas antidispersión cuando resulte necesario y la suspensión temporal de las actividades cuando se advierta una pluma de sedimentos fuera del área de trabajo. Quedará prohibida la descarga al mar de

NORMA OFICIAL	VINCULACIÓN
	combustibles, lubricantes, aguas oleosas, aguas sanitarias, residuos o cualquier sustancia contaminante. Si durante la ejecución llegara a generarse alguna descarga que reúna las características jurídicas de agua residual, ésta deberá sujetarse a los límites y condiciones establecidos en la presente Norma y en el permiso correspondiente.
NOM-003-SEMARNAT-1997 Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población.	No resulta directamente aplicable, debido a que el Proyecto no contempla el reúso de aguas residuales tratadas en servicios con contacto directo o indirecto con el público.
NOM-041-SEMARNAT-2006 Establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono, oxígeno y óxido de nitrógeno; así como el nivel mínimo y máximo de la suma de monóxido y bióxido de carbono y el Factor Lambda	La Norma será aplicable a los vehículos automotores a gasolina que se utilicen para el traslado de personal, herramientas, plantas, insumos y materiales asociados con el Proyecto. Los vehículos deberán encontrarse en condiciones mecánicas adecuadas y cumplir con los programas de verificación vehicular y límites de emisión correspondientes. Se evitará mantener los motores encendidos durante periodos prolongados cuando los vehículos permanezcan estacionados y se realizará mantenimiento preventivo para reducir emisiones de hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno. La Norma no regula directamente la maquinaria de construcción que no se encuentre comprendida en su campo de aplicación; sin embargo, dicha maquinaria también deberá mantenerse en buen estado, sin emisiones ostensibles, fugas de combustibles o lubricantes. La NOM-041-SEMARNAT-2015 dejó sin efectos la versión de 2006.
NOM-080-SEMARNAT-1994 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.	La aplicación de esta Norma se relaciona con los vehículos automotores que circularán durante el transporte de personal, herramientas e insumos. Los vehículos deberán contar con sistemas de escape en condiciones adecuadas, evitando silenciadores modificados, escapes abiertos o equipos que produzcan niveles excesivos de ruido. Adicionalmente, aunque la Norma no regula todas las

NORMA OFICIAL	VINCULACIÓN
	emisiones sonoras generadas por bombas, maquinaria y equipos utilizados dentro del frente de obra, el Proyecto adoptará medidas preventivas como realizar los trabajos en horario diurno, utilizar equipos con mantenimiento vigente, evitar aceleraciones innecesarias y apagar los motores cuando no estén en operación. Estas medidas también disminuirán molestias a los usuarios del hotel, predios colindantes y fauna silvestre presente en las zonas costera y marina. La NOM-080 continúa vigente, pues el procedimiento de modificación iniciado en años anteriores fue cancelado para mantener su aplicación
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.	La vinculación del Proyecto con esta Norma se relaciona con la posible presencia de especies de flora y fauna silvestres incluidas en alguna categoría de riesgo dentro de las zonas de playa y marina en las que se ejecutarán las obras. Aunque la NOM-059-SEMARNAT-2010 no regula por sí misma todas las especies que conforman las comunidades costeras y marinas, constituye un referente obligatorio para identificar y proteger aquellas especies nativas que se encuentren clasificadas como probablemente extintas en el medio silvestre, en peligro de extinción, amenazadas o sujetas a protección especial. Para prevenir afectaciones sobre la fauna silvestre, durante las etapas de preparación del sitio y construcción se instrumentará un Programa de Rescate, Ahuyentamiento y Reubicación de Fauna Silvestre. Antes del inicio diario de actividades se realizarán recorridos de inspección en los frentes de trabajo; cuando se detecten organismos con capacidad de desplazarse por sus propios medios se favorecerá su alejamiento mediante técnicas de ahuyentamiento no invasivas. El rescate y reubicación se limitarán a ejemplares de lento desplazamiento, heridos, atrapados o expuestos a un riesgo directo por las actividades y serán efectuados por personal capacitado. Quedará prohibida la captura, colecta, extracción, caza, alimentación, comercialización o aprovechamiento de

NORMA OFICIAL	VINCULACIÓN
	fauna silvestre por parte del personal. En caso de registrarse alguna especie incluida en la NOM-059-SEMARNAT-2010, se delimitará temporalmente el área, se evitará la operación de maquinaria en su entorno inmediato y se aplicarán las medidas específicas de protección correspondientes. Cuando la naturaleza del hallazgo lo requiera, se dará aviso a la autoridad competente. Aunque no se han registrado avistamientos de tortugas marinas o evidencias recientes de anidación en el frente de playa, su presencia eventual no puede descartarse. Por ello, durante el vertido de arena, la conformación de playa y la construcción y revegetación de las dunas artificiales se realizarán recorridos preventivos para identificar ejemplares, rastros, nidos o crías. Si se detecta alguno de estos elementos, se suspenderán inmediatamente los trabajos en el área involucrada y se aplicará el protocolo correspondiente, en concordancia con la NOM-162-SEMARNAT-2012. Respecto de la posible presencia de pastos marinos, el Proyecto instrumentará un Programa de Protección, Manejo y Recuperación de Vegetación Marina Sumergida, cuyo objetivo será prevenir y minimizar la pérdida de cobertura vegetal marina asociada con la instalación de los geotubos, tapetes antisocavación, tubos de anclaje, líneas de conducción y demás elementos temporales o permanentes. El programa se fundamentará en la jerarquía de mitigación ambiental, conforme al siguiente orden de actuación: • Prevención. Antes de la instalación de las obras marinas se delimitarán los polígonos autorizados y se identificarán las áreas con vegetación marina sumergida dentro o próximas a los frentes de trabajo. La ubicación puntual de geotubos,

NORMA OFICIAL	VINCULACIÓN
	anclajes, mangueras y equipos privilegiará las superficies sin cobertura vegetal. • Minimización. Las maniobras se restringirán al área mínima indispensable. No se permitirá el fondeo de embarcaciones, arrastre de mangueras, tránsito de personal, colocación temporal de materiales o movimiento de equipos fuera de las áreas delimitadas. Las líneas de conducción deberán colocarse de manera que eviten el aplastamiento, enterramiento o fragmentación de los pastos marinos. • Protección de áreas conservadas. Las superficies con vegetación que no resulten intervenidas serán delimitadas como áreas de exclusión. En ellas quedará prohibido depositar arena, residuos, herramientas, combustibles o materiales constructivos. • Control de sedimentos. El llenado de geotubos y la colocación de arena se realizarán gradualmente, mediante bombeo controlado y, cuando resulte necesario, con barreras o mallas antidispersión. Se vigilará la extensión de las plumas de turbidez y se suspenderán temporalmente las actividades si los sedimentos alcanzan áreas de vegetación marina localizadas fuera de los polígonos autorizados. • Rescate y reubicación. Únicamente cuando se confirme una superposición inevitable entre las obras autorizadas y la vegetación marina sumergida, se aplicará un componente específico de rescate y reubicación. Las unidades vegetativas serán extraídas cuidadosamente y trasladadas a un sitio receptor que presente condiciones ambientales compatibles de profundidad, sustrato, iluminación, hidrodinámica y calidad del agua. Esta actividad se realizará por personal especializado y estará

NORMA OFICIAL	VINCULACIÓN
	sujeta a la autorización de la autoridad competente. • Recuperación y seguimiento. Las áreas conservadas, receptoras o sometidas a recuperación serán objeto de seguimiento para evaluar la permanencia de la cobertura, supervivencia, densidad, expansión de los parches y condición general de la vegetación. Cuando los resultados muestren pérdida de cobertura o baja supervivencia, se aplicarán medidas de reforzamiento, mantenimiento o reposición. La eventual reubicación de pastos marinos no se considerará una medida que autorice anticipadamente su afectación ni sustituirá la obligación de evitar y minimizar los impactos. Su aplicación quedará reservada para los casos en que técnicamente no sea posible conservar la vegetación en su ubicación original y exista autorización expresa para efectuar su manejo. Para la revegetación de las seis secciones de duna artificial se utilizarán especies nativas propias del sistema costero regional. No se introducirán especies exóticas o invasoras y los ejemplares serán manejados de manera que favorezcan la estabilización del sustrato arenoso y la recuperación de la cobertura vegetal. En consecuencia, el Proyecto observará la NOM-059-SEMARNAT-2010 mediante la identificación y protección de especies en riesgo, la aplicación de medidas de ahuyentamiento, rescate y reubicación de fauna, la utilización de vegetación costera nativa y la instrumentación del Programa de Protección, Manejo y Recuperación de Vegetación Marina Sumergida. Estas acciones permitirán prevenir, minimizar y, cuando resulte procedente, compensar las afectaciones sobre la flora y fauna silvestres presentes en el área del Proyecto y su zona de influencia.

NORMA OFICIAL	VINCULACIÓN
NOM-162-SEMARNAT-2012. Que establece las especificaciones para la protección, recuperación y manejo de las poblaciones de tortugas marinas en su hábitat de anidación.	Aunque no se han registrado avistamientos de tortugas marinas o evidencias recientes de anidación en el frente de playa, su presencia eventual no puede descartarse. La Norma deberá observarse bajo un enfoque preventivo, particularmente durante el vertido de arena, conformación de playa, construcción de dunas y tránsito de maquinaria. Previamente al inicio diario de actividades se realizarán recorridos para identificar rastros, hembras, nidos o crías. En caso de localizarse alguno, se suspenderán los trabajos en el área inmediata y se dará aviso al personal responsable y a la autoridad competente. Las actividades se efectuarán preferentemente durante el día; se evitará la iluminación directa hacia el mar; no se circulará sobre nidos, rastros o ejemplares; y no se manipularán huevos, crías o hembras sin autorización. Las pendientes finales de la playa deberán evitar cortes abruptos, compactación excesiva, obstáculos o depresiones que puedan impedir el desplazamiento de las tortugas. Los geotubos deberán permanecer cubiertos e inspeccionarse periódicamente para evitar que su exposición constituya una barrera física o riesgo de atrapamiento

III.8 REGIONES PRIORITARIAS DE CONSERVACIÓN

III.8.1 Regiones Terrestres Prioritarias (RTP)

La transformación y pérdida acelerada de los ecosistemas naturales en México ha generado la necesidad de identificar regiones que, por su riqueza biológica, integridad ecológica, diversidad de ecosistemas y oportunidades de conservación, requieren atención prioritaria. En respuesta a esta problemática, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad desarrolló el Programa de Regiones Prioritarias para la Conservación de la Biodiversidad. Dentro de este programa se encuentran las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP), cuyo propósito es identificar unidades territoriales relativamente estables desde el punto de vista ambiental que destaquen por presentar una riqueza ecosistémica y específica comparativamente mayor que otras áreas del país, una integridad ecológica funcional significativa o condiciones que representen oportunidades relevantes para la conservación de la biodiversidad.

Las RTP constituyen una regionalización técnica y científica dirigida a orientar la investigación, planeación y conservación de la biodiversidad. Su delimitación no equivale por sí misma a la declaratoria de un área natural protegida ni establece automáticamente prohibiciones o modalidades de uso del suelo; sin embargo, representa un elemento de referencia para determinar la sensibilidad ambiental del territorio y valorar la proximidad de los proyectos con regiones de importancia biológica.

Para determinar la relación espacial del Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa con estas regiones, se realizó la superposición de su ubicación con los datos vectoriales de las Regiones Terrestres Prioritarias publicados por la CONABIO. El análisis cartográfico determinó que los polígonos terrestres y costeros del Proyecto no se localizan dentro de ninguna Región Terrestre Prioritaria. La RTP más cercana corresponde a la RTP núm. 146, denominada Dzilam–Ría Lagartos–Yum Balam, cuyo límite se encuentra aproximadamente a 32.84 km en línea recta del sitio del Proyecto.

La separación espacial existente permite determinar que las obras de vertido de arena, conformación de dunas artificiales, revegetación, instalación de pasos elevados, barreras de contención y estructuras rompeolas no ocuparán superficies pertenecientes a esta RTP. Asimismo, debido a que las actividades se concentrarán en el frente de playa y la zona marina somera del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, no se prevé la remoción de vegetación, fragmentación de hábitats terrestres, apertura de caminos, modificación de corredores biológicos o cambio de uso del suelo dentro de la RTP núm. 146. El Banco IRRM se localiza en el medio marino y su aprovechamiento no representa una intervención terrestre dentro de la RTP referida. Las actividades de extracción y conducción de arena se restringirán a los polígonos autorizados, por lo que tampoco se establece una relación territorial directa con esta región terrestre.

En virtud de la distancia aproximada de 32.84 km, la naturaleza localizada de las obras y la ausencia de superposición territorial, no se identifican mecanismos razonables mediante los cuales el Proyecto pueda generar afectaciones directas o indirectas sobre la estructura, biodiversidad, conectividad, integridad ecológica o procesos funcionales de la RTP Dzilam–Ría Lagartos–Yum Balam. En consecuencia, se concluye que el Proyecto no se encuentra dentro de ninguna Región Terrestre Prioritaria y no compromete los objetivos de identificación y conservación asociados con esta regionalización de la CONABIO. No obstante, las medidas de prevención, mitigación, restauración y seguimiento ambiental previstas para el Proyecto deberán aplicarse durante todas sus etapas, con independencia de su ubicación fuera de estas regiones prioritarias.

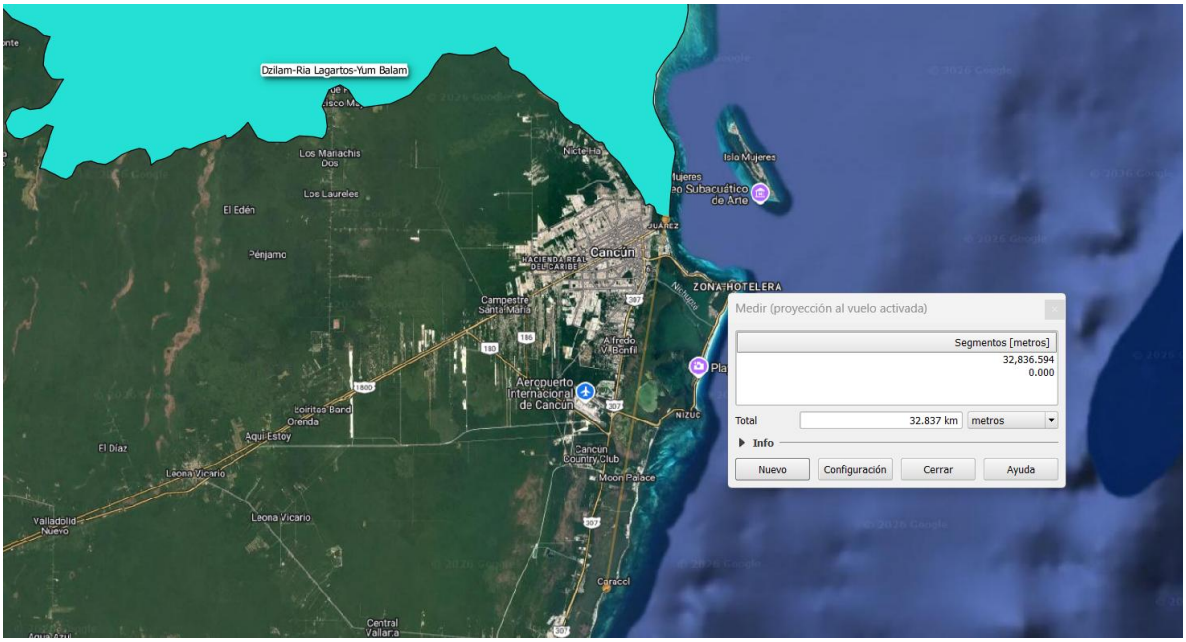


Figura 8. Ubicación del Proyecto respecto de las Regiones Terrestres Prioritarias de la CONABIO.

La figura muestra que el Proyecto se encuentra fuera de las Regiones Terrestres Prioritarias. La región más cercana corresponde a la RTP núm. 146, Dzilam–Ría Lagartos–Yum Balam, ubicada a una distancia aproximada de 32.84 km en línea recta.

III.8.2 Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP)

La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad tiene entre sus atribuciones coordinar, apoyar y promover acciones relacionadas con el conocimiento, conservación y aprovechamiento sustentable de la diversidad biológica de México. En este contexto, en mayo de 1998 inició el Programa de Regiones Hidrológicas Prioritarias, con el propósito de generar un diagnóstico de las principales subcuencas y sistemas acuáticos del país, considerando su biodiversidad, características ambientales, formas de aprovechamiento y condiciones sociales y económicas.

El programa identificó 110 Regiones Hidrológicas Prioritarias como unidades de referencia para orientar la investigación, conservación, planeación y manejo sustentable de los recursos hídricos. De éstas, 82 fueron reconocidas como áreas de uso por distintos sectores, 75 como áreas de alta riqueza biológica con potencial para su conservación y 75 como áreas que presentaban algún tipo de amenaza. Asimismo, se identificaron 29 regiones de importancia biológica respecto de las cuales existía información científica insuficiente.

Las Regiones Hidrológicas Prioritarias constituyen una regionalización técnica elaborada por la CONABIO. Su delimitación no equivale a la declaratoria de un área natural protegida ni establece por

sí misma prohibiciones, usos del suelo o restricciones jurídicas específicas. No obstante, representa un referente ambiental relevante para evaluar si las obras y actividades propuestas pueden comprometer cuerpos de agua, humedales, acuíferos, flujos subterráneos, zonas de infiltración, ecosistemas acuáticos o procesos de conectividad hidrológica.

De acuerdo con la superposición de los polígonos del Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa con los datos vectoriales de la CONABIO, se determinó que su componente continental y costero se encuentra parcialmente dentro o sobre el límite oriental de la Región Hidrológica Prioritaria núm. 105, denominada Corredor Cancún–Tulum. Por su parte, las barreras de contención, estructuras rompeolas y demás componentes que se prolongan hacia el mar se localizan fuera de la porción continental representada por el polígono de esta RHP.

La RHP Corredor Cancún–Tulum se localiza en Quintana Roo y comprende una superficie aproximada de 1,715 km². Sus principales recursos hídricos incluyen las lagunas de Chacmochuch y Nichupté, cenotes, estuarios, humedales y sistemas de aguas subterráneas. Dentro de su biodiversidad se reconocen selvas medianas y bajas, selvas inundables, manglares, sabanas, palmares inundables y vegetación de dunas costeras, además de ambientes como estuarios, humedales, caletas, cenotes y playas.

La CONABIO clasifica esta región como un área de alta biodiversidad, de uso por distintos sectores y que presenta amenazas. Entre las problemáticas históricamente identificadas se encuentran la modificación del entorno por complejos turísticos y obras de infraestructura, la deforestación, la alteración de barreras naturales, la remoción de manglar, el relleno de áreas inundables, la formación de canales, la contaminación por aguas residuales y la disposición inadecuada de residuos sólidos.

La presencia parcial del Proyecto dentro de la RHP no representa por sí misma una incompatibilidad. Su vinculación debe determinarse atendiendo a la naturaleza, ubicación y magnitud de sus obras y a la manera en que éstas se relacionan con los recursos y procesos hidrológicos que motivaron la identificación de la región.

El Proyecto se desarrollará en el frente costero de un establecimiento turístico existente y tiene como finalidad atender un proceso de erosión, favorecer la retención de sedimentos y recuperar parcialmente la funcionalidad del sistema playa-duna. No contempla la apertura de nuevos desarrollos turísticos, el incremento de la densidad urbana, la construcción de vialidades, la perforación de pozos, la extracción de agua subterránea, la inyección de sustancias al acuífero ni la modificación de cenotes, dolinas, cavernas o corrientes subterráneas.

Las obras tampoco implican el relleno o desecación de humedales, la formación de canales, la desviación de escurrimientos continentales o la remoción de vegetación de manglar. De acuerdo con el análisis cartográfico realizado, las áreas de manglar se localizan hacia la porción continental, en

predios diferentes al frente de playa intervenido, y no existe superposición entre éstas y los polígonos del Proyecto. Las actividades se concentrarán en la playa y zona marina somera, sin establecer infraestructura que interrumpa la conectividad hidrológica de los humedales costeros.

La conformación de seis secciones de duna artificial y su revegetación con aproximadamente 1,350 ejemplares de especies nativas contribuirán a estabilizar el sustrato arenoso y recuperar una barrera física frente al oleaje y los fenómenos hidrometeorológicos. Estas obras no constituirán rellenos de áreas inundables ni modificarán cauces naturales, debido a que se establecerán sobre el frente costero intervenido y no dentro de humedales, depresiones inundables, cenotes o zonas de descarga continental identificadas.

Respecto de las obras marinas, la instalación de 14 geotubos en las barreras de contención C1 y C2 y de 18 geotubos como barreras rompeolas producirá una modificación localizada del fondo y de la interacción entre el oleaje y el sedimento. Por ello, las estructuras se dispondrán dentro de los polígonos autorizados y conservarán espacios entre sus componentes, evitando formar una barrera continua e impermeable. Su funcionamiento y estabilidad serán verificados mediante seguimiento topográfico, batimétrico, fotográfico y ambiental, con la finalidad de identificar oportunamente cambios no previstos en la distribución del sedimento, circulación del agua o comportamiento de la línea de costa.

El vertido de 8,084.43 m³ de arena en los polígonos V1 y V2 se realizará de manera controlada y exclusivamente con material procedente del Banco IRRM. La colocación se restringirá a las superficies y volúmenes establecidos en el Capítulo I, evitando la dispersión innecesaria de sedimentos hacia áreas colindantes. Durante estas actividades se aplicarán medidas de control de turbidez, inspección de las líneas de conducción, mantenimiento de equipos y suspensión temporal de los trabajos cuando se observe una dispersión de sedimentos fuera de las áreas autorizadas.

Para el hidrollenado de los geotubos se utilizará exclusivamente agua marina, sin aditivos químicos. El agua retornará al medio a través de la superficie filtrante del geotextil, mientras que la fracción arenosa quedará retenida dentro de las estructuras. No se permitirá la descarga al mar de aguas sanitarias, combustibles, lubricantes, aguas oleosas, residuos sólidos o sustancias contaminantes.

El aprovechamiento del Banco IRRM se realizará en el medio marino y no implicará la intervención de los sistemas continentales de aguas subterráneas, cenotes o humedales comprendidos en la RHP. La extracción deberá limitarse al polígono, profundidad y volumen autorizados, manteniendo controles para prevenir derrames, dispersión excesiva de sedimentos y afectaciones fuera del área de aprovechamiento.

En materia de residuos, todos los materiales generados durante la preparación del sitio, construcción y mantenimiento serán separados, almacenados temporalmente y trasladados a sitios autorizados. Quedará prohibido su abandono, disposición o quema en la playa, zona marina, dunas, humedales o

terrenos colindantes. Los combustibles y lubricantes deberán manejarse mediante recipientes cerrados y materiales de contención para evitar infiltraciones o escurrimientos.

En consecuencia, aunque el Proyecto presenta una incidencia espacial parcial con la RHP núm. 105 Corredor Cancún–Tulum, sus obras no contemplan la extracción de agua subterránea, descarga de aguas residuales, afectación de cenotes, relleno de humedales, formación de canales, remoción de manglar o modificación de los flujos hidrológicos continentales que caracterizan a esta región.

El Proyecto resulta compatible con los objetivos generales de conocimiento, conservación y manejo sustentable de la RHP, siempre que las obras se mantengan dentro de los polígonos autorizados y se apliquen las medidas de prevención, control de sedimentos, protección de la calidad del agua, manejo de residuos y seguimiento ambiental previstas. Estas acciones permitirán atender la erosión del frente costero sin comprometer la integridad de los recursos hidrológicos continentales asociados con la Región Hidrológica Prioritaria Corredor Cancún–Tulum.



Figura 9. Ubicación del Proyecto respecto de la Región Hidrológica Prioritaria núm. 105 Corredor Cancún–Tulum.

La figura muestra la relación espacial entre los componentes terrestres, costeros y marinos del Proyecto y el límite oriental de la RHP Corredor Cancún–Tulum. Se observa que el componente continental y costero se encuentra parcialmente dentro o sobre el límite de la región, mientras que las obras se prolongan hacia el medio marino.

III.8.3 Regiones Marinas Prioritarias (RMP)

La extensión y complejidad de los ecosistemas marinos, aunadas a la información frecuentemente fragmentada sobre su estructura y funcionamiento, han dificultado su conocimiento integral. Sin embargo, la dependencia de las actividades humanas respecto de los recursos costeros y marinos, así como las presiones crecientes ocasionadas por el desarrollo urbano, turístico, pesquero y marítimo, han evidenciado la necesidad de fortalecer las acciones dirigidas a su conocimiento, conservación, recuperación y manejo sustentable.

En este contexto, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad instrumentó el Programa de Regiones Marinas Prioritarias de México, con la participación de especialistas de instituciones académicas, gubernamentales y organizaciones de la sociedad civil. Como resultado, se identificaron, delimitaron y caracterizaron 70 áreas costeras y oceánicas consideradas relevantes por su biodiversidad, importancia ecológica, aprovechamiento de recursos, amenazas ambientales o insuficiencia de información.

La delimitación de estas regiones consideró criterios relacionados con la diversidad biológica, integridad ecológica, procesos oceanográficos, zonas de alimentación, refugio, crecimiento, migración y reproducción, así como la importancia pesquera, turística y económica de los espacios marinos. También se evaluaron amenazas como la modificación del entorno, contaminación, remoción de vegetación marina, afectación de arrecifes, daño ocasionado por embarcaciones, aporte de sedimentos, presión sobre especies y prácticas de manejo inadecuadas.

Las Regiones Marinas Prioritarias constituyen una regionalización técnica y científica destinada a orientar la investigación, planeación, conservación y manejo de la biodiversidad marina. Su delimitación no equivale por sí misma a la declaratoria de un área natural protegida ni establece automáticamente prohibiciones o usos permitidos. No obstante, su consideración en la evaluación ambiental es relevante para determinar la sensibilidad del medio marino y establecer medidas congruentes con los valores y problemáticas identificados por la CONABIO.

De acuerdo con la superposición cartográfica de los polígonos del Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa con los datos vectoriales de la CONABIO, se determinó que el sitio del Proyecto se encuentra dentro de la Región Marina Prioritaria núm. 63, denominada Punta Maroma–Punta Nizuc.

La RMP Punta Maroma–Punta Nizuc se localiza en Quintana Roo y comprende una superficie aproximada de 1,005 km². Se caracteriza por la presencia de arrecifes, lagunas, playas, dunas costeras y estuarios. En su dinámica oceanográfica predomina la corriente de Yucatán, presenta oleaje variable, aportes de agua dulce provenientes de lagunas y procesos locales de giros y contracorrientes.

La biodiversidad registrada para esta región comprende moluscos, poliquetos, equinodermos, crustáceos, esponjas, corales, artrópodos, tortugas marinas, peces, aves, mamíferos marinos, manglares y selva baja inundable. La CONABIO también la reconoce como una zona de reproducción de tortugas y merostomados. Entre las actividades económicas regionales destacan el turismo, ecoturismo, buceo y pesca de crustáceos y peces.

Entre las principales problemáticas identificadas para la RMP se encuentran la tala de manglar, relleno de áreas inundables, pérdida de permeabilidad de las barras costeras, construcción sobre bocas, modificación de barreras naturales, daños ocasionados por embarcaciones, blanqueamiento de corales, descargas urbanas, presión sobre peces y langostas e introducción de especies vegetales exóticas.

La ubicación del Proyecto dentro de la RMP no determina por sí misma su incompatibilidad, pero exige que sus obras y actividades se diseñen y ejecuten bajo un enfoque preventivo, considerando la sensibilidad ecológica del sistema costero y marino. Esto adquiere especial relevancia debido a que el Proyecto comprende la colocación de geotubos y tapetes antisocavación, el vertido de arena, la extracción de material del Banco IRRM y la utilización temporal de bombas, mangueras, embarcaciones y equipos dentro del medio marino.

El Proyecto tiene como finalidad atender el proceso de erosión del frente costero, recuperar parcialmente el perfil de playa y restablecer la función protectora del sistema playa-duna. No se plantea como una ampliación de la infraestructura turística del hotel ni como una intervención destinada exclusivamente a aumentar la superficie recreativa. Su objetivo ambiental y técnico es favorecer la retención de sedimentos, disminuir la exposición del frente costero ante el oleaje y recuperar componentes naturales de protección litoral.

Las barreras de contención C1 y C2 estarán conformadas por 14 geotubos, mientras que las barreras rompeolas se integrarán por 18 geotubos colocados de manera discontinua. Esta configuración conservará espacios para la circulación del agua y evitará establecer una estructura sólida, continua e impermeable en el medio marino. No obstante, debido a que su presencia puede modificar localmente la interacción entre el oleaje, las corrientes y el transporte de sedimentos, se realizará seguimiento topográfico, batimétrico, fotográfico y ambiental para verificar el comportamiento de las estructuras y la evolución de la línea de costa.

El vertido de 8,084.43 m^3 de arena en los polígonos V1 y V2 se realizará de forma gradual y controlada, restringiendo las actividades a las superficies autorizadas. Se utilizarán medidas para reducir la suspensión y dispersión de sedimentos, entre ellas el control de la velocidad de bombeo, inspección permanente de las líneas de conducción, utilización de barreras o mallas antidispersión cuando resulte necesario y suspensión temporal de los trabajos cuando se observe una pluma de turbidez fuera de los polígonos de intervención.

La arena procederá exclusivamente del Banco IRRM y será utilizada como material de construcción y restauración litoral. Su extracción deberá limitarse al polígono, profundidad y volumen autorizados, evitando ampliar el área de aprovechamiento o generar depresiones irregulares. Las actividades deberán prevenir afectaciones fuera del banco, dispersión excesiva de sedimentos, derrames de combustibles y abandono de materiales o residuos en el fondo marino.

Considerando que una de las problemáticas expresamente identificadas por CONABIO para la RMP Punta Maroma–Punta Nizuc es la remoción de pastos marinos, el Proyecto aplicará un Programa de Protección, Manejo y Recuperación de Vegetación Marina Sumergida. Este programa tendrá como medida principal evitar la ocupación de superficies con vegetación marina mediante la delimitación de los frentes de trabajo y la microlocalización de geotubos, anclajes, mangueras y equipos sobre áreas sin cobertura vegetal.

Las superficies con pastos marinos que no sean intervenidas serán delimitadas como áreas de exclusión. En ellas no se permitirá el fondeo de embarcaciones, arrastre de mangueras, tránsito innecesario de personal, colocación temporal de materiales o descarga de arena. Cuando se confirme una superposición inevitable y exista autorización de la autoridad competente, se aplicarán acciones específicas de rescate, reubicación y recuperación, acompañadas de seguimiento para evaluar la permanencia, supervivencia y expansión de la cobertura vegetal. Estas acciones no sustituirán la obligación principal de evitar y minimizar la afectación.

El Proyecto no contempla la remoción, poda, relleno o trasplante de manglar. Las áreas de manglar identificadas mediante la cartografía disponible se encuentran hacia la porción continental, en predios distintos y a más de 100 m de los polígonos de vertido V1 y V2. Las obras no incluyen canales, terraplenes, vialidades o rellenos de zonas inundables que interrumpan la conectividad hidrológica entre el manglar y el medio marino.

Tampoco se contempla la intervención, remoción o fragmentación de estructuras arrecifales. Las actividades, embarcaciones deberán mantenerse dentro de los polígonos y rutas autorizados, sin realizar fondeo sobre corales, pastos marinos u otras comunidades bentónicas sensibles. Si durante las maniobras se detectan colonias coralinas o fauna bentónica susceptible de afectación, se delimitará el área y se ajustará la microlocalización de los elementos para evitar su daño.

La presencia eventual de tortugas marinas no puede descartarse, debido a que la RMP es reconocida como una zona de reproducción y el Proyecto incluye actividades en playa. Por ello, antes del inicio diario de los trabajos se efectuarán recorridos para identificar ejemplares, rastros, nidos o crías. En caso de registrarse alguno, se suspenderán las actividades en el área inmediata y se aplicarán las medidas establecidas en la NOM-162-SEMARNAT-2012. Se evitará la iluminación directa hacia el mar, el tránsito nocturno de maquinaria, la compactación excesiva de la arena y la formación de obstáculos o desniveles que dificulten el desplazamiento de las tortugas.

Para el hidrollenado de los geotubos se utilizará únicamente agua marina, sin aditivos químicos. El agua retornará al medio a través de la superficie filtrante del geotextil, mientras que la fracción arenosa quedará retenida dentro de las estructuras. Quedará prohibida la descarga al mar de aguas sanitarias, aguas oleosas, combustibles, lubricantes, residuos sólidos, fragmentos de geotextil o cualquier otra sustancia contaminante.

Las embarcaciones y equipos deberán encontrarse en condiciones mecánicas adecuadas y sin fugas. Contarán con materiales para atender derrames accidentales y no podrán efectuar mantenimiento, carga de combustible o reparaciones mayores dentro del área marina. Los residuos generados durante las maniobras serán recuperados y trasladados a tierra para su manejo correspondiente.

Las seis secciones de duna artificial serán cubiertas con arena y revegetadas con aproximadamente 1,350 ejemplares de especies nativas. Esta medida permitirá recuperar parcialmente una barrera natural que contribuye a retener sedimentos, reducir la erosión e incrementar la resiliencia del frente costero. No se utilizarán especies exóticas o invasoras, particularmente las señaladas como una problemática dentro de la RMP.

El seguimiento ambiental permitirá evaluar la estabilidad de los geotubos, la permanencia del relleno, la evolución de la línea de costa, el comportamiento de las dunas artificiales, la dispersión de sedimentos y la condición de las comunidades marinas próximas. Si se identifican cambios adversos en la circulación, erosión en predios colindantes, exposición o ruptura de geotubos, afectación de vegetación marina o acumulaciones anómalas de sedimentos, se aplicarán medidas correctivas y de mantenimiento.

Por lo anterior, se concluye que el Proyecto se encuentra dentro de la RMP núm. 63 Punta Maroma–Punta Nizuc y, por tanto, mantiene una relación directa con una región reconocida por su biodiversidad, ecosistemas costeros y relevancia para especies marinas. Esta ubicación no constituye una prohibición para su desarrollo, pero exige la aplicación rigurosa de medidas de prevención, mitigación, restauración y seguimiento.

La finalidad de restauración y estabilización litoral del Proyecto es congruente con la necesidad de conservar playas y dunas costeras; sin embargo, su compatibilidad con los objetivos de la RMP dependerá de que se eviten afectaciones a manglares, arrecifes, pastos marinos, tortugas y demás fauna; se controle la dispersión de sedimentos; se mantenga la circulación del agua; no se produzcan descargas contaminantes; y las obras se conserven dentro de los polígonos autorizados.

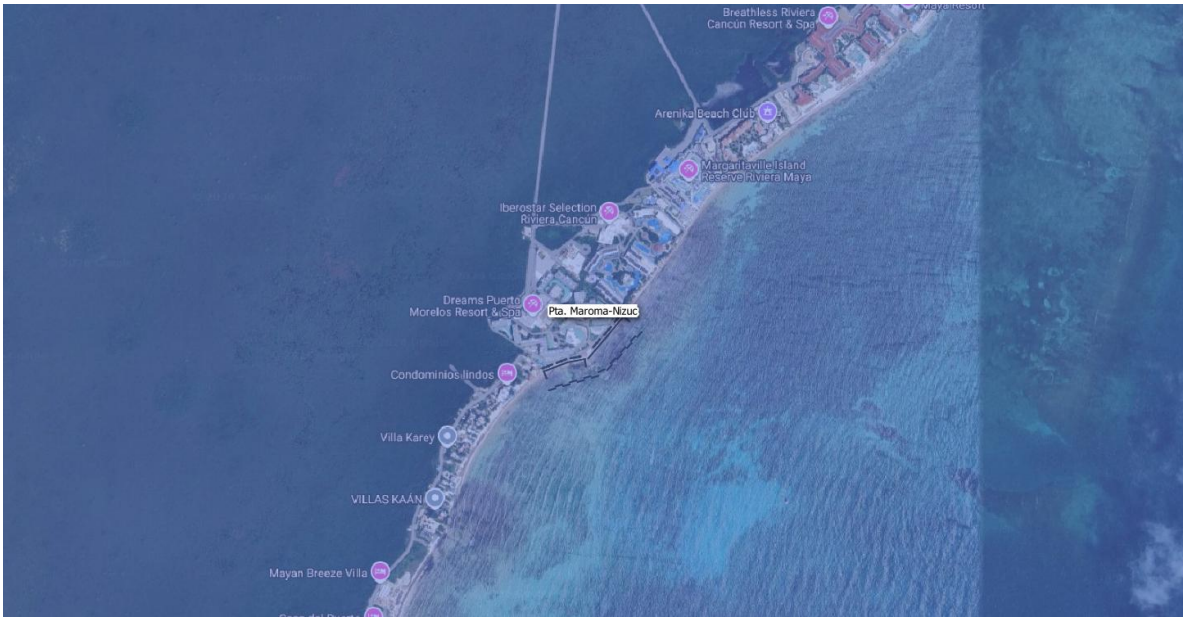


Figura 10. Ubicación del Proyecto dentro de la Región Marina Prioritaria núm. 63 Punta Maroma–Punta Nizuc.

La figura muestra la ubicación del frente costero y de las obras marinas del Proyecto dentro del polígono de la RMP Punta Maroma–Punta Nizuc, en el municipio de Puerto Morelos, Quintana Roo.

CAPÍTULO III.

DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN ECOLÓGICA Y SEÑALAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DETECTADA.

ÍNDICE DE CONTENIDO

III. DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN ECOLÓGICA Y SEÑALAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DETECTADA..... 12
III.1 Delimitación de la Región Ecológica, del Área de Influencia y Área del Proyecto..... 13
III.1.1 Definición de la RE del Proyecto 13
III.1.2 Definición del Área de Influencia y del Área del Proyecto 20
III.2 Caracterización de la RE, del AI y del AP..... 25
III.2.1 Medio Abiótico 25
III.2.1.1 Clima 25
III.2.1.2 Fenómenos hidrometeorológicos..... 30
III.2.1.2.1 Masas de aire, frentes fríos y eventos de "Norte" 30
III.2.1.2.2 Ondas tropicales, sistemas de baja presión y tormentas convectivas 31
III.2.1.2.3 Ciclones tropicales 31
III.2.1.2.4 Antecedentes ciclónicos del área de estudio 32
III.2.1.2.5 Medidas de prevención y respuesta 34
III.2.1.3 Fisiografía 35
III.2.1.4 Geomorfología 38
III.2.1.4.1 Planicie kárstica continental 39
III.2.1.4.2 Depresiones costeras y humedales 40
III.2.1.4.3 Cordón litoral, playa y formas dunares..... 40
III.2.1.4.4 Laguna arrecifal 41
III.2.1.4.5 Barrera arrecifal y discontinuidades..... 42
III.2.1.4.6 Celdas litorales..... 42
III.2.1.5 Geología 43
III.2.1.5.1 Formación Carrillo Puerto 45
III.2.1.5.2 Depósitos cuaternarios costeros..... 45
III.2.1.6 Hidrología..... 47
III.2.1.6.1 Hidrología superficial 47
III.2.1.6.1.1 Escurrimiento superficial 48
III.2.1.6.1.2 Corrientes y cuerpos de agua superficiales 49

III.2.1.6.1.3 Humedales y zonas inundables 49
III.2.1.6.2 Hidrología subterránea 51
III.2.1.6.2.1 Recarga del acuífero 52
III.2.1.6.2.2 Tipo de porosidad y circulación 53
III.2.1.6.2.3 Nivel freático y lente de agua dulce 53
III.2.1.6.2.4 Dirección del flujo subterráneo 53
III.2.1.6.2.5 Relación con los humedales 55
III.2.1.6.2.6 Vulnerabilidad a la contaminación 56
III.2.1.7 Suelo 57
III.2.1.8 Caracterización sedimentológica y compatibilidad granulométrica de las arenas 62
III.2.1.8.1 Muestras analizadas 63
III.2.1.8.2 Procesamiento de los resultados granulométricos 64
III.2.1.8.3 Distribución granulométrica acumulada 64
III.2.1.8.4 Diámetros característicos 67
III.2.1.8.5 Grado de selección del material 68
III.2.1.8.6 Comparación entre el Banco IRRM y la playa receptora 68
III.2.1.8.7 Contenido de partículas finas 69
III.2.1.8.8 Densidad de las arenas 69
III.2.1.8.9 Compatibilidad granulométrica 70
III.2.1.8.10 Comportamiento esperado en las obras del Proyecto 70
III.2.1.8.11 Medidas de control 71
III.2.8.1.12 Conclusión de la granulometría 72
III.2.1.9 Dinámica y transporte litoral de sedimentos 72
III.2.1.9.1 Transporte litoral regional 73
III.2.1.9.2 Condiciones de oleaje 73
III.2.1.9.3 Corrientes costeras locales 74
III.2.1.9.4 Transporte longitudinal y transversal 76
III.2.1.9.5 Evolución de la línea de costa 77
III.2.1.9.6 Relación con las características sedimentológicas 77
III.2.1.10 Procesos erosivos 78
III.2.1.10.1 Contexto erosivo regional 78

III.2.1.10.2 Análisis multitemporal de la línea de costa 80
III.2.1.10.3 Interpretación de los cambios observados 81
III.2.1.10.4 Consecuencias ambientales del proceso erosivo 81
III.2.1.10.5 Seguimiento de la evolución de la playa 82
III.2.1.11 Mareas, corrientes y oleaje 82
III.2.1.11.1 Mareas regionales 82
III.2.1.11.2 Marea local 83
III.2.1.11.3 Corrientes regionales 84
III.2.1.11.4 Corrientes locales 84
III.2.1.11.5 Oleaje regional 86
III.2.1.11.6 Oleaje local 87
III.2.1.11.7 Interacción entre mareas, corrientes y oleaje 88
III.2.1.12 Batimetría 89
III.2.1.13 Cambio climático 90
III.2.1.12.1 Escenarios climáticos y alcance de la evaluación 90
III.2.1.12.2 Cambios en el oleaje y eventos hidrometeorológicos extremos 91
III.2.1.12.3 Temperatura del océano y ecosistema arrecifal 92
III.2.1.12.4 Temperatura atmosférica y precipitación 92
III.2.1.12.5 Exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa 93
III.2.2 Medio Biótico 94
III.2.2.1 Vegetación Terrestre en la RE y AI 94
III.2.2.1.1 Uso del suelo y vegetación de la Región Ecológica 95
III.2.2.1.1.1 Manglar 97
III.2.2.1.1.2 Flora potencial del manglar y humedales asociados 98
III.2.2.1.1.3 Relación del manglar con el Proyecto 101
III.2.2.1.1.4 Vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia 101
III.2.2.1.1.5 Flora potencial de la vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia 102
III.2.2.1.1.6 Relación de la selva mediana subperennifolia con el Proyecto 105
III.2.2.2 Vegetación Terrestre en el AP 105
III.2.2.3 Fauna Terrestre en la RE y AI 105

III.2.2.3.1 Avifauna potencial 106
III.2.2.3.2 Mastofauna potencial 109
III.2.2.3.3 Herpetofauna potencial 110
III.2.2.3.4 Anfibios 112
III.2.2.4 Relación de la fauna terrestre con el Proyecto 113
III.2.2.3 Biota marina 113
III.2.2.3.1 Vegetación sumergida en la RE y AI 113
III.2.2.3.1.1 Fuente y alcance temporal de la cartografía bentónica 114
III.2.2.3.1.2 Estructura regional de la vegetación marina 117
III.2.2.3.1.3 Pastos marinos 117
III.2.2.3.1.4 Macroalgas bentónicas 118
III.2.2.3.1.5 Importancia funcional 119
III.2.2.3.1.6 Dinámica temporal y limitaciones interpretativas 120
III.2.2.3.2 Vegetación sumergida en el Área del Proyecto 120
III.2.2.3.2.1 Metodología de caracterización y elaboración de la capa bentónica 121
III.2.2.3.2.2 Unidades bentónicas identificadas 122
III.2.2.3.2.3 Relación espacial con las obras del Proyecto 126
III.2.2.3.2.4 Manejo de la interacción con pastos marinos 127
III.2.2.3.3 Fauna marina en la Región Ecológica y el Área de Influencia 127
III.2.2.3.3.1 Diversidad regional documentada 128
III.2.2.3.3.2 Distribución potencial por ambientes 129
III.2.2.3.4 Fauna marina en el Área del Proyecto 138
III.2.2.3.4.1 Metodología 138
III.2.2.3.4.2 Composición de la fauna marina 140
III.2.2.3.4.4 Especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 141
III.2.3 Medio socioeconómico 142
III.2.3.1 Población 142
III.2.3.2 Vivienda 144
III.2.3.2.1 Cuartos y dormitorios 145
III.2.3.2.2 Servicios básicos en la vivienda 146
III.2.3.2.3 Acceso a tecnologías de información y comunicación 147

III.2.3.3 Empleo 147
III.2.3.3.1 Población económicamente activa y desocupación 148
III.2.3.3.2 Población ocupada y condición de formalidad 149
III.2.3.3.3 Salarios 149
III.2.3.3.4 Principales ocupaciones 150
III.2.3.4 Educación 152
III.2.3.5 Turismo 153
III.2.4 Paisaje 156
IV.2.1.4.1 Análisis de la Visibilidad y Delimitación de Unidades de Paisaje (UP) 156
IV.2.1.4.2 Calidad Visual del Paisaje 157
IV.2.1.4.3 Fragilidad y Valoración Integral de las Unidades de Paisaje 159
III.3 Diagnóstico Ambiental de la RE, AI y AP 160
III.3.1 Síntesis funcional del sistema ambiental 160
III.3.2 Calidad ambiental de la RE, AI y AP 161
III.3.2.1 Calidad del aire y ambiente acústico 161
III.3.2.2 Calidad del suelo y los sedimentos 161
III.3.2.3 Calidad del agua y ambiente marino 162
III.3.2.4 Vegetación terrestre 162
III.3.2.5 Vegetación marina y hábitat bentónico 163
III.3.2.6 Fauna 164
III.3.2.7 Paisaje y medio socioeconómico 164
III.3.3 Estado de conservación por unidad de análisis 165
III.3.4 Problemática ambiental existente 166
III.3.5 Fragilidad y capacidad de recuperación 167
III.3.6 Tendencia ambiental sin Proyecto 168
III.3.7 Diagnóstico ambiental integrado 168

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Delimitación de la mesocelda y microcelda litoral en relación con el Proyecto. 14
Figura 2. A) Unidad de Gestión Ambiental 28 del Programa de Ordenamiento Ecológico Local aplicable al sitio del Proyecto; B) Unidad Ambiental Biofísica 62, Región Ecológica 17.33, del Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio. 17
Figura 3. A) Ubicación de la Región Marina Prioritaria Punta Maroma-Nizuc. B) Batimetría e isóbata aproximada de −4 m consideradas para la delimitación de la Región Ecológica. 17
Figura 4. A) Uso del suelo y vegetación dentro de la Región Ecológica, conforme a la Serie VII del INEGI. B) Mesocelda litoral. 18
Figura 5. Región Ecológica delimitada para el Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa. 19
Figura 6. Área de Influencia del Proyecto delimitada mediante la microcelda litoral. 23
Figura 7. Tipo de clima presente en la Región Ecológica, el Área de Influencia y el Área del Proyecto. 26
Figura 8. Climograma de la estación meteorológica 023155 Cancún, Benito Juárez, utilizado como referencia regional. 28
Figura 9. Rosas estacionales y anual de viento para el sector costero de Dreams Puerto Morelos, obtenidas mediante datos de reanálisis. 29
Figura 10. Trayectorias históricas de ciclones tropicales registradas dentro de un radio de 100 km alrededor del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa. Fuente: HURDAT2 del NHC-NOAA. 33
Figura 11. Ciclones tropicales seleccionados con incidencia en Quintana Roo y la península de Yucatán 34
Figura 12. Configuración fisiográfica y geológica regional de la península de Yucatán. Fuente: adaptada de García y Graniel (2010). La figura representa el contexto regional y no la delimitación puntual del Proyecto. 36
Figura 13. A) Configuración del frente costero del actual Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa en octubre de 2005; B) Configuración del frente costero del actual Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa en septiembre de 2006. 41
Figura 14. Mesocelda y microcelda identificadas para el Proyecto. 43
Figura 15. Configuración geológica regional de la costa de Puerto Morelos. Fuente: adaptada del documento proporcionado, con base en Ortiz et al. (2016). 44
Figura 16. Ubicación regional de Puerto Morelos dentro de la Región Hidrológica 32 Yucatán Norte y la cuenca RH32A Quintana Roo. 48
Figura 17. Curvas equipotenciales y dirección general del flujo subterráneo en el área urbana y costera de Puerto Morelos. 54
Figura 18. Representaciones antecedentes de la dirección regional del flujo subterráneo hacia la costa de Puerto Morelos. 55
Figura 19. Unidades edafológicas presentes en la Región Ecológica, el Área de Influencia y el Área del Proyecto. Fuente: Elaboración propia con base en la cartografía edafológica del INEGI y la delimitación espacial del Proyecto. La superficie delimitada en color azul corresponde a la Región

Ecológica; el polígono amarillo representa el Área de Influencia y los elementos en color rojo corresponden al Área del Proyecto. 60
Figura 20. Curvas granulométricas comparativas de las muestras M3 y M4 del frente costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa y de la muestra Puerto Morelos M1 del Banco IRRM. 66
Figura 21. Altura, periodo y dirección del oleaje registrados frente al área de estudio mediante ADCP. 74
Figura 22. Datos de corriente. El panel superior muestra la señal de marea. El panel central muestra la magnitud de la velocidad en la columna de agua, los valores se muestran en el panel lateral. El panel inferior muestra la dirección de la corriente en la columna de agua en grados. 75
Figura 23. Rosa de corrientes locales con componentes dominantes hacia el nor-noreste y sur-suroeste. 75
Figura 24. Comparación multitemporal de las posiciones de la línea de costa frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa durante el periodo 2005–2023. 80
Figura 25. Datos de corriente. El panel superior muestra la señal de marea. El panel central muestra la magnitud de la velocidad en la columna de agua, los valores se muestran en el panel lateral. El panel inferior muestra la dirección de la corriente en la columna de agua en grados. 85
Figura 26. Rosa de corrientes locales con direcciones dominantes NNE–SSW. 85
Figura 27. Rosas de oleaje de condiciones normales obtenidas de la base de datos de reanálisis WWIII. 86
Figura 28. Rosas de oleaje de condiciones de tormenta obtenidos de la base de datos de reanálisis WWIII. 87
Figura 29. Altura, periodo y dirección del oleaje registrados mediante ADCP frente al área del Proyecto. 88
Figura 30. Batimetría e isobatas del frente costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa. 89
Figura 31. Uso del suelo y vegetación de la Región Ecológica, Área de Influencia y Área del Proyecto 96
Figura 32. Distribución de la cobertura bentónica en la Región Ecológica y el Área de Influencia del Proyecto. 115
Figura 33. Caracterización de la vegetación sumergida y de las unidades bentónicas presentes en el Área del Proyecto. 122
Figura 34. Superposición de las obras del Proyecto con las unidades de vegetación sumergida y coberturas bentónicas. 126
Figura 35. Ubicación de los transectos de observación de fauna marina y unidades bentónicas presentes en el Área del Proyecto. 139
Figura 36. Composición de la población por sexo en el municipio de Puerto Morelos, 2020. 143
Figura 37. Indicadores sociodemográficos y crecimiento de la población del municipio de Puerto Morelos. 144
Figura 38. Condiciones de ocupación y disponibilidad de servicios en las viviendas del municipio de Puerto Morelos. 145

Figura 39. Distribución de las viviendas particulares habitadas según número de cuartos y dormitorios en Puerto Morelos, 2020. 146
Figura 40. Evolución de la población económicamente activa y tasa de desocupación en Quintana Roo. 148
Figura 41. Evolución del salario promedio mensual de los trabajadores formales e informales en Quintana Roo. 150
Figura 42. Distribución de la población ocupada por grupos de ocupación en Quintana Roo durante el primer trimestre de 2026. 151

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios y elementos utilizados para delimitar la Región Ecológica 14
Tabla 2. Coordenadas de referencia de la Región Ecológica 18
Tabla 3.Criterios y elementos utilizados para delimitar el Área de Influencia 21
Tabla 4. Coordenadas de referencia del Área de Influencia 22
Tabla 5. Síntesis del comportamiento climático regional 27
Tabla 6. Componentes fisiográficos del AP. 37
Tabla 7. Síntesis fisiográfica de la Re, AI y AP. 38
Tabla 8. Unidades geomorfológicas regionales. 39
Tabla 9. Unidades o depósitos cuaternarios presentes en la RE, AI y AP. 45
Tabla 10. Región y cuenca hidrológica de la RE, AI y AP. 47
Tabla 11. Síntesis de hidrología superficial. 51
Tabla 12. Síntesis de hidrología subterránea. 56
Tabla 13. Distribución de las unidades edafológicas 58
Tabla 14. Identificación y procedencia de las muestras utilizadas en la caracterización sedimentológica. 64
Tabla 15. Distribución granulométrica acumulada de las arenas del sitio del Proyecto y del Banco IRRM. 65
Tabla 16. Diámetros característicos y densidad de las arenas analizadas. 67
Tabla 17. Relaciones granulométricas entre el Banco IRRM y las muestras del frente costero. 68
Tabla 18. Tipos de procesos de transporte de sedimentos. 76
Tabla 19. Caracterización sedimento dinámica de las muestras. 77
Tabla 20. Factores regionales y locales que influyen en el proceso erosivo. 79
Tabla 21. Características de las mareas regionales. 83
Tabla 22. Parámetros para condición en aguas profundas. 86
Tabla 23. Parámetros del oleaje en aguas profundas y frente al predio. 87
Tabla 24. Escenarios de cambio climático vs el aumento promedio en la altura del nivel del mar. 90
Tabla 25. Riesgos climáticos relevantes. 93
Tabla 26. Uso del suelo y vegetación presente en la Región Ecológica. 95
Tabla 27. Flora potencial del manglar, humedales y ambientes de transición de la Región Ecológica. 98

Tabla 28. Flora potencial de la vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia de la Región Ecológica. 102
Tabla 29. Especies de aves de presencia potencial en la Región Ecológica y AI. 107
Tabla 30. Especies de mamíferos terrestres de presencia potencial en la Región Ecológica. 109
Tabla 31. Especies de reptiles de presencia potencial en la Región Ecológica. 111
Tabla 32. Especies de anfibios de presencia potencial en la Región Ecológica. 112
Tabla 33. Coberturas bentónicas identificadas en la RE y el AI. 116
Tabla 34. Pastos marinos de presencia potencial en la RE y el AI. 117
Tabla 35. Macroalgas de presencia potencial en la RE y el AI. 118
Tabla 36. Unidades bentónicas identificadas en el Área del Proyecto. 123
Tabla 37. Macroalgas potenciales en las unidades de arena con algas y laja con algas. 124
Tabla 38. Pastos marinos potenciales dentro del Área del Proyecto. 125
Tabla 39. Diversidad de fauna marina documentada históricamente para el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. 128
Tabla 40. Relación entre las coberturas bentónicas y la fauna marina potencial. 129
Tabla 41. Cnidarios de presencia potencial en la RE y el AI. 130
Tabla 42. Esponjas y organismos sésiles de presencia potencial. 131
Tabla 43. Crustáceos de presencia potencial en la RE y el AI. 132
Tabla 44. Moluscos de presencia potencial en la RE y el AI. 132
Tabla 45. Equinodermos de presencia potencial en la RE y el AI. 133
Tabla 46. Peces de presencia potencial en la RE y el AI. 134
Tabla 47. Especie marina invasora de presencia potencial. 136
Tabla 48. Tortugas marinas de presencia potencial en la RE y el AI. 136
Tabla 49. Condrictios de presencia potencial en la RE y el AI. 136
Tabla 50. Mamíferos marinos de presencia potencial regional. 137
Tabla 51. Especies marinas potenciales de especial interés para la conservación. 138
Tabla 52. Coordenadas y longitud de los transectos utilizados para la caracterización de fauna marina en el Área del Proyecto 139
Tabla 53. Fauna marina registrada mediante observación directa en el Área del Proyecto. 140
Tabla 54. Composición de la fauna observada por grupo faunístico 141
Tabla 55. Composición de la población del municipio de Puerto Morelos, 2020 142
Tabla 56. Indicadores generales de vivienda en el municipio de Puerto Morelos, 2020 144
Tabla 57. Principales características de cuartos y dormitorios en las viviendas, 2020. 146
Tabla 58. Acceso a tecnologías en las viviendas del municipio de Puerto Morelos, 2020 147
Tabla 59. Principales indicadores laborales de Quintana Roo, primer trimestre de 2026 148
Tabla 60. Salario promedio mensual por condición laboral en Quintana Roo, primer trimestre de 2026 149
Tabla 61. Ocupaciones de particular relación con el contexto del Proyecto. 151
Tabla 62. Distribución porcentual del nivel de escolaridad en la población de 15 años y más en Puerto Morelos (2020). 152
Tabla 63. Distribución de la población analfabeta por sexo en Puerto Morelos (2020). 153

Tabla 64. Capacidad e infraestructura turística en Puerto Morelos 154
Tabla 65. Distribución de visitantes según región y país de procedencia. 154
Tabla 66. Principales entidades federativas emisoras de turismo nacional a Puerto Morelos. 155
Tabla 67. Distribución por grupos de edad / generaciones de turistas en Puerto Morelos. 155
Tabla 68. Conceptos fundamentales para la evaluación del paisaje. 156
Tabla 69. Unidades de Paisaje (UP) identificadas en el Sistema Ambiental. 157
Tabla 70. Evaluación de la calidad visual del sitio mediante el Método BLM (1980). 158
Tabla 71. Escala de clasificación de calidad escénica (BLM). 159
Tabla 72. Valoración integral de las Unidades de Paisaje (UP). 159
Tabla 73. Uso del suelo y vegetación dentro de la Región Ecológica 162
Tabla 74. Diagnóstico ambiental comparativo de la RE, AI y AP 165
Tabla 75.Fragilidad y capacidad de recuperación de los componentes relevantes 167

III. DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN ECOLÓGICA Y SEÑALAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DETECTADA

El presente capítulo tiene por objeto describir y caracterizar las condiciones ambientales de la Región Ecológica (RE), el Área de Influencia (AI) y el Área del Proyecto (AP), a efecto de establecer la línea base ambiental sobre la cual se identificarán y evaluarán los impactos que potencialmente podrían derivarse de la preparación, construcción, operación y mantenimiento del Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa.

La delimitación de estas unidades se realizó mediante un enfoque ecosistémico y funcional, considerando que el Proyecto se inserta en un sistema litoral costero donde interactúan procesos geomorfológicos, oceanográficos, sedimentarios, hidrológicos, biológicos y territoriales. En consecuencia, los límites de análisis no se establecieron exclusivamente mediante divisiones político-administrativas o distancias uniformes alrededor de las obras, sino a partir de unidades ambientales que permiten comprender las relaciones existentes entre la playa, la duna, la laguna arrecifal, el fondo marino, la vegetación sumergida, las corrientes costeras y el transporte de sedimentos.

La caracterización ambiental se integrará a partir del análisis de los componentes físicos, bióticos y socioeconómicos presentes en cada unidad espacial, empleando información oficial, cartografía temática, imágenes satelitales, levantamientos de campo, estudios técnicos y procesamiento geoespacial mediante Sistemas de Información Geográfica.

Para efectos del presente estudio se establecen las siguientes unidades:

- **Región Ecológica:** unidad territorial de mayor amplitud que integra el contexto ambiental y funcional en el que se inserta el Proyecto. Su referente principal es la mesocelda litoral y su delimitación se complementa con instrumentos de ordenamiento ecológico, regiones prioritarias, unidades biofísicas, batimetría y coberturas de uso del suelo y vegetación.
- **Área de Influencia:** unidad espacial dentro de la cual pueden manifestarse los impactos directos e indirectos derivados de las obras. Para este Proyecto corresponde a la microcelda litoral que contiene el frente costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa.
- **Área del Proyecto**: conjunto de polígonos y superficies que serán ocupados o utilizados directamente por las barreras de contención, barreras rompeolas, áreas de vertimiento de arena, dunas artificiales, pasos elevados, Banco IRRM, líneas de conducción y áreas temporales de maniobra.

La diferenciación de estas unidades permite realizar el análisis ambiental de manera jerárquica: desde el contexto regional del sistema costero hasta las superficies específicas donde se desarrollarán las obras y actividades.

III.1 Delimitación de la Región Ecológica, del Área de Influencia y Área del Proyecto

III.1.1 Definición de la RE del Proyecto

La delimitación de la Región Ecológica se realizó mediante un enfoque de integración territorial jerarquizada, considerando unidades ambientales de distinta escala y función. Bajo este enfoque, la Región Ecológica no se define únicamente como un polígono administrativo o cartográfico, sino como una unidad territorial representativa del contexto ambiental dentro del cual se insertan las obras y se desarrollan los procesos ecológicos y físicos que podrían relacionarse con el Proyecto.

Debido a la naturaleza costera y marina de las obras, el criterio rector de delimitación fue la dinámica litoral. Una celda litoral puede entenderse como un segmento de costa que contiene fuentes, rutas de transporte, áreas de almacenamiento y sumideros de sedimentos, dentro del cual puede analizarse el balance sedimentario y la evolución de la línea de costa.

Para el sector de estudio se reconocieron tres escalas de análisis: macrocelda, mesocelda y microcelda. Sin embargo, la macrocelda no se utilizó para delimitar la Región Ecológica debido a que comprende una extensión territorial y marina considerablemente mayor que el ámbito funcional razonablemente relacionado con las obras.

La mesocelda litoral se adoptó como referente funcional principal de la Región Ecológica, debido a que permite incorporar los procesos de oleaje, circulación, transporte de sedimentos y evolución costera que ocurren a una escala regional intermedia. Esta unidad se encuentra delimitada al norte por el sector correspondiente a Margaritaville Island Reserve Riviera Cancún y al sur por API Puerto Morelos.

Dentro de la mesocelda se encuentra la microcelda litoral, delimitada al norte por Punta Petempich y al sur por el Hotel Excellence Riviera Cancún. En esta unidad de menor escala se localizan directamente el Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa y las obras de restauración y estabilización litoral.

La delimitación basada en celdas litorales permite reconocer que la evolución de la playa no depende únicamente de las condiciones existentes frente al predio, sino también de las entradas, salidas y redistribución de sedimentos, de la propagación del oleaje, de las corrientes alineadas a la costa y de la configuración del arrecife y la laguna arrecifal.

La microcelda presenta una tendencia erosiva relevante, asociada con la acción combinada del oleaje, el transporte sedimentario, las modificaciones históricas del frente costero y la presencia de discontinuidades en la cresta arrecifal que permiten una mayor propagación de la energía hacia la costa. Estas condiciones explican la necesidad de analizar el Proyecto dentro de un sistema funcional más amplio que su huella inmediata.

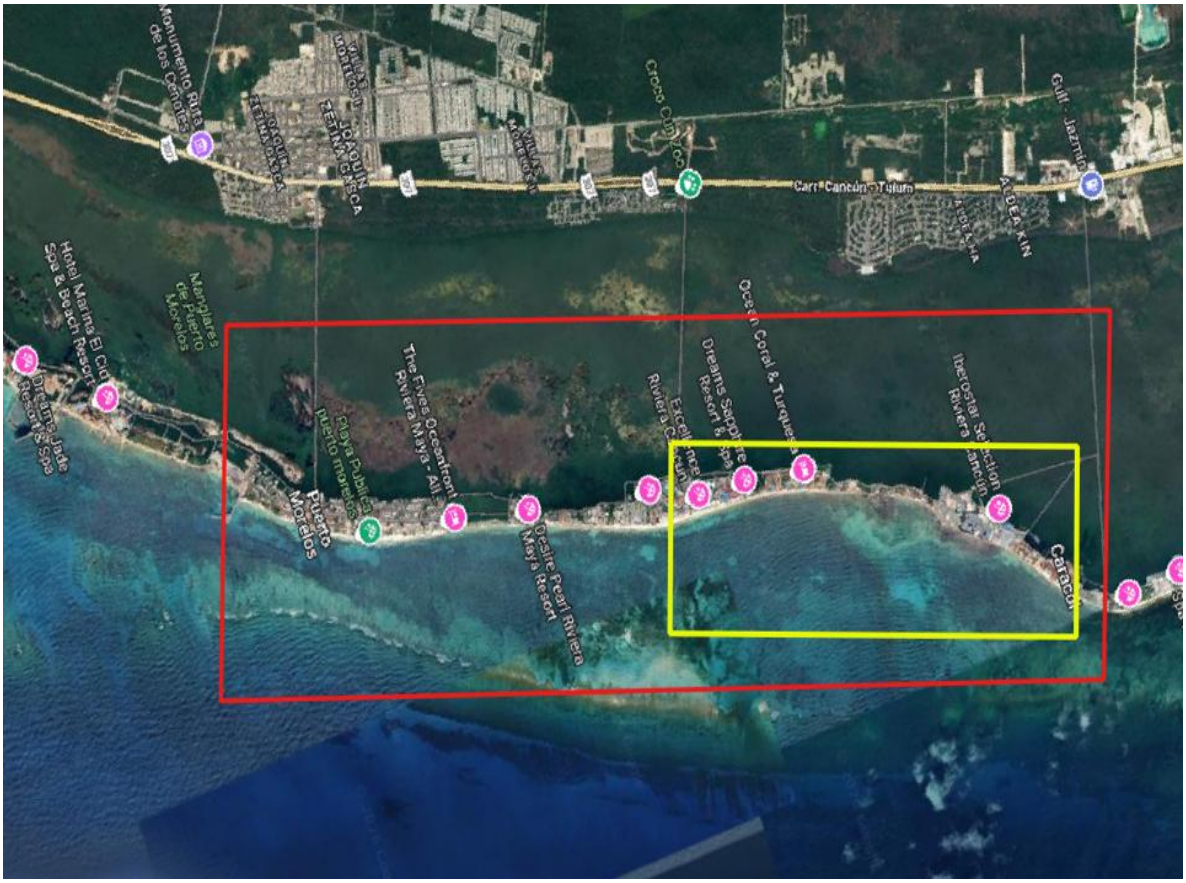


Figura 1. Delimitación de la mesocelda y microcelda litoral en relación con el Proyecto.

La mesocelda se complementó con otros elementos cartográficos y ambientales que permitieron verificar la representatividad ecológica y territorial del polígono. Estos elementos no se utilizaron mediante una unión indiscriminada de todas sus superficies, sino como capas de integración y validación para definir el contexto ambiental del sistema costero.

Entre los elementos utilizados se encuentran las Unidades de Gestión Ambiental del Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Benito Juárez aplicables al sitio; la Región Marina Prioritaria Punta Maroma-Nizuc; la Unidad Ambiental Biofísica 62, Región Ecológica 17.33, del Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio; la isóbata aproximada de −4 m; y la cartografía de Uso del Suelo y Vegetación, Serie VII, del INEGI.

Tabla 1. Criterios y elementos utilizados para delimitar la Región Ecológica

Categoría	Criterio o elemento utilizado	Información y justificación para la delimitación
Dinámica litoral	Mesocelda litoral	Constituye el referente funcional principal para delimitar la **Región Ecológica**. Integra un tramo de costa que comparte procesos de propagación del oleaje, circulación de aguas costeras, transporte sedimentario y evolución de la línea de costa. Su escala permite analizar el Proyecto dentro de un contexto regional sin extender la delimitación hasta la macrocelda.
Dinámica litoral local	Microcelda litoral	Es la unidad de menor escala en la que se localizan directamente el predio y las obras. Se encuentra delimitada al norte por Punta Petempich y al sur por el Hotel Excellence Riviera Cancún. Aunque está contenida dentro de la Región Ecológica, se utiliza específicamente para delimitar el Área de Influencia.
Ordenamiento ecológico local	UGA 28 del POEL del Municipio de Benito Juárez	La UGA 28, Centro de Población de Puerto Morelos, comprende el sector terrestre-costero en el que se localiza el Proyecto. Su incorporación permite considerar las políticas, usos, condiciones ambientales y criterios ecológicos establecidos para el territorio.
Ordenamiento ecológico general	UAB 62, Región Ecológica 17.33, del POEGT	Proporciona el contexto biofísico regional reconocido por el Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio y permite relacionar el sistema costero con las características ambientales de la región continental inmediata.
Región prioritaria	Región Marina Prioritaria Punta Maroma-Nizuc	Reconoce la importancia ecológica regional de los ecosistemas marinos y costeros del área, así como su biodiversidad, fragilidad y problemática ambiental. Permite contextualizar la relación entre playa, laguna arrecifal, vegetación marina y arrecife.
Geomorfología costera	Sistema playa-duna-laguna arrecifal	El Proyecto se encuentra dentro de un sistema conformado por playa, zona intermareal, fondo marino somero, vegetación sumergida y formaciones arrecifales próximas. Estos componentes mantienen relaciones funcionales de intercambio de agua, energía y sedimentos.
Batimetría	Isóbata aproximada de −4 m	Se utiliza como referente físico para delimitar la zona marina somera asociada con la propagación local del oleaje, circulación costera, transporte de sedimentos y distribución de comunidades bentónicas. Permite evitar la extensión injustificada de la Región Ecológica hacia aguas oceánicas profundas.
Uso del suelo y vegetación	Uso del Suelo y Vegetación, Serie VII, INEGI	Permite identificar la distribución de las coberturas terrestres y costeras dentro de la Región Ecológica.

Categoría	Criterio o elemento utilizado	Información y justificación para la delimitación
		Destacan el manglar, vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia, asentamientos humanos, zonas desprovistas de vegetación y cuerpos de agua.
Humedales costeros	Manglar	Estas coberturas forman parte del contexto ecológico regional, aunque no serán intervenidas por las obras. Su consideración permite analizar la relación espacial entre la porción continental y el sistema costero y verificar la separación existente respecto de las áreas del Proyecto.
Vegetación terrestre	Vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia	Representa una de las coberturas naturales y seminaturales de la porción continental. Su incorporación permite caracterizar el gradiente terrestre-costero, aunque las obras no contemplan su remoción o modificación.
Componente marino	Laguna arrecifal y tipos de fondo	Comprende fondos de arena, arena con algas, laja con algas, laja con gorgonáceos y parches de pastos marinos. Estos componentes representan receptores ambientales relevantes por su posible interacción con las obras marinas.
Área Natural Protegida	Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos	Permite incorporar la zonificación y el régimen de manejo del sistema marino-costero protegido. Las etapas 1, 2 y 3 y las dunas artificiales se localizan en la Zona I. Uso Recreativo Intensivo, mientras que el Banco IRRM se encuentra en la Zona para Navegación en la Laguna Arrecifal.

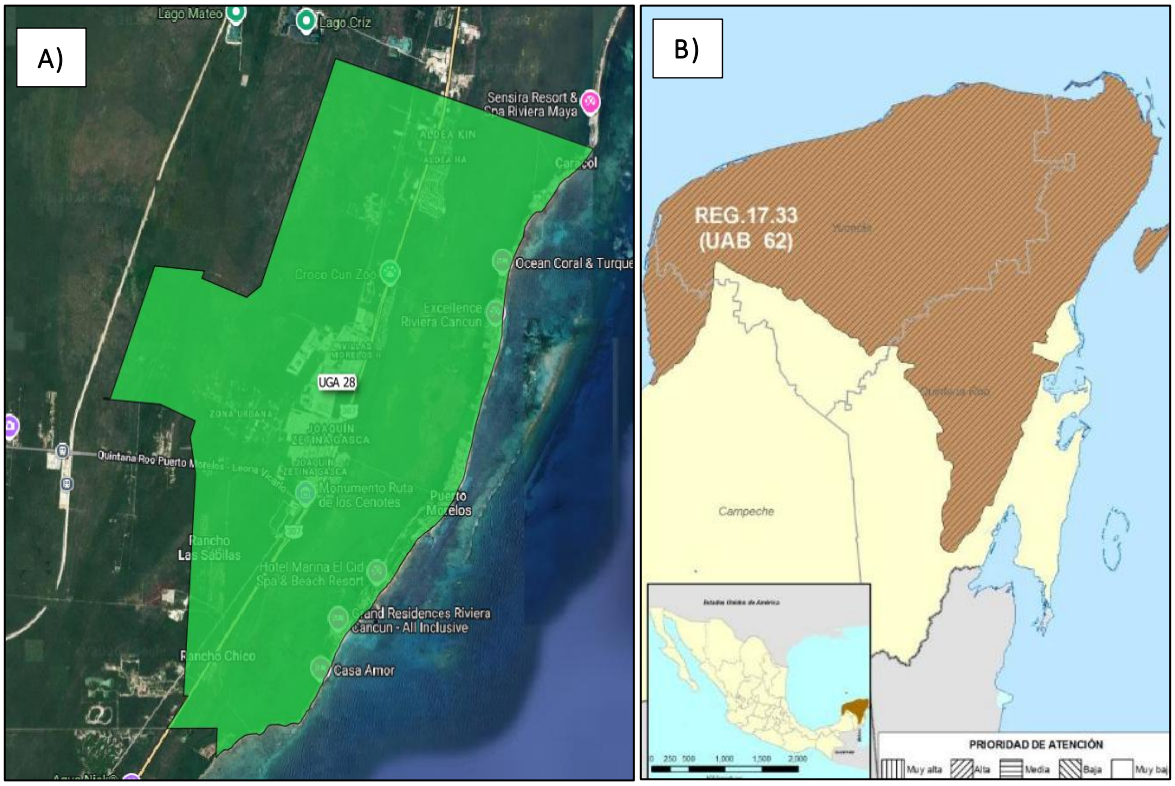


Figura 2. A) Unidad de Gestión Ambiental 28 del Programa de Ordenamiento Ecológico Local aplicable al sitio del Proyecto; B) Unidad Ambiental Biofísica 62, Región Ecológica 17.33, del Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio.

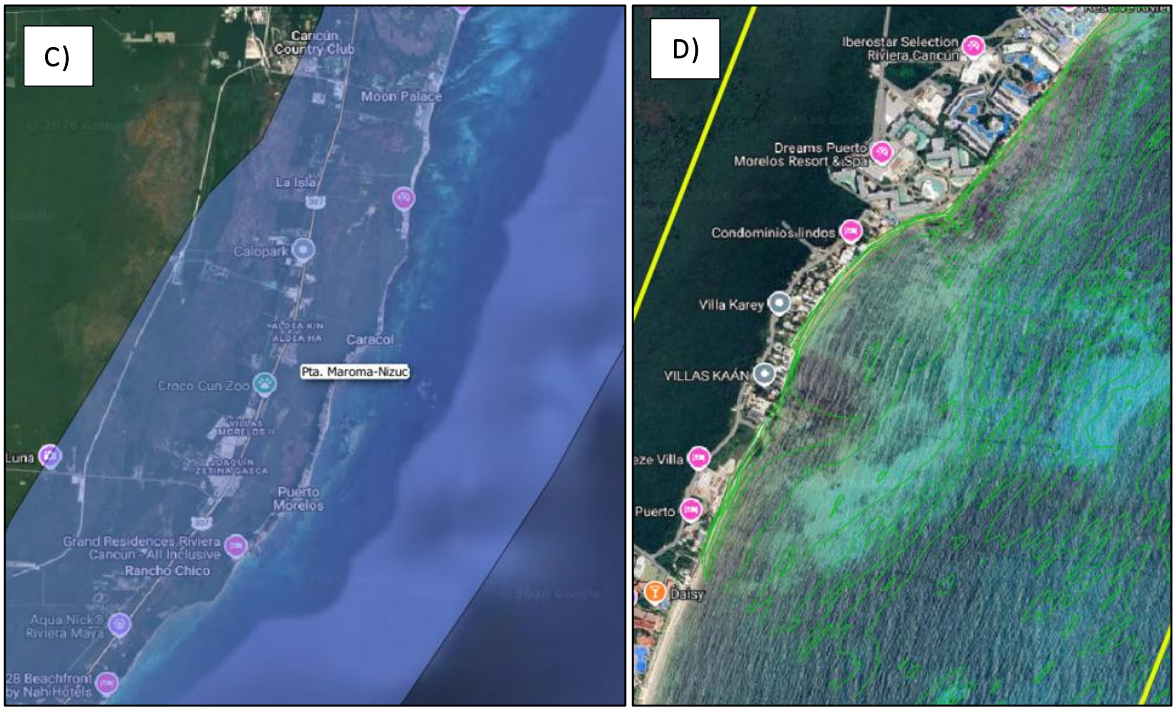


Figura 3. A) Ubicación de la Región Marina Prioritaria Punta Maroma-Nizuc. B) Batimetría e isóbata aproximada de −4 m consideradas para la delimitación de la Región Ecológica.

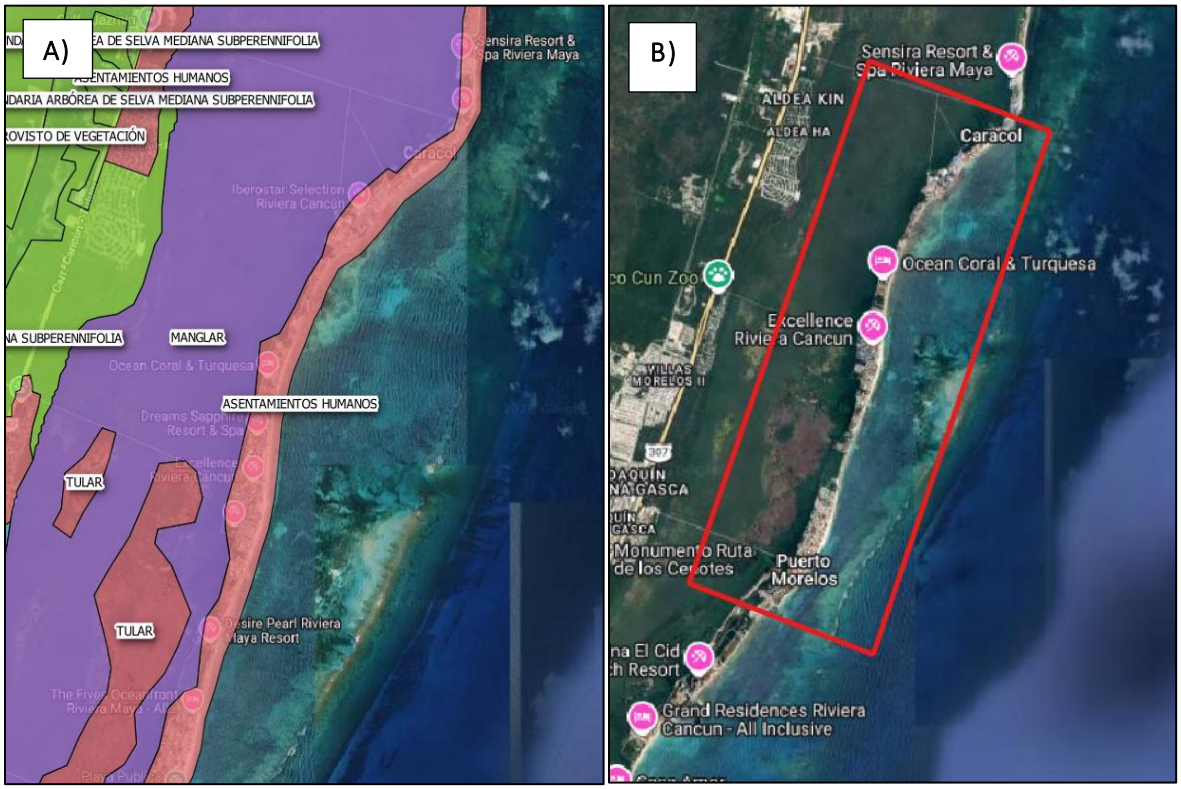


Figura 4. A) Uso del suelo y vegetación dentro de la Región Ecológica, conforme a la Serie VII del INEGI. B) Mesocelda litoral.

La integración de los criterios anteriores permitió establecer una Región Ecológica con una superficie de 22,369,913.66 m², equivalentes a 2,236.99 ha o 22.369 km².

Las coordenadas de referencia de la Región Ecológica se presentan en la tabla siguiente, expresadas en el sistema de coordenadas UTM, zona 16 Norte, datum WGS84.

Tabla 2. Coordenadas de referencia de la Región Ecológica

Punto	Coordenada X	Coordenada Y
1	512914.779	2312405.996
2	516383.244	2311358.414
3	514380.514	2305473.467
4	510890.041	2306815.957
1	512914.779	2312405.996
Superficie	22,369,913.66 m²	2,236.99 ha

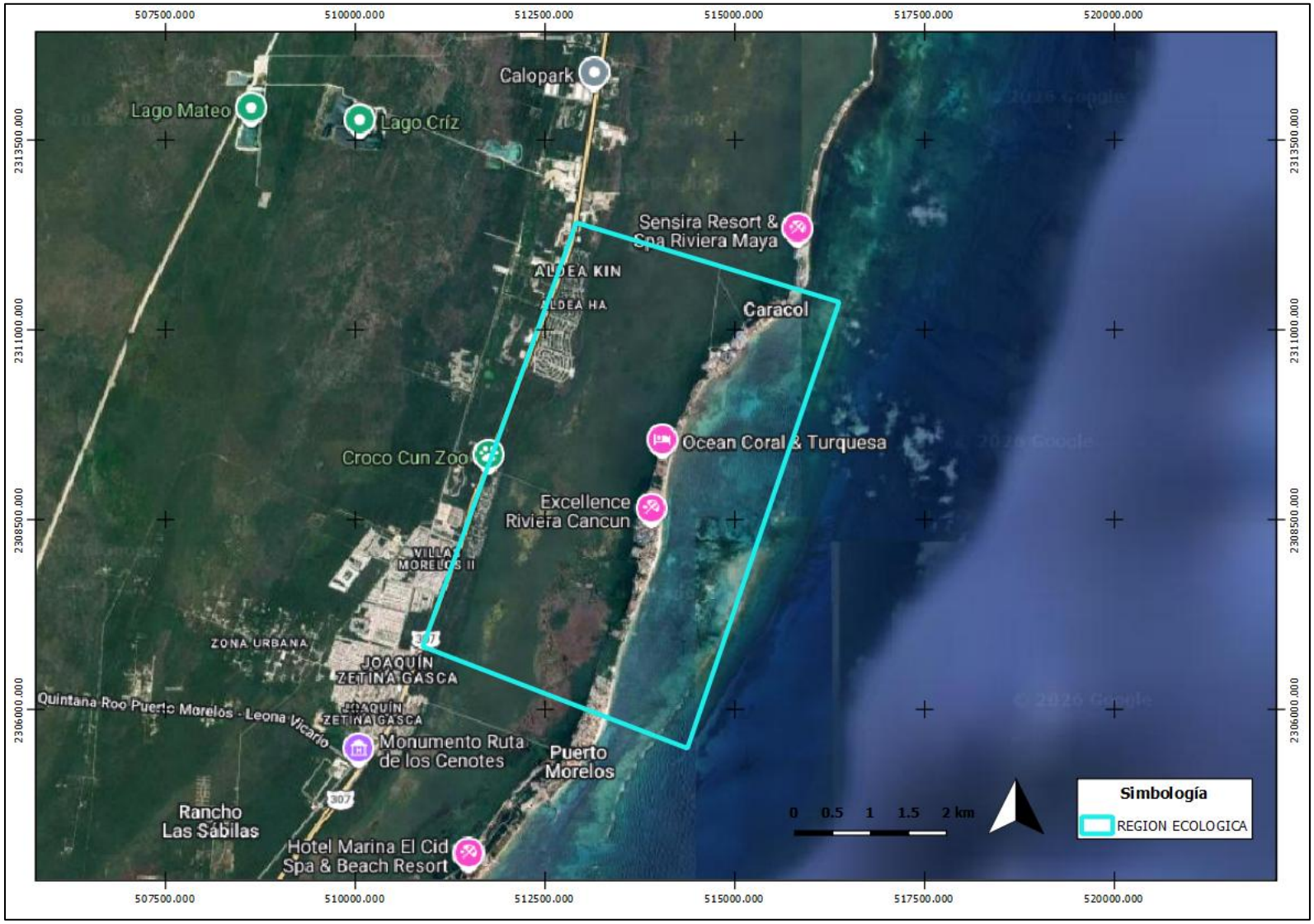


Figura 5. Región Ecológica delimitada para el Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa.

En términos ambientales, la Región Ecológica comprende un gradiente terrestre-marino en el que se reconocen asentamientos humanos y desarrollos turísticos sobre la franja costera, coberturas de manglar, tular y vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia hacia la porción continental, así como playa arenosa, laguna arrecifal, pastos marinos, fondos de arena, algas, laja y gorgonáceos en la porción marina.

Aunque la Región Ecológica incluye coberturas de manglar y otros humedales costeros, las obras no se desarrollarán sobre dichos ecosistemas. Su inclusión responde a la necesidad de caracterizar integralmente el contexto ambiental regional y no implica que formen parte del Área del Proyecto.

III.1.2 Definición del Área de Influencia y del Área del Proyecto

Área de Influencia

El Área de Influencia corresponde al espacio donde potencialmente pueden manifestarse los impactos directos e indirectos derivados de las obras y actividades del Proyecto. Su delimitación considera tanto la ubicación de los componentes constructivos como la extensión de los procesos físicos y biológicos susceptibles de interacción.

Para el presente Proyecto se adoptó como Área de Influencia la microcelda litoral, debido a que constituye la unidad funcional de menor escala que contiene el frente costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa y los procesos locales de oleaje, circulación, transporte de sedimentos y evolución de la línea de costa.

La microcelda se encuentra delimitada al norte por Punta Petempich y al sur por el Hotel Excellence Riviera Cancún. Dentro de ella se localizan las barreras de contención C1 y C2, las barreras rompeolas, los polígonos de vertimiento V1 y V2, las dunas artificiales y los pasos elevados.

La selección de la microcelda permite incorporar los tramos costeros inmediatamente adyacentes en los que podrían manifestarse temporalmente efectos relacionados con la ocupación del fondo, extracción y colocación de arena, generación de turbidez, tránsito de personal y embarcaciones, ruido, desplazamiento de fauna, interacción con vegetación marina y redistribución local de sedimentos.

La delimitación también permite incluir los sectores ubicados al norte y sur del predio que comparten los procesos locales de transporte litoral, lo que permitirá evaluar la evolución del perfil de playa y detectar posibles cambios en la acumulación o pérdida de sedimentos.

Tabla 3.Criterios y elementos utilizados para delimitar el Área de Influencia

Categoría	Criterio o elemento utilizado	Información y justificación para la delimitación
Unidad funcional	Microcelda litoral	Constituye la unidad espacial de menor escala que contiene el Proyecto y los procesos costeros directamente relacionados con sus obras. Permite integrar el tramo litoral susceptible de recibir impactos directos o indirectos.
Área del Proyecto	Polígonos de las etapas 1, 2 y 3, dunas y pasos elevados	Representan las superficies donde ocurrirá la colocación de estructuras, vertimiento de arena, conformación dunar, revegetación y tránsito peatonal. Constituyen el núcleo del área de influencia directa.
Banco de arena	Banco IRRM	Su aprovechamiento forma parte de las actividades asociadas al Proyecto. Su inclusión responde a la extracción de arena, operación temporal de equipos y modificación puntual del fondo marino.
Conducción de arena	Ruta entre el Banco IRRM y las áreas de hidrollenado y vertimiento	Incorpora el espacio utilizado para la instalación y operación temporal de las líneas de conducción, así como las áreas inmediatas de maniobra, inspección y control.
Batimetría	Zona marina somera	Comprende el ámbito donde las obras interactúan directamente con el fondo marino, el oleaje, las corrientes costeras y el transporte de sedimentos.
Dinámica sedimentaria	Transporte longitudinal y transversal	Permite incorporar los sectores localizados al norte y sur del frente del hotel en los que podrían presentarse cambios en la acumulación o redistribución de arena.
Comunidades bentónicas	Arena, algas, laja, gorgonáceos y pastos marinos	Representan componentes susceptibles de interacción por ocupación, sedimentación, turbidez, tránsito de equipos o anclaje. El Área de Influencia incluye los parches próximos a las obras, aunque no se encuentren totalmente dentro de su huella.

Categoría	Criterio o elemento utilizado	Información y justificación para la delimitación
Sistema playa-duna	Playa, zona intermareal y dunas artificiales	Comprende el espacio donde se realizará la colocación de arena, conformación del perfil, revegetación y establecimiento de pasos elevados.
Fauna silvestre	Zona de desplazamiento de fauna marina y uso potencial por tortugas marinas	Permite considerar molestias temporales derivadas del ruido, iluminación, presencia humana y tránsito. Aunque no se han registrado avistamientos recientes de tortugas marinas, su presencia eventual no puede descartarse.
Calidad ambiental	Posible dispersión temporal de sedimentos, ruido y residuos	La microcelda proporciona una unidad precautoria para evaluar y controlar los efectos que potencialmente puedan extenderse más allá de las huellas directas.
Seguimiento ambiental	Tramos de costa y fondos marinos adyacentes	Permite dar seguimiento a la línea de costa, perfil de playa, batimetría, vegetación marina y sectores colindantes antes, durante y después de las obras.

El Área de Influencia presenta una superficie de **4,847,500.90** m², equivalentes a **484.75** ha o 4.84 km².

Las coordenadas de referencia se presentan en la tabla siguiente, expresadas en UTM, zona 16 Norte, datum WGS84.

Tabla 4. Coordenadas de referencia del Área de Influencia

Punto	Coordenada X	Coordenada Y
1	513470.243	2308409.794
2	514690.245	2311690.281
3	515988.381	2311207.508
4	514768.378	2307927.021
1	513470.243	2308409.794
Superficie	**4,847,500.90 m²**	**484.75 ha**

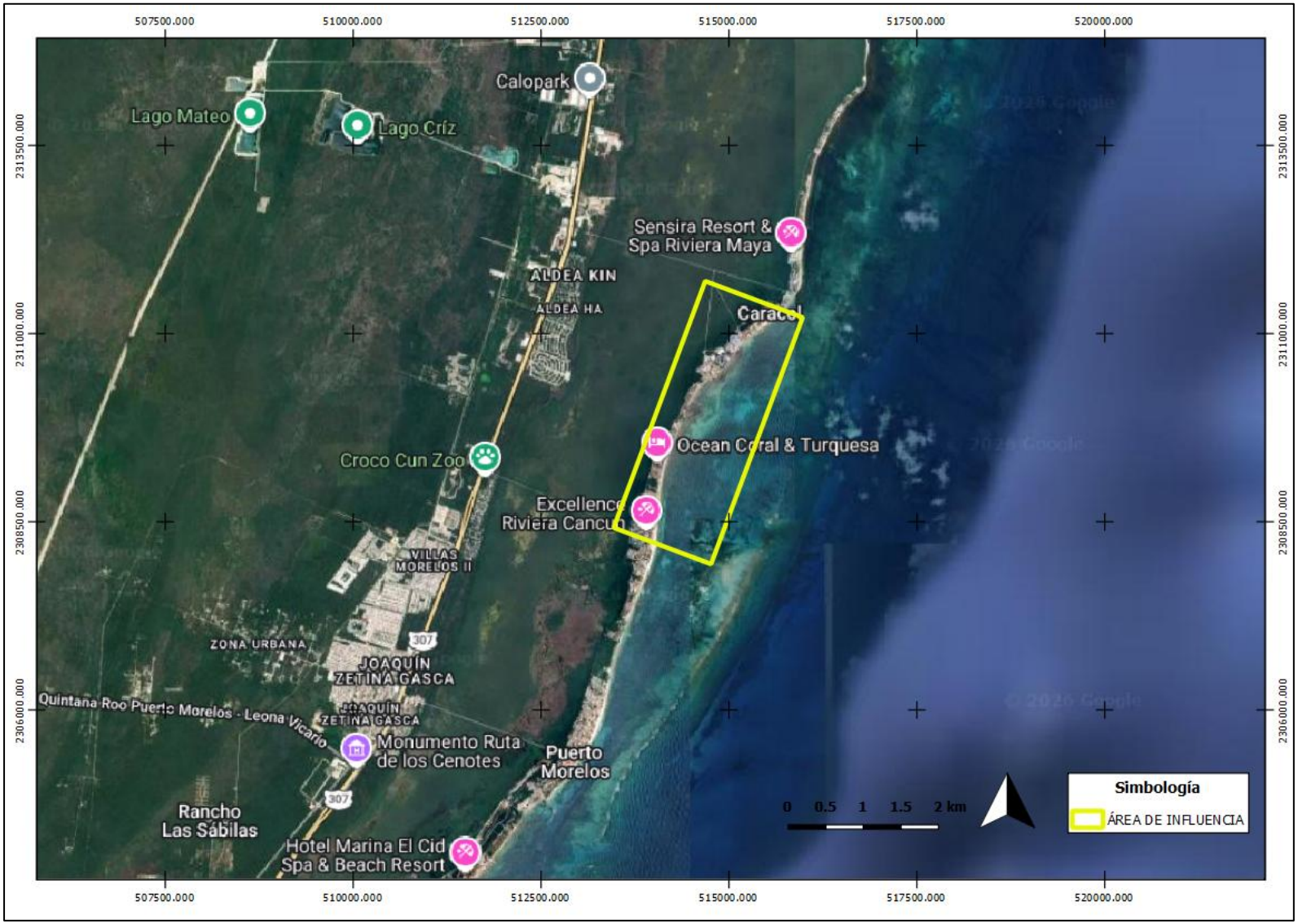


Figura 6. Área de Influencia del Proyecto delimitada mediante la microcelda litoral.

Área del Proyecto

El Área del Proyecto está integrada por las superficies que serán ocupadas o utilizadas directamente para ejecutar las obras y actividades descritas en el Capítulo I. Comprende tanto los componentes permanentes de restauración y estabilización litoral como las áreas de aprovechamiento y apoyo temporal asociadas con su construcción.

El Área del Proyecto incluye:

- Las barreras de contención C1 y C2 correspondientes a la etapa 1.
- Las 18 barreras rompeolas de geotextil correspondientes a la etapa 2.
- Los polígonos de vertimiento de arena V1 y V2 correspondientes a la etapa 3.
- Las seis secciones de duna artificial.
- Los seis pasos elevados.
- El Banco IRRM.
- La ruta temporal de conducción de arena.
- Las áreas estrictamente necesarias para las maniobras de instalación, bombeo, inspección y mantenimiento.

El Área del Proyecto constituye el ámbito de afectación directa porque en ella se realizará la ocupación física del fondo, aprovechamiento de arena, colocación de materiales, conformación del perfil costero, revegetación y tránsito temporal de personal y equipos.

Las actividades se limitarán estrictamente a los polígonos establecidos. No se permitirá ampliar los frentes de trabajo, colocar materiales fuera de las superficies autorizadas, abrir rutas adicionales o utilizar áreas naturales como zonas de almacenamiento.

La relación jerárquica entre las unidades delimitadas puede resumirse de la siguiente manera: la Región Ecológica representa el contexto ambiental regional del sistema litoral; el Área de Influencia corresponde a la microcelda en la que potencialmente pueden manifestarse los efectos de las obras; y el Área del Proyecto comprende exclusivamente las superficies ocupadas o utilizadas directamente para su ejecución.

Esta delimitación permitirá que la caracterización y evaluación ambiental se realicen a una escala congruente con cada componente, evitando limitar el análisis a la huella inmediata de las obras y, al mismo tiempo, evitando extenderlo hacia superficies que no mantienen una relación funcional con el Proyecto.

III.2 Caracterización de la RE, del AI y del AP

III.2.1 Medio Abiótico

III.2.1.1 Clima

El clima constituye uno de los componentes físicos que determinan el funcionamiento del sistema litoral, debido a su relación con la temperatura del aire, precipitación, evaporación, dirección e intensidad del viento, formación del oleaje, transporte eólico de arena y ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos. Estas variables influyen en la dinámica de la playa, la estabilidad de las dunas, la distribución de la vegetación costera y la programación de las obras del Proyecto.

Para caracterizar este componente se consideró la cartografía climatológica oficial disponible, el climograma de la estación meteorológica 023155 Cancún, Benito Juárez, y la información regional de vientos obtenida mediante datos de reanálisis. La estación 023155 se ubica aproximadamente 30 km al norte del Proyecto, en las coordenadas 21°09'24" N y 86°49'13" O, a una elevación de 1 m s. n. m., por lo que se utiliza como referente del comportamiento climático regional de la planicie costera del norte de Quintana Roo.

Tipo de clima

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García y la cartografía disponible, la Región Ecológica, el Área de Influencia y el Área del Proyecto se encuentran dentro del tipo climático Aw0(x'), correspondiente a un clima cálido subhúmedo, de menor humedad dentro de los subtipos cálidos subhúmedos, con lluvias principalmente en verano y presencia de precipitación invernal.

Este tipo de clima se caracteriza por presentar una temperatura media anual superior a 22 °C, temperaturas elevadas durante todo el año y una precipitación estacional concentrada principalmente entre verano y otoño. La notación (x') indica una contribución apreciable de lluvia invernal respecto del total anual. La descripción regional de CONABIO para Puerto Morelos-Punta Maroma también reconoce el predominio del clima Aw0(x') en este sector costero. CONABIO, caracterización de Puerto Morelos-Punta Maroma

La distribución espacial de este tipo climático es continua sobre la porción terrestre de las tres unidades delimitadas. Por lo tanto, no se identifican variaciones climáticas regionales significativas entre la Región Ecológica, el Área de Influencia y el frente costero donde se desarrollarán las obras.



Figura 7. Tipo de clima presente en la Región Ecológica, el Área de Influencia y el Área del Proyecto.

Temperatura

El climograma de la estación 023155 Cancún muestra temperaturas altas durante todos los meses del año. Los valores medios mensuales representados varían aproximadamente entre 24 y 30 °C, por lo que la amplitud térmica anual es reducida, condición característica de las zonas costeras tropicales. Las temperaturas comparativamente más bajas se presentan entre diciembre y febrero, con valores cercanos a 24–25 °C. A partir de marzo se observa un incremento progresivo, alcanzándose las temperaturas más elevadas entre mayo y agosto, con registros medios próximos a 29–30 °C. Posteriormente, la temperatura disminuye gradualmente durante otoño e invierno. La cercanía con el mar contribuye a moderar las variaciones extremas de temperatura; sin embargo, la elevada humedad relativa puede incrementar la sensación térmica durante gran parte del año. Estas condiciones favorecen tasas elevadas de evaporación y ejercen influencia sobre la disponibilidad de humedad en la arena y la vegetación dunar. Durante las obras, las temperaturas elevadas representan un factor de seguridad ocupacional. Las jornadas deberán considerar periodos de hidratación, descansos, protección solar y vigilancia de síntomas asociados con deshidratación, agotamiento o golpe de calor, especialmente durante los meses de mayo a agosto.

Precipitación

La distribución mensual de la precipitación muestra un régimen estacional. De acuerdo con el climograma, la precipitación anual acumulada es del orden de 1,300 mm, aunque este valor debe interpretarse como una referencia regional derivada de los datos representados para la estación 023155. Los valores más bajos se presentan generalmente entre febrero y abril, con precipitaciones mensuales próximas o inferiores a 50 mm. A partir de mayo se observa un incremento, seguido de una primera concentración de lluvia en junio. Durante julio se aprecia una disminución relativa, posteriormente la precipitación aumenta nuevamente en agosto y alcanza sus máximos entre septiembre y octubre. Octubre constituye el mes con mayor precipitación representada, con un valor aproximado de 270 mm, seguido por septiembre, con alrededor de 180 mm. Durante noviembre y diciembre la precipitación disminuye progresivamente, aunque se mantiene la influencia de frentes fríos, eventos de "norte" y lluvias asociadas con sistemas meteorológicos regionales.

Tabla 5. Síntesis del comportamiento climático regional

Variable	Comportamiento general
Tipo de clima	Cálido subhúmedo Aw0(x'), con lluvias principalmente en verano
Temperatura media mensual aproximada	Entre 24 y 30 °C
Meses comparativamente más cálidos	Mayo a agosto
Meses comparativamente más frescos	Diciembre a febrero
Precipitación anual aproximada	Del orden de 1,300 mm

Variable	Comportamiento general
Periodo con menor precipitación	Febrero a abril
Periodo con mayor precipitación	Junio y de septiembre a noviembre
Mes con mayor precipitación representada	Octubre, aproximadamente 270 mm
Dirección regional predominante del viento	Concentración principal en los sectores este y este-sureste
Temporada oficial de ciclones del Atlántico	Del 1 de junio al 30 de noviembre

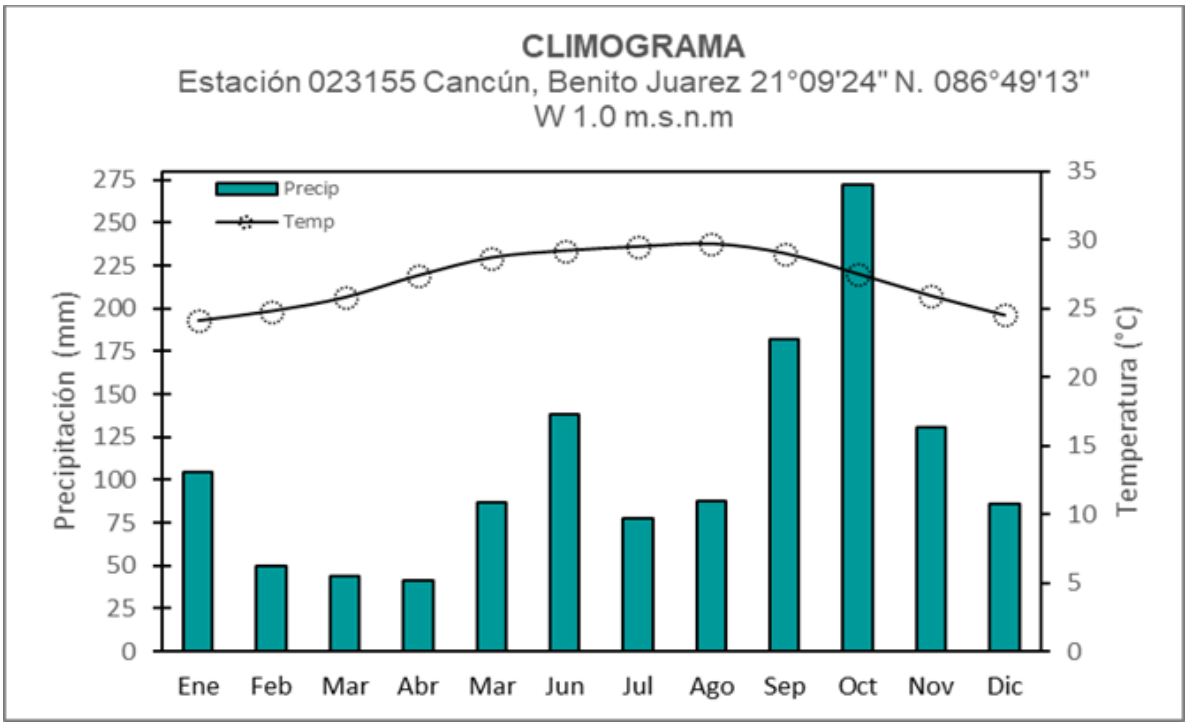


Figura 8. Climograma de la estación meteorológica 023155 Cancún, Benito Juárez, utilizado como referencia regional.

La precipitación constituye un factor relevante para la programación de las actividades en playa y zona marina. Las lluvias intensas pueden reducir la visibilidad, incrementar el escurrimiento superficial, movilizar materiales, afectar temporalmente la estabilidad de áreas recién conformadas y dificultar la operación segura de bombas, maquinaria y equipos.

Por esta razón, las actividades de colocación de arena, instalación de geotubos y conformación de dunas deberán suspenderse durante lluvias intensas, tormentas eléctricas o condiciones que comprometan la seguridad del personal y el control de los materiales. Los residuos, herramientas y materiales móviles deberán mantenerse asegurados para evitar su arrastre hacia el mar.

Viento regional

El viento regional se origina por diferencias de presión atmosférica asociadas con la temperatura del aire, la circulación general de la atmósfera, la proximidad del mar y las características geográficas de la península de Yucatán. En la zona costera, el contraste térmico diario entre el continente y el mar también favorece la formación de brisas marinas y terrestres. La información de reanálisis utilizada para caracterizar el mismo sector costero muestra una concentración predominante del viento en los sectores este y este-sureste. Este patrón se mantiene durante gran parte del año, aunque presenta variaciones estacionales en frecuencia, dirección e intensidad.

Durante invierno y otoño se conserva una influencia importante del sector este, combinada temporalmente con frentes fríos y eventos de "norte". En primavera y verano se observa una mayor concentración hacia el este y este-sureste. Este comportamiento es consistente con la exposición del litoral oriental de Quintana Roo a los vientos procedentes del Mar Caribe.

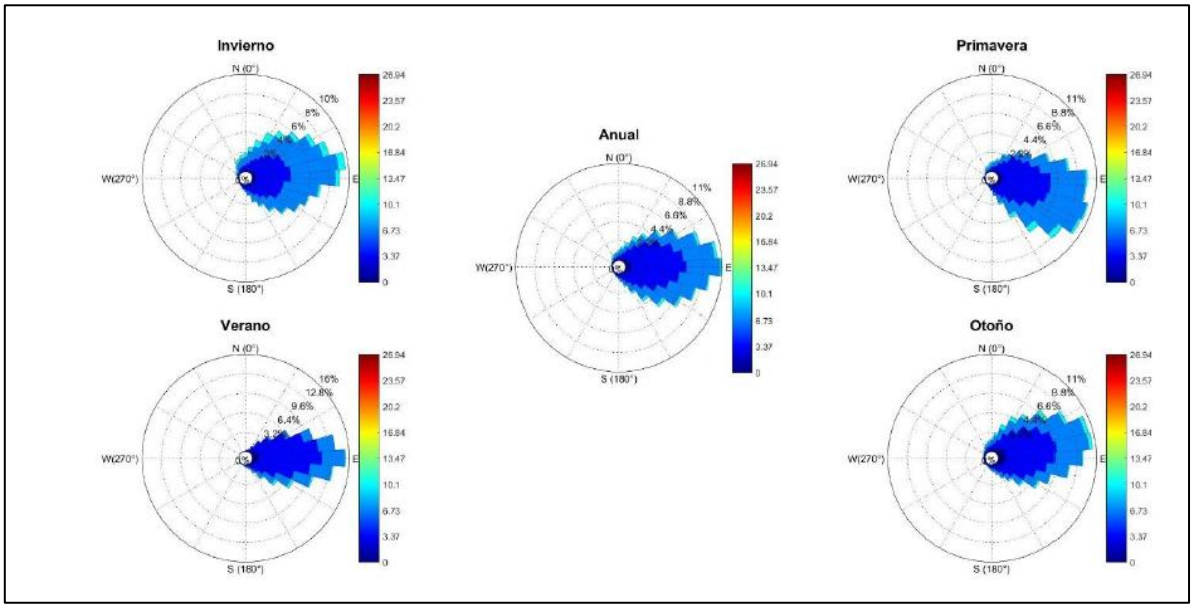


Figura 9. Rosas estacionales y anual de viento para el sector costero de Dreams Puerto Morelos, obtenidas mediante datos de reanálisis.

El viento interviene directamente en el transporte eólico de arena, la formación y evolución de las dunas y la distribución de la vegetación costera. Las dunas artificiales y su revegetación deberán permitir la captura progresiva de sedimentos movilizados por el viento, favoreciendo la estabilidad del sustrato sin impedir completamente su dinámica natural. Durante la construcción, los vientos intensos pueden incrementar la dispersión de arena, dificultar el manejo de geotextiles, afectar la estabilidad de las mallas antidispersión y comprometer la seguridad de las embarcaciones y del personal. Por ello, las maniobras deberán ajustarse o suspenderse cuando la intensidad del viento impida controlar los materiales o mantener condiciones seguras de operación.

III.2.1.2 Fenómenos hidrometeorológicos

Por su ubicación en la costa nororiental de la península de Yucatán, frente al mar Caribe, la Región Ecológica, el Área de Influencia y el Área del Proyecto se encuentran expuestas a fenómenos hidrometeorológicos de distinta naturaleza, intensidad y duración. Entre los principales se encuentran los frentes fríos y eventos de "Norte", las ondas y tormentas tropicales, los sistemas de baja presión, las lluvias intensas, las tormentas eléctricas y los ciclones tropicales.

La importancia ambiental de estos fenómenos no se limita a la precipitación o al viento. En el sistema costero también pueden provocar incremento temporal del nivel del mar, oleaje elevado, corrientes intensas, inundación costera, erosión, desplazamiento de sedimentos, modificación de la línea de costa y afectaciones a la vegetación de playa y duna. Para la caracterización se consideraron fuentes oficiales del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y el National Hurricane Center de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NHC-NOAA), complementadas con el análisis de riesgo elaborado previamente para el mismo frente costero del actual Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa.

III.2.1.2.1 Masas de aire, frentes fríos y eventos de "Norte"

Durante la mitad fría del año, principalmente entre octubre y marzo, el sureste de México y la península de Yucatán pueden ser alcanzados por sistemas frontales procedentes de latitudes medias y altas. Estos sistemas se encuentran asociados con el desplazamiento de masas de aire frío o polar sobre el golfo de México y, eventualmente, sobre la península de Yucatán y el mar Caribe.

El paso de un frente frío puede producir descenso de la temperatura, aumento de nubosidad, lluvias, cambio en la dirección del viento y rachas de componente norte. Cuando el gradiente de presión se intensifica sobre el golfo de México se presentan los denominados eventos de "Norte", caracterizados por vientos persistentes, rachas fuertes y aumento del oleaje. La corriente en chorro polar y, en determinados episodios, la corriente en chorro subtropical, pueden favorecer el desplazamiento o intensificación de los sistemas frontales. Sin embargo, su efecto en el área de estudio es indirecto, al actuar como parte de la circulación atmosférica que acompaña o modifica estos sistemas, por lo que no deben considerarse por sí mismas como un fenómeno superficial independiente dentro del sitio. Los avisos del SMN muestran que, al extenderse un frente frío y su masa de aire sobre la península de Yucatán, pueden presentarse lluvias fuertes, rachas de viento de componente norte y oleaje elevado en las costas de Quintana Roo. La intensidad y duración de estos efectos varían en función de la trayectoria, velocidad de desplazamiento y características de cada sistema frontal.

En el frente costero de Dreams Puerto Morelos, estos eventos pueden generar:

- Oleaje procedente de los sectores norte y noreste.
- Incremento de la agitación en la laguna arrecifal.
- Resuspensión natural de sedimentos del fondo.
- Modificaciones temporales de las corrientes litorales.
- Pérdida o redistribución de arena en la playa.
- Erosión del frente de playa y de las estructuras dunares.
- Restricciones temporales para la navegación y las actividades constructivas marinas.

Por tanto, aunque los frentes fríos presentan una intensidad generalmente menor que los ciclones tropicales, su recurrencia durante la temporada invernal los convierte en un factor relevante para la dinámica sedimentaria y el mantenimiento de la playa.

III.2.1.2.2 Ondas tropicales, sistemas de baja presión y tormentas convectivas

Durante la temporada cálida y húmeda, la región recibe la influencia de ondas tropicales, vaguadas, canales de baja presión y sistemas convectivos asociados con la entrada de humedad del mar Caribe. Estos fenómenos pueden generar lluvias de corta duración y elevada intensidad, tormentas eléctricas, rachas fuertes de viento y reducción de la visibilidad. Las ondas tropicales se desplazan generalmente de este a oeste sobre el Caribe y pueden permanecer como sistemas abiertos o favorecer la formación de áreas de baja presión con mayor organización. No todas evolucionan a ciclón tropical; sin embargo, aún sin alcanzar esa categoría, pueden generar precipitaciones abundantes y condiciones marítimas adversas. En el área del Proyecto, las lluvias intensas pueden producir encharcamientos en las porciones bajas, escurrimiento superficial sobre la playa, saturación temporal de la arena y erosión localizada. Cuando coinciden con oleaje elevado o aumento del nivel del mar, disminuye la capacidad de desagüe hacia la costa y se incrementa la posibilidad de inundación. Las tormentas eléctricas también representan un riesgo para el personal que realice actividades en la playa, dentro del agua o a bordo de embarcaciones, debido a la exposición a descargas atmosféricas, rachas súbitas de viento y cambios rápidos en las condiciones del oleaje. Por ello, las maniobras marinas deberán suspenderse cuando se emitan avisos de tormenta eléctrica o se observen condiciones atmosféricas que comprometan la seguridad del personal.

III.2.1.2.3 Ciclones tropicales

Los ciclones tropicales son sistemas atmosféricos de baja presión con circulación organizada que se desarrollan sobre aguas tropicales o subtropicales. Dependiendo de la intensidad de sus vientos máximos sostenidos, se clasifican como depresión tropical, tormenta tropical o huracán.
La temporada oficial de ciclones tropicales en la cuenca del Atlántico, que comprende el océano Atlántico Norte, el golfo de México y el mar Caribe, se extiende del 1 de junio al 30 de noviembre. No obstante, excepcionalmente pueden formarse sistemas antes o después de esas fechas. La escala Saffir-Simpson clasifica los huracanes de las categorías 1 a 5 exclusivamente a partir de la velocidad

máxima del viento sostenido. Esta escala no incorpora el volumen de precipitación, el tamaño del ciclón, el oleaje, la marea de tormenta ni el potencial de inundación; por tanto, un ciclón de categoría baja o incluso una tormenta tropical puede ocasionar afectaciones importantes cuando se desplaza lentamente, presenta una circulación extensa o interactúa con condiciones costeras vulnerables. Lo anterior se encuentra expresamente reconocido por el National Hurricane Center.

De acuerdo con CENAPRED, los principales efectos de los ciclones tropicales son:

- Vientos intensos y rachas.
- Lluvias fuertes o extraordinarias.
- Oleaje elevado.
- Marea de tormenta.
- Inundaciones costeras y pluviales.
- Corrientes marinas intensificadas.
- Erosión y cambios en la configuración de las playas.

El oleaje y la marea de tormenta pueden provocar penetración temporal del mar sobre terrenos costeros, mientras que las lluvias intensas pueden generar inundaciones y saturación del terreno. Estos efectos pueden ocurrir simultáneamente y potenciarse entre sí, especialmente en costas bajas y de pendiente reducida como la de Puerto Morelos. CENAPRED reconoce al viento, oleaje, marea de tormenta y precipitación como los principales efectos de los ciclones tropicales. La península de Yucatán presenta un relieve predominantemente bajo y carece de barreras orográficas capaces de debilitar rápidamente los sistemas ciclónicos. Su exposición al mar Caribe y al golfo de México permite que los ciclones tropicales puedan atravesarla y producir efectos en ambas vertientes. En la costa de Quintana Roo, las afectaciones más relevantes se asocian con el viento, el oleaje, la marea de tormenta, la inundación costera, la precipitación y la erosión.

III.2.1.2.4 Antecedentes ciclónicos del área de estudio

El estudio de riesgo antecedente realizado para el mismo frente costero analizó las trayectorias de los ciclones tropicales que se aproximaron a un radio no mayor de 100 km alrededor del predio actualmente ocupado por el Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa.

El análisis identificó 80 eventos ciclónicos dentro del radio considerado, distribuidos de la siguiente manera:

Clasificación alcanzada por los eventos analizados	Número de eventos
Depresión tropical	5
Tormenta tropical	21
Huracán categoría 1	16
Huracán categoría 2	11

Clasificación alcanzada por los eventos analizados	Número de eventos
Huracán categoría 3	16
Huracán categoría 4	6
Huracán categoría 5	5
Total	**80**

Estos valores corresponden específicamente a la consulta espacial efectuada por el estudio antecedente y no representan la frecuencia anual de ciclones en Puerto Morelos. Tampoco significan que todos los sistemas hayan tocado tierra en el predio o provocado afectaciones directas, sino que sus trayectorias ingresaron al radio de análisis establecido. La base HURDAT2 del NHC-NOAA contiene la trayectoria, posición, viento máximo y presión central de los ciclones tropicales del Atlántico. Debido a que esta base es objeto de actualizaciones y reanálisis históricos, el número exacto de eventos puede variar según la versión consultada, el periodo seleccionado, el radio empleado y los criterios utilizados para contabilizar una trayectoria. Por ello, para fines de la MIA, debe conservarse el periodo y la versión de la base utilizados en el análisis original. La estructura y alcance de HURDAT2 pueden consultarse en el archivo oficial de datos del NHC y en su documentación metodológica.



Figura 10. Trayectorias históricas de ciclones tropicales registradas dentro de un radio de 100 km alrededor del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa. Fuente: HURDAT2 del NHC-NOAA.

Entre los ciclones que han ocasionado efectos relevantes en Quintana Roo y la península de Yucatán destacan Gilbert, en 1988; Emily y Wilma, en 2005; Dean, en 2007; y Delta y Zeta, en 2020. Estos antecedentes muestran que la región puede ser afectada tanto por ciclones de gran intensidad como por sistemas que, aun presentando una categoría menor, pueden generar viento, oleaje, lluvia e inundación costera importantes.

Figura 11. Ciclones tropicales seleccionados con incidencia en Quintana Roo y la península de Yucatán

Año	Ciclón	Condición aproximada al primer impacto en la península	Sector general de ingreso	Relevancia regional
1988	Gilbert	Huracán mayor	Noreste de la península de Yucatán	Produjo viento extremo, oleaje y daños severos en Quintana Roo y Yucatán
2003	Claudette	Tormenta tropical	Noreste de la península	Generó lluvia, viento y condiciones marítimas adversas
2005	Emily	Huracán categoría 4	Costa de Quintana Roo, sector Tulum	Produjo viento intenso, oleaje y erosión costera
2005	Wilma	Huracán categoría 4	Cozumel y sector Playa del Carmen	Ocasionó efectos prolongados, oleaje extremo, inundación y modificación de playas
2007	Dean	Huracán categoría 5	Costa Maya, sur de Quintana Roo	Ingresó con intensidad extrema y atravesó la península
2020	Delta	Huracán categoría 2	Sector próximo a Puerto Morelos	Produjo viento intenso, oleaje y afectaciones en el norte de Quintana Roo
2020	Zeta	Huracán categoría 1	Sector Tulum-Chemuyil	Generó viento, lluvia y oleaje elevado en el norte y centro de Quintana Roo

Nota: la categoría indicada corresponde aproximadamente a la intensidad al primer impacto en la península, no a la intensidad máxima alcanzada durante toda la trayectoria. La tabla es indicativa y no constituye un inventario exhaustivo. Para los ciclones recientes se consideraron los reportes oficiales del archivo de ciclones tropicales del NHC.

III.2.1.2.5 Medidas de prevención y respuesta

Durante la preparación del sitio y construcción se aplicarán, como mínimo, las siguientes medidas:

1. Se consultarán diariamente los avisos del SMN, CONAGUA, SEMAR, Capitanía de Puerto, Protección Civil y la Dirección del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos.
2. Las maniobras marinas se suspenderán ante avisos de tormenta eléctrica, frente frío intenso, evento de "Norte", oleaje elevado, tormenta tropical o ciclón tropical que pueda afectar el área.
3. El personal, embarcaciones, bombas y equipos móviles serán retirados oportunamente de las zonas expuestas.
4. Las mangueras, tuberías, herramientas, combustibles, residuos y materiales sueltos serán asegurados o trasladados fuera de la playa y zona marina.

5. No se mantendrán recipientes de combustible, lubricantes o sustancias peligrosas dentro del área marina durante la aproximación de un fenómeno hidrometeorológico.
6. Se establecerá una cadena de comunicación, rutas de evacuación, sitios seguros y responsables de activar y cerrar los frentes de trabajo.
7. Después de cada evento relevante se inspeccionarán los geotubos, costuras, puertos de llenado, anclajes, tapetes antisocavación, mallas antidispersión y elementos de señalización.
8. Se evaluarán las modificaciones del perfil de playa, la presencia de socavación, pérdida de arena, acumulación de residuos y afectaciones a las dunas artificiales y su vegetación.
9. Los geotubos dañados o los fragmentos de geotextil que pudieran desprenderse serán reparados o recuperados inmediatamente para evitar su dispersión en el ambiente marino.
10. Las actividades solamente se reanudarán cuando las autoridades competentes hayan retirado las restricciones y una inspección confirme condiciones seguras.

Durante la operación y mantenimiento deberá conservarse el monitoreo periódico del perfil de playa, la línea de costa, las estructuras de geotubos y las dunas artificiales, reforzándolo después de frentes fríos intensos, tormentas tropicales y huracanes.

III.2.1.3 Fisiografía

La fisiografía estudia las formas generales del relieve y su relación con la estructura geológica, los materiales superficiales y los procesos que han modelado el territorio. Para el presente análisis se consideraron tres escalas: la Región Ecológica (RE), el Área de Influencia (AI), y el Área del Proyecto (AP). De acuerdo con el Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Fisiográfica de INEGI, la RE, el AI y el AP se encuentran dentro de la provincia fisiográfica Península de Yucatán y en su sector nororiental, correspondiente a la subprovincia Carso Yucateco. Esta provincia comprende una amplia plataforma carbonatada caracterizada por un relieve predominantemente plano, pendientes reducidas, escasa diferenciación altitudinal y presencia de formas originadas por la disolución de rocas calizas.

La provincia Península de Yucatán se encuentra constituida por una sucesión de rocas sedimentarias carbonatadas dispuestas, en términos regionales, en estratos horizontales o débilmente inclinados. El Servicio Geológico Mexicano caracteriza esta plataforma como una planicie con lomeríos de pendiente suave y poca altitud, integrada por rocas carbonatadas del Cretácico al Reciente. La deformación de estas unidades es limitada, aunque pueden presentarse fracturas, lineamientos y formas de disolución que influyen en la circulación subterránea del agua.

En el interior de la península, las mayores elevaciones se presentan hacia el centro y suroeste, mientras que el terreno desciende gradualmente hacia las costas del golfo de México y del mar Caribe. En el norte de Quintana Roo, esta configuración da lugar a una planicie kárstica de baja altitud que entra en contacto con una franja costera conformada por depresiones inundables, humedales, depósitos arenosos, playa, laguna arrecifal y formaciones arrecifales.

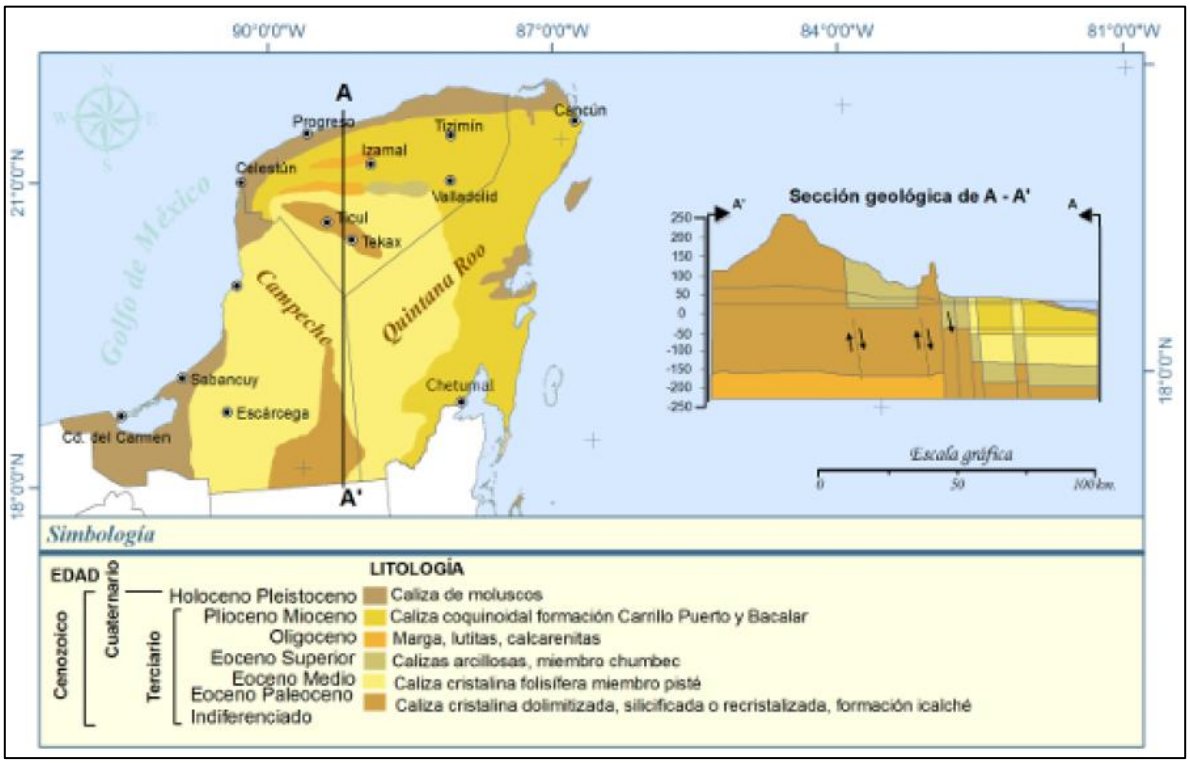


Figura 12. Configuración fisiográfica y geológica regional de la península de Yucatán. Fuente: adaptada de García y Graniel (2010). La figura representa el contexto regional y no la delimitación puntual del Proyecto.

La RE comprende una porción continental de la planicie kárstica, la franja costera y un sector del ambiente marino somero. Su delimitación integra unidades que, aunque presentan diferente origen y funcionamiento, mantienen relaciones físicas mediante el movimiento del agua subterránea, el intercambio tierra-mar, el transporte sedimentario y la dinámica del oleaje. En la porción continental domina un relieve de escasa pendiente, desarrollado sobre materiales carbonatados permeables. En este sector pueden presentarse depresiones someras, cavidades de disolución y zonas con acumulación temporal o permanente de agua. La reducida expresión del drenaje superficial es característica del carso y se relaciona con la infiltración del agua de lluvia a través de fracturas, poros y conductos de disolución. Hacia la costa se reconoce una transición fisiográfica compuesta por:

- La planicie kárstica continental.
- Las depresiones y terrenos bajos asociados con humedales.
- La franja de asentamientos humanos e infraestructura turística.
- El cordón litoral y la playa arenosa.
- La laguna arrecifal.
- La barrera arrecifal y el mar Caribe.

Esta sucesión no implica que todos los componentes tengan una conexión superficial directa. En particular, la cartografía de INEGI identifica manglar y otros humedales hacia el interior y en predios

distintos al del Proyecto, mientras que las obras propuestas se localizan en la franja costera clasificada como asentamientos humanos y en el ambiente marino adyacente. No se identifican ríos o cauces superficiales que atraviesen el AP y conecten directamente las obras con las áreas de manglar.

El AI corresponde a la microcelda litoral delimitada para representar la escala espacial en la cual pueden manifestarse los efectos directos e indirectos del Proyecto sobre la playa, el transporte de sedimentos, el oleaje y la circulación marina local. La microcelda se extiende aproximadamente desde Punta Petempich, al norte, hasta el sector del Hotel Excellence Riviera Cancún, al sur. Comprende un tramo relativamente homogéneo del sistema costero en cuanto a orientación de la línea de costa, exposición al oleaje, presencia de la laguna arrecifal y funcionamiento sedimentario. Su delimitación no corresponde a una división político-administrativa, sino a una unidad funcional del litoral. Desde el punto de vista fisiográfico, en el AI pueden distinguirse tres componentes principales:

Tabla 6. Componentes fisiográficos del AP.

Componente	Características fisiográficas	Relación con el Proyecto
Franja continental inmediata	Terreno bajo y predominantemente plano, ocupado por infraestructura turística y asentamientos humanos	Constituye el límite terrestre del sistema y el acceso a las obras
Cordón litoral y playa	Franja arenosa estrecha, dinámica y de baja elevación, sujeta a erosión, acreción y desplazamiento de sedimentos	Comprende los polígonos de vertido y las dunas artificiales
Ambiente marino somero	Laguna arrecifal de baja profundidad, con fondos de arena, laja calcárea, algas y parches de vegetación marina	Comprende las barreras de contención, rompeolas y las maniobras marinas

El AI forma parte de una costa de baja elevación y pendiente reducida, por lo que el perfil de playa puede responder rápidamente a frentes fríos, eventos de "Norte", tormentas y huracanes. La fisiografía litoral se encuentra, por tanto, estrechamente vinculada con el proceso de retroceso de la línea de costa documentado frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa.

El AP ocupa la zona de contacto entre la playa y el ambiente marino somero frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, en Bahía de Petempich. No comprende elevaciones, lomeríos, valles fluviales o cauces naturales. Las formas fisiográficas directamente intervenidas corresponden al perfil de playa, la franja arenosa costera y el fondo marino somero de la laguna arrecifal. La caracterización marina muestra un mosaico constituido por arena, laja con algas, arena con algas, laja con gorgonáceos y parches de pastos marinos. Estas coberturas describen las condiciones del sustrato y la comunidad bentónica, mientras que, en términos fisiográficos, el AP corresponde a una plataforma marina somera protegida parcialmente por el sistema arrecifal.

La escasa pendiente del perfil costero y la poca elevación de la playa permiten que las variaciones del nivel del mar y del oleaje produzcan desplazamientos horizontales importantes de la línea de agua.

Esta condición explica que una modificación aparentemente reducida en la elevación marina pueda traducirse en sobrelavado, inundación o pérdida de arena en una franja considerable del litoral.

Tabla 7. Síntesis fisiográfica de la Re, AI y AP.

Escala	Superficie	Unidad fisiográfica predominante	Rasgos principales
Región Ecológica	22,613,272.121 m²	Provincia Península de Yucatán; subprovincia Carso Yucateco	Planicie kárstica, terrenos bajos, humedales, franja litoral y ambiente marino
Área de Influencia	4,900,200.20 m²	Microcelda litoral	Playa, cordón litoral, laguna arrecifal y barrera arrecifal
Área del Proyecto	Según polígonos del Capítulo I	Playa y plataforma marina somera	Perfil erosionado, depósitos arenosos y fondos someros con distintas coberturas bentónicas
Banco IRRM	35,003.00 m²	Fondo marino somero	Depósito arenoso destinado al suministro controlado de material

En conjunto, la RE y el AI forman parte de un sistema de baja altitud en el que convergen procesos kársticos continentales y procesos costeros y marinos. La ausencia de un relieve pronunciado, la elevada permeabilidad del sustrato continental, la presencia de terrenos inundables y la exposición de la franja litoral al oleaje determinan la configuración ambiental regional.

La fisiografía del AP confirma que las obras no se desarrollarán sobre montañas, lomeríos, cauces o valles fluviales, sino en un perfil de playa erosionado y en la laguna arrecifal somera. En consecuencia, los procesos de mayor relevancia para la evaluación ambiental son la dinámica litoral, el transporte sedimentario, la transformación del oleaje, la inundación costera y la interacción entre las estructuras propuestas y el fondo marino.

III.2.1.4 Geomorfología

La geomorfología analiza las formas del relieve, los materiales que las constituyen, los procesos responsables de su formación y las transformaciones que experimentan a través del tiempo. En el caso del Proyecto, su estudio resulta especialmente relevante porque las obras se desarrollarán en un sistema costero dinámico, donde interactúan procesos kársticos continentales, formas de acumulación arenosa, oleaje, corrientes, transporte sedimentario y estructuras arrecifales. La RE se localiza en el margen nororiental de la plataforma carbonatada de la península de Yucatán. Su configuración geomorfológica responde a la combinación de:

- La naturaleza calcárea y kárstica del sustrato continental.
- La disolución de las rocas carbonatadas.

- La escasa pendiente regional.
- Las fluctuaciones históricas del nivel del mar.
- La acumulación de sedimentos carbonatados.
- La acción del oleaje, las corrientes y el viento.
- El desarrollo de humedales, playas, dunas y arrecifes.

El relieve continental presenta una topografía predominantemente plana o ligeramente ondulada, interrumpida por depresiones de disolución, hondonadas someras y zonas inundables. Hacia el mar, esta planicie entra en contacto con una franja costera baja constituida por depósitos arenosos recientes, seguida por una laguna arrecifal somera y una barrera arrecifal aproximadamente paralela a la costa. La transición geomorfológica regional puede representarse de la siguiente manera:

Tabla 8. Unidades geomorfológicas regionales.

Unidad geomorfológica	Procesos dominantes	Características principales
Planicie kárstica	Disolución, infiltración y colapso localizado	Relieve bajo, permeable y con escaso drenaje superficial
Depresiones y humedales	Inundación, acumulación de materia orgánica y sedimentación fina	Terrenos bajos localizados detrás del cordón litoral
Planicie costera urbanizada	Nivelación, rellenos y ocupación antrópica	Infraestructura turística y asentamientos humanos
Cordón litoral	Acumulación eólica y marina de arena	Franja arenosa que separa los terrenos interiores del mar
Playa	Oleaje, corrientes, transporte transversal y longitudinal	Forma dinámica sujeta a erosión y acreción
Laguna arrecifal	Circulación marina somera y acumulación carbonatada	Fondos de arena, laja, algas y pastos marinos
Barrera arrecifal	Crecimiento biogénico, cementación y erosión marina	Estructura que modifica y disipa el oleaje incidente

Esta configuración coincide con la descripción científica del sistema arrecifal de Puerto Morelos como un sistema de bajo relieve, pendiente reducida y laguna arrecifal somera, con profundidades regionales promedio de entre 3 y 5 m. Los fondos se encuentran constituidos predominantemente por arena carbonatada, afloramientos calcáreos y comunidades de pastos marinos.

III.2.1.4.1 Planicie kárstica continental

La porción terrestre de la RE forma parte de una planicie kárstica desarrollada sobre rocas carbonatadas. Su relieve se origina principalmente por la disolución de la roca caliza y no por la erosión fluvial superficial. La infiltración del agua de lluvia a través de poros, fracturas y cavidades favorece el desarrollo de depresiones cerradas, dolinas, cenotes y conductos subterráneos. En la RE no se reconocen montañas, escarpes, valles fluviales o cauces superficiales permanentes. Las diferencias altitudinales son reducidas y el descenso hacia el mar Caribe ocurre gradualmente. Esta

condición favorece la presencia de terrenos bajos y explica que pequeñas variaciones en la elevación condicionen la distribución de humedales, zonas inundables, vegetación y asentamientos humanos. La dinámica kárstica continental mantiene una relación funcional con el sistema costero mediante la infiltración y el flujo subterráneo regional hacia el mar. Sin embargo, dicha relación no implica que exista un cauce superficial entre los humedales interiores y el Área del Proyecto.

III.2.1.4.2 Depresiones costeras y humedales

Entre la planicie kárstica y el cordón litoral se presentan depresiones someras que favorecen la acumulación de agua y el desarrollo de humedales. Estas formas se relacionan con la baja elevación del terreno, la presencia local de materiales finos u orgánicos, las variaciones del nivel freático y la restricción del drenaje superficial.

La cartografía de Uso del Suelo y Vegetación, Serie VII de INEGI, identifica manglar y otros tipos de vegetación de humedal en la porción interior de la RE. No obstante, el AP se localiza en la franja clasificada como asentamientos humanos y en el ambiente marino adyacente. El análisis de los buffers de 100 m trazados alrededor de los polígonos de vertido V1 y V2 no identificó superposición con vegetación de manglar.

Por tanto, los humedales forman parte del contexto geomorfológico y ecológico regional, pero no constituyen la forma del relieve directamente ocupada por las obras. Tampoco se identifican cauces superficiales permanentes que conduzcan agua desde el AP hacia dichos humedales o desde éstos hacia los polígonos de intervención.

III.2.1.4.3 Cordón litoral, playa y formas dunares

El cordón litoral constituye una franja de sedimentos arenosos paralela a la costa, formada por la acción combinada del oleaje, las corrientes y el viento. Esta unidad separa parcialmente los terrenos bajos interiores del ambiente marino y funciona como una barrera geomorfológica frente a la inundación, el oleaje y el transporte de agua salina hacia tierra. La playa corresponde a la forma arenosa más dinámica del sistema. Su geometría cambia en respuesta a:

- La altura, periodo y dirección del oleaje.
- Las corrientes paralelas y transversales a la costa.
- Los eventos de "Norte".
- Los ciclones tropicales.
- La disponibilidad y tamaño del sedimento.
- Las discontinuidades de la barrera arrecifal.
- La presencia de infraestructura.
- Las variaciones estacionales del nivel del mar.

Los sedimentos de las playas de Puerto Morelos son predominantemente carbonatados y proceden de la fragmentación y transformación de materiales biogénicos, entre ellos restos de moluscos, corales, algas calcáreas, foraminíferos y equinodermos. Estos materiales son movilizados y redistribuidos continuamente por el oleaje y las corrientes.

Las imágenes históricas de octubre de 2005 y septiembre de 2006 muestran, en el frente costero actualmente ocupado por el Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, acumulaciones arenosas elevadas y parcialmente cubiertas por vegetación. Por su forma, posición y relación con la playa, estas acumulaciones son compatibles con la presencia histórica de un relieve dunar o de montículos arenosos estabilizados por vegetación.

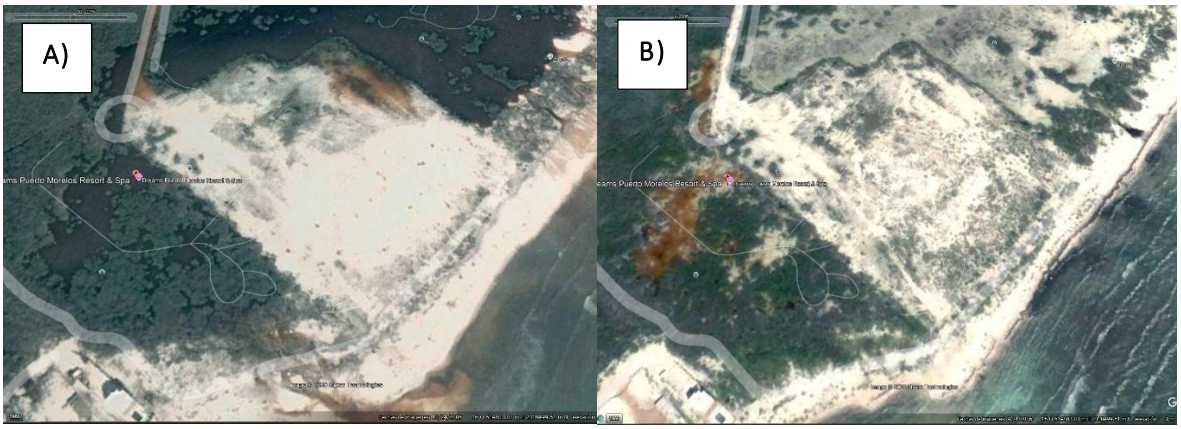


Figura 13. A) Configuración del frente costero del actual Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa en octubre de 2005; B) Configuración del frente costero del actual Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa en septiembre de 2006.

Las imágenes permiten documentar la presencia histórica de formas arenosas elevadas con cobertura vegetal. En la condición actual no se reconoce un cordón dunar natural continuo y funcional frente al hotel. Las seis dunas propuestas por el Proyecto serán de origen artificial y tendrán como propósito restablecer parcialmente la configuración playa-duna y sus funciones de retención de arena, estabilización superficial y amortiguamiento costero. No se pretende remover o desplazar una duna natural conservada.

III.2.1.4.4 Laguna arrecifal

La laguna arrecifal se extiende entre la línea de costa y la barrera arrecifal. Presenta una pendiente reducida, profundidades someras y un fondo heterogéneo integrado por depósitos arenosos, laja calcárea, macroalgas, gorgonáceos y parches de pastos marinos. La geomorfología de esta laguna responde a la interacción entre el relieve preexistente de la plataforma carbonatada, la producción biogénica de sedimentos, la acción del oleaje y la presencia de la barrera arrecifal. Los sedimentos se depositan preferentemente en áreas de menor energía, mientras que en sectores con mayor circulación pueden quedar expuestos sustratos consolidados o laja.

Los pastos marinos también intervienen en el funcionamiento geomorfológico del fondo porque sus hojas reducen localmente la velocidad del flujo y sus rizomas contribuyen a retener sedimentos. CONABIO señala que estos ecosistemas favorecen la estabilización del sustrato, reducen la resuspensión y contribuyen a la protección de las costas y de las formaciones arrecifales. SIMAR-CONABIO, ecosistemas marino-costeros.

La caracterización marina disponible muestra que las obras se distribuyen sobre un mosaico de arena, laja y coberturas biológicas. Por ello, la microlocalización de los geotubos deberá conservar como referencia esta heterogeneidad y reducir la ocupación de parches de vegetación marina.

III.2.1.4.5 Barrera arrecifal y discontinuidades

La barrera arrecifal de Puerto Morelos forma parte del Sistema Arrecifal Mesoamericano y constituye uno de los elementos geomorfológicos más relevantes del área. Su cresta, relieve y continuidad modifican la propagación del oleaje proveniente del mar Caribe. Cuando el oleaje alcanza la barrera, parte de su energía se disipa mediante el rompimiento, la fricción y la turbulencia. La energía restante se propaga hacia la laguna arrecifal y posteriormente hacia la costa. La magnitud de esta disipación depende de la profundidad sobre la cresta, el ancho y rugosidad del arrecife, la altura de las olas, el nivel del mar y la continuidad de la formación. El sistema no constituye una barrera uniforme. Las discontinuidades, canales o pasos permiten el intercambio de agua entre el mar abierto y la laguna y pueden concentrar corrientes o permitir una mayor transferencia de energía hacia la costa. Los estudios realizados en Puerto Morelos muestran que la geometría del arrecife influye directamente en el oleaje que alcanza la playa y en su respuesta morfodinámica. Escudero et al. (2021). En el sector del Proyecto se ha identificado la influencia de la discontinuidad denominada Boca Grande, asociada con una mayor exposición del extremo suroeste del predio. Esta condición contribuye a explicar que la erosión y la vulnerabilidad a la inundación no sean homogéneas a lo largo del frente costero.

III.2.1.4.6 Celdas litorales

Una celda litoral es un tramo de costa dentro del cual se analizan las fuentes, el transporte, el almacenamiento y las pérdidas de sedimentos. Sus límites pueden estar definidos por puntas, promontorios, obras, canales, cambios de orientación costera o modificaciones en los patrones de circulación. Para el diagnóstico antecedente del sitio se delimitaron tres escalas: macrocelda, mesocelda y microcelda. Para la presente MIA se utilizaron únicamente la mesocelda y la microcelda, debido a que representan de manera más adecuada los procesos potencialmente relacionados con el Proyecto.

La mesocelda se extiende aproximadamente desde Margaritaville Island Reserve Riviera Cancún, al norte, hasta el sector de Puerto Morelos, al sur. Esta unidad permite contextualizar el transporte sedimentario y la dinámica de un tramo costero de escala intermedia. La microcelda, utilizada como Área de Influencia, se extiende aproximadamente desde Punta Petempich, al norte, hasta el Hotel

Excellence Riviera Cancún, al sur. Representa la escala local dentro de la cual podrían manifestarse cambios en el oleaje, la circulación y el comportamiento sedimentario asociados con las obras. La microcelda no debe interpretarse como un sistema completamente cerrado, pues existe intercambio de agua y sedimentos con los sectores adyacentes. Su utilidad consiste en establecer una unidad funcional suficientemente amplia para evaluar la respuesta del litoral y evitar que el análisis se limite exclusivamente al frente del hotel.

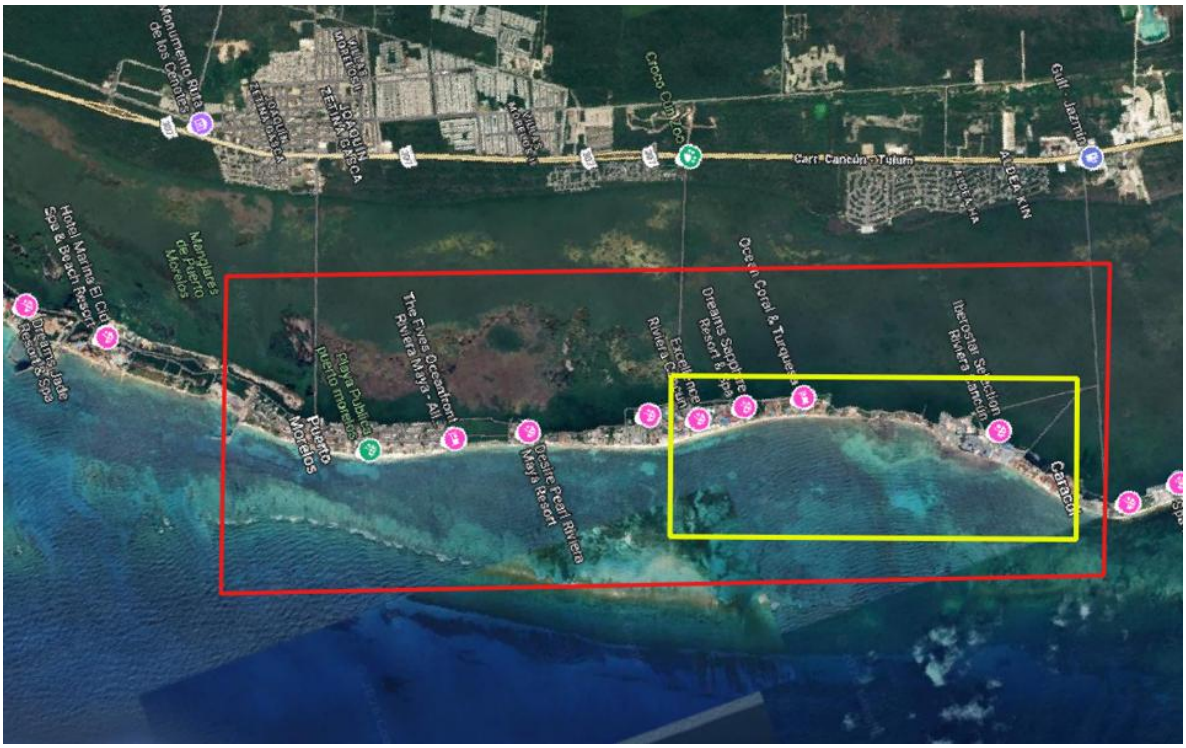


Figura 14. Mesocelda y microcelda identificadas para el Proyecto.

III.2.1.5 Geología

La caracterización geológica permite identificar el origen, edad, composición y distribución de los materiales que conforman la Región Ecológica (RE), el Área de Influencia (AI) y el Área del Proyecto (AP). En el presente caso resulta particularmente relevante porque el Proyecto se desarrolla en la transición entre una plataforma continental carbonatada, una franja de depósitos costeros recientes y un ambiente marino somero con sedimentos biogénicos.

El análisis se sustentó en la cartografía geológica de INEGI y del Servicio Geológico Mexicano, particularmente en la hoja Cozumel F16-11, escala 1:250,000, por ser la que cubre el sitio del Proyecto, así como en estudios geológicos regionales, la caracterización marina y los análisis granulométricos disponibles para el frente del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa y el Banco IRRM.

La RE se encuentra dentro de la provincia geológica Plataforma de Yucatán, cuya evolución se encuentra asociada con la acumulación prolongada de sedimentos carbonatados en ambientes marinos someros. La plataforma está constituida por una secuencia de calizas, dolomías, margas, coquinas y otros materiales sedimentarios depositados desde el Mesozoico y durante el Cenozoico.

A diferencia de otras regiones del país, en la península de Yucatán no afloran extensamente rocas ígneas o metamórficas. Las unidades superficiales están dominadas por materiales sedimentarios carbonatados dispuestos de manera aproximadamente horizontal o con inclinaciones muy reducidas. La deformación tectónica superficial es limitada, aunque existen fracturas y lineamientos que influyen en el desarrollo del relieve kárstico y en la circulación subterránea del agua.

El Servicio Geológico Mexicano describe a la Plataforma de Yucatán como un paquete de rocas carbonatadas del Cretácico al Reciente, con deformación regional poco significativa. En el noreste de la península se presentan rocas neógenas y depósitos cuaternarios costeros, incluidos materiales de playa, dunas, areniscas carbonatadas y sedimentos palustres.

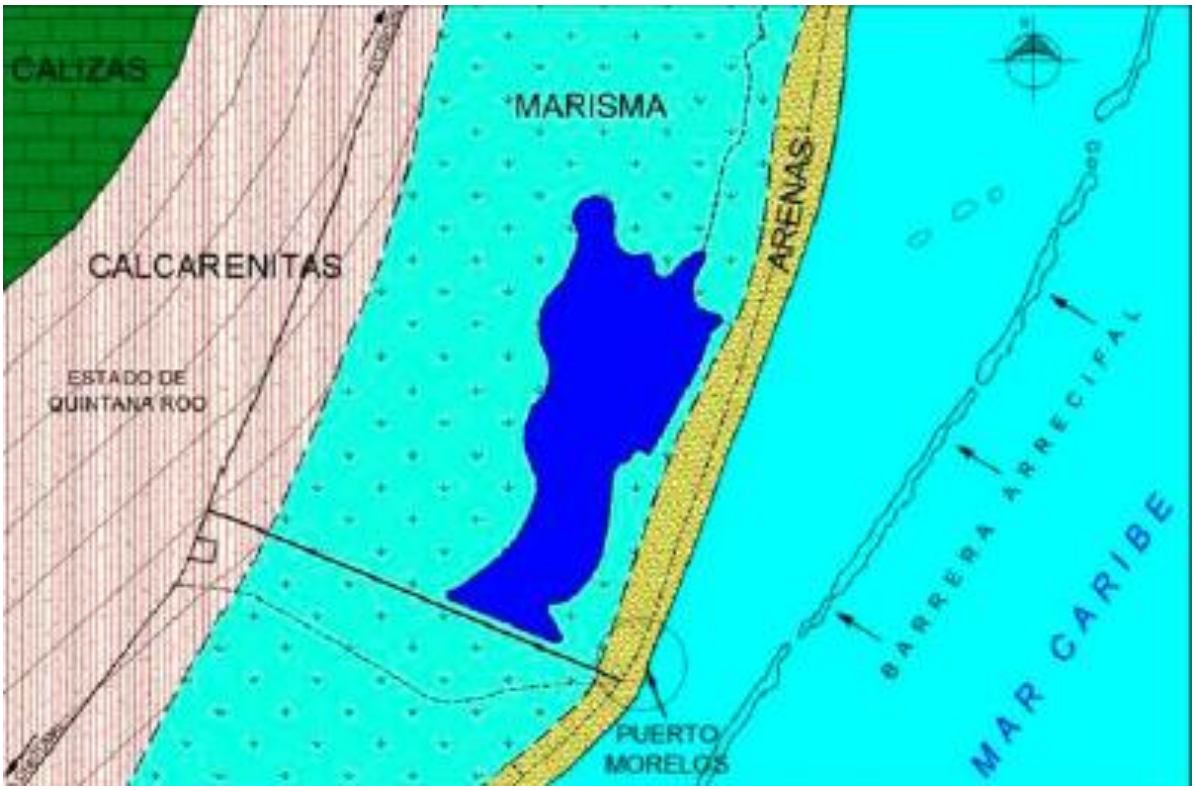


Figura 15. Configuración geológica regional de la costa de Puerto Morelos. Fuente: adaptada del documento proporcionado, con base en Ortiz et al. (2016).

En la figura se observa una disposición aproximadamente paralela a la costa: hacia el interior predominan materiales carbonatados consolidados; posteriormente se presenta una franja de

depósitos y depresiones costeras; y en la línea de costa dominan depósitos arenosos recientes, seguidos por la laguna y la barrera arrecifal.

III.2.1.5.1 Formación Carrillo Puerto

La Formación Carrillo Puerto constituye una de las principales unidades geológicas expuestas en la porción oriental y nororiental de la península de Yucatán. Se le atribuye una edad comprendida entre el Mioceno superior y el Plioceno y está formada principalmente por calizas y coquinas depositadas en ambientes marinos someros. En términos generales, la formación presenta:

- Calizas blancas o crema.
- Coquinas formadas por fragmentos de conchas y otros organismos.
- Calcarenitas de textura arenosa.
- Estratos masivos o con estratificación débil.
- Porosidad y fracturamiento variables.
- Cavidades generadas por disolución.
- Desarrollo de superficies endurecidas o calichificadas.

Los niveles inferiores pueden presentar coquinas cubiertas por calizas más compactas, mientras que en los niveles superiores son comunes las calizas recristalizadas o masivas. La naturaleza carbonatada de la unidad favorece la infiltración de agua y el desarrollo de conductos de disolución. La Carta Geológico-Minera Cancún F16-8 identifica regionalmente esta unidad con la clave TmplCz-Cq, correspondiente a caliza y coquina del Mioceno-Plioceno. Para el sitio de Dreams Puerto Morelos, la referencia cartográfica apropiada es la hoja Cozumel F16-11; por ello, la Formación Carrillo Puerto debe interpretarse como el basamento carbonatado regional, cubierto hacia la costa por depósitos cuaternarios más recientes.

III.2.1.5.2 Depósitos cuaternarios costeros

Sobre las unidades carbonatadas neógenas se desarrollaron depósitos del Pleistoceno y Holoceno asociados con fluctuaciones del nivel del mar, antiguas líneas de costa, procesos eólicos, formación de playas y acumulación en humedales. Los principales depósitos cuaternarios presentes en el contexto regional son:

Tabla 9. Unidades o depósitos cuaternarios presentes en la RE, AI y AP.

Unidad o depósito	Composición general	Distribución
Depósitos de litoral	Arena carbonatada con fragmentos de moluscos, corales, algas calcáreas, foraminíferos y equinodermos	Playa y cordón litoral actual
Depósitos eólicos	Arena removilizada por el viento y parcialmente estabilizada por vegetación	Formas dunares históricas y montículos arenosos

Unidad o depósito	Composición general	Distribución
Depósitos palustres	Limo, arcilla, carbonato y materia orgánica	Humedales y depresiones costeras
Depósitos lacustres	Lodo calcáreo, limo, arcilla y materia orgánica	Depresiones con acumulación prolongada de agua
Areniscas carbonatadas	Arena biogénica parcialmente cementada	Antiguos cordones litorales y afloramientos próximos a la costa
Sedimentos marinos actuales	Arena carbonatada, fragmentos biogénicos y finos	Laguna arrecifal y fondos someros

En el AP, los materiales superficiales corresponden principalmente a depósitos litorales y sedimentos marinos actuales. En la franja terrestre inmediata predomina arena de playa, mientras que en el ambiente marino se presenta un mosaico de arena, laja calcárea, arena con algas, laja con algas, laja con gorgonáceos y parches de vegetación marina. Los materiales palustres y ricos en materia orgánica se encuentran asociados con los humedales interiores de la RE, fuera de los polígonos de intervención. Por tanto, no deben describirse como el sustrato directo de las barreras, vertidos o dunas artificiales.

El AI comprende un segmento del margen continental y de la plataforma marina somera. Geológicamente representa la transición entre:

1. Las rocas carbonatadas consolidadas del interior.
2. Los depósitos finos y orgánicos de las depresiones costeras.
3. Los depósitos arenosos del cordón litoral.
4. Los sedimentos no consolidados de la laguna arrecifal.
5. El sustrato calcáreo y las formaciones biogénicas del arrecife.

La franja costera está formada por depósitos jóvenes y dinámicos cuyo espesor puede variar espacialmente. La arena cubre parcialmente el sustrato calcáreo; en los sectores donde la cubierta es delgada o ha sido removida por el oleaje queda expuesta laja.

En la laguna arrecifal, la distribución de los sedimentos está condicionada por la profundidad, el oleaje, las corrientes, la distancia al arrecife, la producción biogénica y la presencia de vegetación marina. Los sectores de menor energía favorecen la acumulación de arena, mientras que en zonas de mayor circulación puede dominar el sustrato consolidado.

La arena es esencialmente carbonatada y procede tanto de la erosión y fragmentación del sustrato como de la producción de organismos calcificadores. Entre sus componentes potenciales se encuentran fragmentos de:

- Moluscos.
- Corales.

- Algas calcáreas.
- Foraminíferos.
- Equinodermos.
- Briozoarios.
- Otros organismos con estructuras de carbonato de calcio.

Esta procedencia explica el color claro de la arena y su densidad mineralógica, pero también su susceptibilidad a la fragmentación y redistribución por el oleaje. El AP no se encuentra sobre una unidad geológica homogénea.

III.2.1.6 Hidrología

La caracterización hidrológica comprende el análisis de las aguas superficiales y subterráneas presentes en la Región Ecológica (RE), el Área de Influencia (AI) y el Área del Proyecto (AP), así como los procesos de precipitación, escurrimiento, infiltración, recarga, circulación y descarga que determinan el funcionamiento hídrico regional.

En la península de Yucatán, la hidrología superficial y la subterránea presentan un comportamiento particular debido a la naturaleza carbonatada y kárstica del sustrato. La elevada permeabilidad de las calizas reduce la formación de ríos y arroyos superficiales y favorece la infiltración del agua de lluvia hacia un acuífero regional, libre y costero.

Es importante distinguirse entre la delimitación de aguas superficiales de INEGI y la delimitación del acuífero de CONAGUA. La primera organiza el territorio en regiones, cuencas y subcuencas hidrológicas; la segunda identifica la unidad hidrogeológica dentro de la cual se almacena y circula el agua subterránea.

III.2.1.6.1 Hidrología superficial

De acuerdo con la Red Hidrográfica de INEGI, el Proyecto se encuentra en la:

Tabla 10. Región y cuenca hidrológica de la RE, AI y AP.

Nivel de delimitación	Denominación
Región hidrológica	RH32 Yucatán Norte
Cuenca hidrológica	RH32A Quintana Roo
Vertiente	Mar Caribe
Condición dominante	Escurrimiento superficial reducido e infiltración elevada

La Región Hidrológica 32 Yucatán Norte comprende la porción norte de la península y se divide en las cuencas RH32A Quintana Roo y RH32B Yucatán. La RE, AI y el AP se localizan en la cuenca RH32A Quintana Roo.



Figura 16. Ubicación regional de Puerto Morelos dentro de la Región Hidrológica 32 Yucatán Norte y la cuenca RH32A Quintana Roo.

III.2.1.6.1.1 Escurrimiento superficial

La cuenca RH32A Quintana Roo se caracteriza por presentar un escurrimiento superficial reducido. La precipitación se infiltra rápidamente a través de:

- Poros de las rocas carbonatadas.
- Fracturas.
- Planos de estratificación.
- Cavidades de disolución.
- Conductos kársticos.
- Depresiones y cenotes.

En términos regionales, el coeficiente de escurrimiento se encuentra predominantemente en rangos bajos, comúnmente entre 0 y 5 %. Esto no significa que toda la lluvia se infiltre de manera inmediata ni que no puedan ocurrir encharcamientos. En la franja costera y en áreas urbanizadas, la presencia de materiales finos, terrenos saturados, humedales, vialidades, edificaciones y superficies impermeables puede incrementar temporalmente el escurrimiento.

III.2.1.6.1.2 Corrientes y cuerpos de agua superficiales

Dentro del AP no se identifican:

- Ríos permanentes.
- Arroyos temporales claramente definidos.
- Canales naturales.
- Manantiales superficiales continentales.
- Lagos o lagunas continentales.
- Cauces que atraviesen los polígonos de las obras.

La ausencia de corrientes superficiales permanentes es congruente con la naturaleza kárstica de la península. El agua de lluvia se desplaza principalmente hacia el subsuelo y no mediante una red fluvial superficial bien desarrollada.

En la porción continental de la RE existen depresiones y humedales que pueden mantener agua de forma temporal o permanente. No obstante, dichos ambientes se encuentran fuera del AP y no existe un cauce superficial que conecte directamente los polígonos de vertido, las dunas o las obras marinas con los manglares localizados en otros predios.

Esta precisión resulta relevante: la pertenencia de dos sitios a una misma unidad hidrológica regional no demuestra por sí misma una conexión superficial directa. En el presente caso, el Proyecto no contempla desviar, rellenar, canalizar o interrumpir corrientes superficiales que alimenten los humedales.

III.2.1.6.1.3 Humedales y zonas inundables

Los humedales interiores forman parte del funcionamiento hidrológico regional porque ocupan terrenos de baja elevación en los que el nivel freático puede aproximarse a la superficie. Su permanencia depende de la precipitación, la infiltración, la evapotranspiración, la microtopografía, la permeabilidad local y las variaciones del agua subterránea.

La cartografía de Uso del Suelo y Vegetación, Serie VII de INEGI, identifica áreas de manglar dentro de la RE. Sin embargo:

- Las obras se localizarán en la unidad cartográfica de asentamientos humanos y en el ambiente marino.
- Los buffers de 100 m aplicados a V1 y V2 no se superponen con vegetación de manglar.
- Las etapas 1 y 2 se localizarán mar adentro.
- No se contempla intervenir depresiones, humedales o manglares.
- No se modificará un cauce superficial que descargue en dichas áreas.

Las depresiones costeras pueden presentar inundación durante lluvias intensas, frentes fríos y ciclones tropicales. Esta condición forma parte de la vulnerabilidad regional, pero no implica que el AP funcione como vía de aportación superficial hacia los humedales interiores.

El AI comprende la microcelda litoral, por lo que su funcionamiento superficial se encuentra dominado por el ambiente marino y no por una red fluvial continental. Los principales procesos son:

- Oleaje.
- Corrientes litorales.
- Variaciones del nivel del mar.
- Intercambio de agua a través de las discontinuidades arrecifales.
- Precipitación directa sobre la laguna.
- Descarga subterránea costera y submarina.
- Transporte y resuspensión de sedimentos.

La laguna arrecifal constituye el cuerpo de agua superficial directamente relacionado con las obras. Su circulación se encuentra condicionada por la barrera arrecifal, los canales o pasos, la profundidad, el viento, el oleaje y las mareas. El término "laguna arrecifal" no implica que sea un cuerpo cerrado. Existe intercambio permanente con el mar Caribe a través de la cresta y las discontinuidades del arrecife.

Las etapas 1 y 2 se realizarán dentro del ambiente marino somero. La etapa 3 se desarrollará en la zona de playa y lavado, mientras que las dunas artificiales y pasos elevados se ubicarán en la porción superior del perfil costero.

Durante el hidrollenado se utilizará exclusivamente agua marina. La mezcla de agua y arena será conducida hacia los geotubos y el agua retornará al ambiente marino después de atravesar el geotextil. Este proceso no requiere extracción de agua superficial continental ni afectará ríos, lagunas interiores o humedales. El Proyecto tampoco contempla:

- Descargar aguas residuales sanitarias al mar.
- Verter combustibles o lubricantes.
- Abastecer combustible dentro del área marina.

- Modificar cauces.
- Construir drenajes hacia los humedales.
- Extraer agua de cenotes, pozos o cuerpos continentales.
- Relación del Proyecto con el escurrimiento costero

Las dunas artificiales modificarán localmente la microtopografía de la parte superior de la playa; sin embargo, se dispondrán en secciones discontinuas y se complementarán con pasos elevados. No constituirán un bordo continúo destinado a represar escurrimientos continentales.

Debido a que no existe un cauce superficial que atraviese las dunas proyectadas, no se prevé la interrupción de un flujo fluvial. La infiltración de la lluvia sobre la arena podrá continuar debido a la permeabilidad del material arenoso y del geotextil.

La superficie de las dunas será revegetada con especies costeras nativas, lo que contribuirá a disminuir la erosión pluvial y eólica. Las dunas no deberán incorporar capas impermeables que provoquen concentración artificial de escurrimientos.

Tabla 11. Síntesis de hidrología superficial.

Escala	Condición hidrológica	Relación con el Proyecto
Región Ecológica	RH32 Yucatán Norte, cuenca RH32A Quintana Roo	Contexto regional de infiltración elevada
Porción continental	Escurrimiento reducido, depresiones y humedales	No será intervenida directamente
Área de Influencia	Microcelda litoral y laguna arrecifal	Unidad principal para circulación marina y dispersión
Área del Proyecto	Playa y ambiente marino somero	Uso temporal de agua marina para hidrollenado
Banco IRRM	Fondo marino	Extracción controlada de arena sin captación continental

En conclusión, el AP no contiene corrientes superficiales continentales y no se encuentra atravesado por cauces que alimenten directamente los humedales interiores. La interacción hidrológica principal ocurrirá con el agua marina de la laguna arrecifal, por lo que las medidas prioritarias serán el control de sedimentos, la prevención de derrames y el mantenimiento de la circulación marina.

III.2.1.6.2 Hidrología subterránea

La RE se localiza dentro del acuífero Península de Yucatán, clave 3105, una unidad hidrogeológica regional que comprende la totalidad del estado de Yucatán y gran parte de Campeche y Quintana Roo, incluida la porción continental del municipio de Puerto Morelos.

El acuífero Península de Yucatán se caracteriza por ser:

- Regional.
- Predominantemente libre.
- Kárstico.
- Carbonatado.
- Altamente permeable.
- Heterogéneo a escala local.
- Costero.
- Con interacción entre agua dulce y agua marina.
- Vulnerable a la contaminación.

CONAGUA señala que, debido a la elevada permeabilidad de las rocas carbonatadas, la principal fuente de abastecimiento de agua en la península es el agua subterránea. También reconoce que se trata de un acuífero costero con un espesor limitado de agua dulce sobre agua salina y una vulnerabilidad elevada frente a la contaminación. DOF, estudio técnico del acuífero Península de Yucatán, clave 3105.

III.2.1.6.2.1 Recarga del acuífero

La recarga procede principalmente de la infiltración de la lluvia. El agua atraviesa el suelo y penetra en las rocas carbonatadas a través de la matriz, fracturas, fisuras, planos de estratificación y conductos de disolución. La recarga no es uniforme. Está condicionada por:

- Intensidad y duración de la lluvia.
- Evapotranspiración.
- Tipo y espesor del suelo.
- Cobertura vegetal.
- Fracturamiento.
- Desarrollo del carso.
- Presencia de depresiones.
- Urbanización e impermeabilización.
- Profundidad del nivel freático.

Las zonas con roca expuesta, suelos delgados y fracturamiento pueden presentar infiltración rápida. En terrenos bajos costeros, la cercanía del nivel freático puede favorecer saturación temporal y encharcamientos. Debido a la elevada permeabilidad, los contaminantes depositados sobre el terreno pueden desplazarse hacia el acuífero con poca retención, especialmente donde el suelo es delgado. Por ello, el DOF califica al acuífero 3105 como extremadamente vulnerable al deterioro de su calidad.

III.2.1.6.2.2 Tipo de porosidad y circulación

El agua se almacena y circula mediante dos tipos principales de porosidad:

1. Porosidad primaria, correspondiente a los espacios originales de la roca y los sedimentos.
2. Porosidad secundaria, generada por fracturas, disolución, cavernas y conductos kársticos.

La porosidad secundaria puede producir trayectorias preferenciales y velocidades muy diferentes entre puntos cercanos. El agua no se desplaza necesariamente como un frente uniforme; puede circular lentamente por la matriz y más rápidamente por fracturas o conductos.

III.2.1.6.2.3 Nivel freático y lente de agua dulce

En los acuíferos costeros de la península, el agua dulce se encuentra sobre agua salina debido a su menor densidad, formando un lente cuyo espesor disminuye hacia la línea de costa. Entre ambas se desarrolla una zona de mezcla o transición con salinidad variable.

Hacia el interior, el lente de agua dulce puede presentar mayor espesor. Al aproximarse a la costa:

- Disminuye la carga hidráulica.
- El nivel freático se aproxima a la superficie.
- El espesor de agua dulce se reduce.
- Aumenta la influencia de las mareas.
- Se incrementa la salinidad.
- Se favorece el intercambio con el ambiente marino.

CONAGUA reconoce que en la franja costera la cuña de agua marina y las oscilaciones del nivel del mar generan una zona de mezcla cuya amplitud aumenta hacia el litoral. La extracción excesiva puede provocar ascenso de agua salina y deteriorar la calidad del agua subterránea.

El Proyecto no contempla perforar pozos, extraer agua subterránea o abatir el nivel freático; por ello, no inducirá el ascenso de la cuña salina.

III.2.1.6.2.4 Dirección del flujo subterráneo

A escala peninsular, el agua subterránea se desplaza desde las áreas interiores de mayor carga hidráulica hacia las zonas costeras y finalmente descarga en el golfo de México y el mar Caribe. No obstante, a escala local, la dirección puede variar debido a:

- Fracturas y conductos.
- Cambios de permeabilidad.
- Depresiones topográficas.
- Humedales.
- Bombeo.
- Mareas.
- Recarga concentrada.
- Domos o elevaciones locales del nivel freático.

Los estudios hidrogeológicos realizados en Puerto Morelos identifican un acuífero costero libre y kárstico, con gradientes hidráulicos reducidos y descarga general hacia la costa. Modelaciones recientes también han identificado una elevación o domo local del agua subterránea en el área urbana, capaz de modificar las direcciones inmediatas del flujo. González-Herrera et al. (2022).

Por ello, para la RE puede reconocerse una tendencia regional desde el interior hacia el mar Caribe, pero no debe establecerse una única dirección noroeste-sureste u oeste-este para todo el sistema.

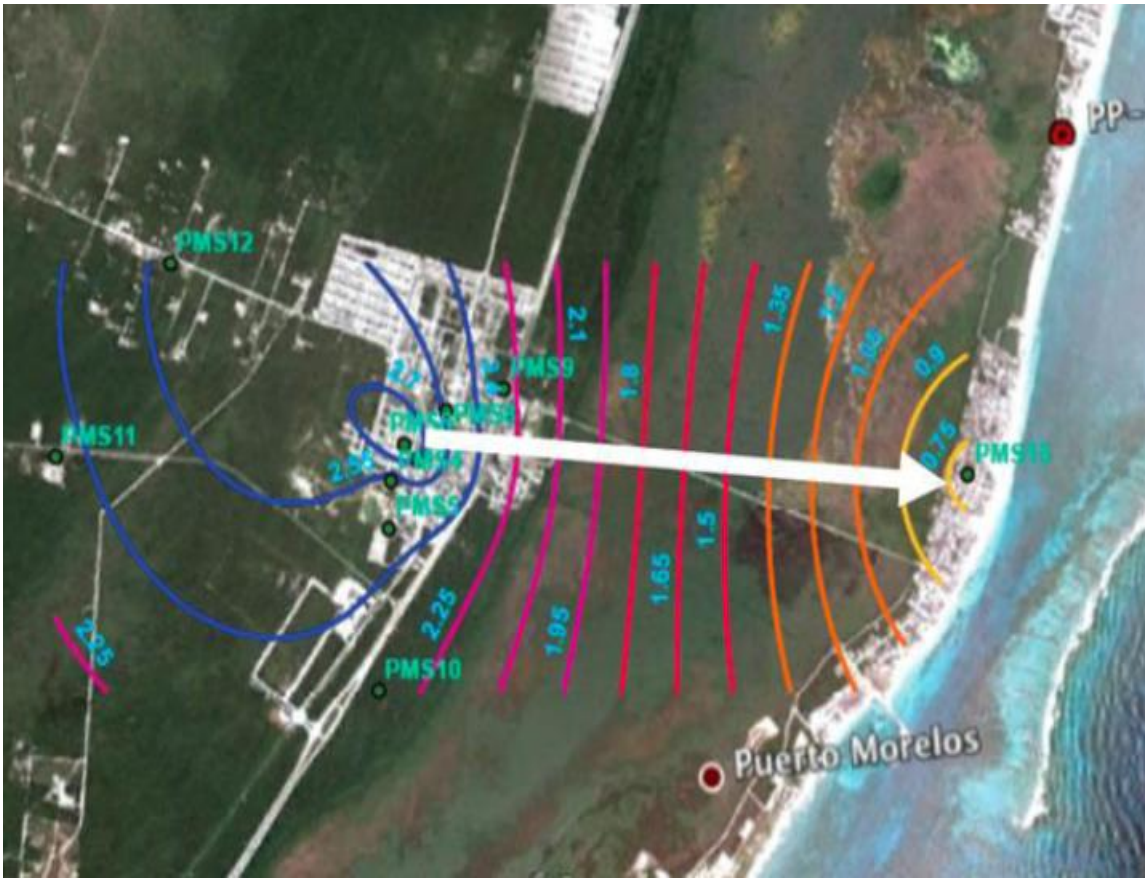


Figura 17. Curvas equipotenciales y dirección general del flujo subterráneo en el área urbana y costera de Puerto Morelos.

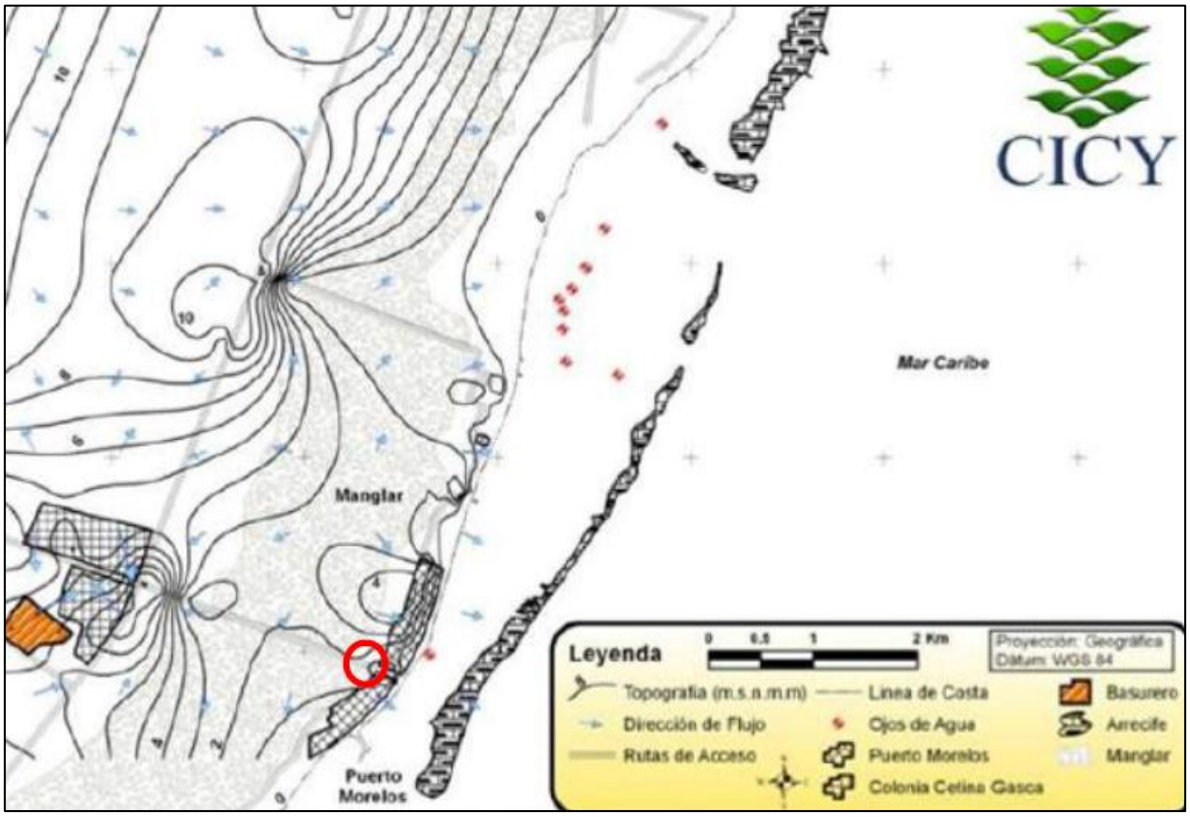


Figura 18. Representaciones antecedentes de la dirección regional del flujo subterráneo hacia la costa de Puerto Morelos.

III.2.1.6.2.5 Relación con los humedales

Los humedales costeros pueden mantener relaciones con el acuífero mediante el ascenso del nivel freático, la descarga difusa, la precipitación y la influencia marina. Sin embargo, estas relaciones dependen de la topografía, el sustrato y los gradientes locales.

Para la RE se reconoce que:

- Los humedales forman parte del sistema hidrogeológico regional.
- El nivel freático puede aproximarse a la superficie en terrenos bajos.
- El acuífero descarga regionalmente hacia la costa.
- No existe información que demuestre una trayectoria directa entre los polígonos del Proyecto y un humedal específico.
- Las obras no interceptarán un cauce superficial que alimente manglares.
- No se efectuarán excavaciones profundas capaces de interceptar deliberadamente el acuífero.

Por lo que no se ha identificado una conexión hidrológica superficial directa ni una trayectoria subterránea puntual entre las obras y la vegetación de manglar localizada en otros predios.

III.2.1.6.2.6 Vulnerabilidad a la contaminación

El acuífero 3105 presenta una vulnerabilidad elevada debido a:

- Suelos delgados.
- Alta permeabilidad de la roca.
- Conductos kársticos.
- Nivel freático somero en la costa.
- Escasa capacidad natural de filtración en algunas zonas.
- Interacción con el agua marina.
- Urbanización y desarrollo turístico.

CONAGUA identifica dos riesgos principales:

- Contaminación por actividades humanas.
- Salinización por ascenso de agua marina o intrusión salina.

El Proyecto no contempla aprovechar agua subterránea ni realizar descargas al subsuelo. Para prevenir afectaciones:

- El abastecimiento de combustible se realizará exclusivamente fuera del área marina.
- No se almacenarán combustibles sobre arena sin contención.
- No se efectuarán cambios de aceite o reparaciones mayores en la playa.
- Los residuos serán retirados diariamente.
- Se contará con materiales absorbentes para derrames.
- No se utilizarán aditivos durante el hidrollenado.
- No se construirán pozos de absorción.
- No se inyectará agua de retorno al acuífero.
- Los sanitarios para trabajadores deberán tener manejo controlado y no descargar al suelo.

Tabla 12. Síntesis de hidrología subterránea.

Elemento	Caracterización
Acuífero	Península de Yucatán
Clave	3105
Tipo	Libre, kárstico, carbonatado y costero
Recarga	Infiltración de agua de lluvia
Flujo regional	Desde el interior hacia las costas

Elemento	Caracterización
Flujo local	Variable por fracturas, conductos, mareas y gradientes reducidos
Descarga	Difusa y focalizada hacia humedales y ambiente marino
Principal vulnerabilidad	Contaminación e intrusión salina
Aprovechamiento por el Proyecto	Ninguno
Descarga al subsuelo	No contemplada

En conclusión, la RE forma parte de un sistema hidrológico dominado por la infiltración y circulación subterránea. El AP no contiene corrientes superficiales permanentes ni se encuentra atravesado por cauces naturales. La interacción superficial principal se producirá con el agua de la laguna arrecifal, mientras que el acuífero regional se encuentra debajo de la porción continental.

El Proyecto no contempla extraer agua subterránea, abatir el nivel freático, construir pozos, inyectar agua o descargar contaminantes al subsuelo. Por su ubicación costera y la vulnerabilidad del acuífero, deberán mantenerse medidas estrictas de prevención de derrames y manejo de residuos. Con base en la información disponible, no se identifica una conexión superficial directa ni una trayectoria subterránea puntual entre los polígonos del Proyecto y las áreas de manglar localizadas en otros predios.

III.2.1.7 Suelo

La caracterización edafológica de la Región Ecológica (RE), el Área de Influencia (AI) y el Área del Proyecto (AP) se realizó mediante el análisis de la cartografía edafológica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), complementada con la interpretación de las condiciones fisiográficas, geológicas, geomorfológicas y de uso del suelo descritas en los apartados precedentes. La cartografía edafológica del INEGI representa las características morfológicas, físicas y químicas de los suelos y utiliza como referencia el sistema internacional de clasificación de la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo —World Reference Base for Soil Resources (WRB)—. De acuerdo con el análisis espacial efectuado, en la Región Ecológica se distribuyen tres grupos principales: Leptosol, Solonchak y Arenosol. Su presencia responde al gradiente existente desde las superficies calcáreas interiores hasta las depresiones costeras sujetas a influencia salina y la franja arenosa inmediata al litoral. INEGI, Edafología; FAO, World Reference Base for Soil Resources. Debe precisarse que esta clasificación corresponde al componente edáfico continental. En las superficies permanentemente cubiertas por agua marina, incluida una parte importante del Área del Proyecto y el Banco IRRM, técnicamente no se presentan suelos en sentido edafológico, sino sedimentos y sustratos marinos. Por consiguiente, la descripción de Leptosol, Solonchak y Arenosol resulta aplicable a la porción terrestre y costera emergida, mientras que los fondos marinos se analizan mediante su caracterización sedimentológica y bentónica.

Tabla 13. Distribución de las unidades edafológicas

Unidad edafológica	Distribución dentro de la Región Ecológica	Características generales	Relación con el Proyecto
Leptosol	Se distribuye principalmente en las porciones interiores y occidentales de la Región Ecológica, asociado con superficies calcáreas relativamente elevadas respecto de la planicie costera.	Corresponde a suelos poco profundos, con desarrollo limitado y estrecha relación con la roca caliza o con materiales altamente calcáreos. Generalmente presentan escaso espesor, pedregosidad y limitada capacidad para almacenar agua y nutrientes.	No se identifica intervención directa sobre esta unidad. Las obras del Proyecto se concentran en la franja costera y marina frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, alejadas de las superficies interiores donde se distribuye el Leptosol.
Solonchak	Ocupa parte de las superficies bajas ubicadas detrás de la franja arenosa costera y otras depresiones de la Región Ecológica sujetas a influencia salina.	Se caracteriza por presentar concentraciones elevadas de sales solubles, relacionadas con la escasa elevación del terreno, la cercanía del nivel freático, la evaporación y, en determinados sectores, la influencia marina. Estas condiciones restringen el establecimiento de vegetación no tolerante a la salinidad.	El Área del Proyecto no contempla excavaciones, despalmes, rellenos ni cambio de uso del suelo sobre las superficies cartografiadas como Solonchak. Las obras se desarrollarán en playa arenosa, zona marina somera y el Banco IRRM. Por tanto, esta unidad forma parte del contexto regional, pero no constituye el sustrato directamente intervenido por las obras.
Arenosol	Se presenta como una franja estrecha y prácticamente paralela a la línea de costa, dentro de la cual se encuentra la porción terrestre-costera del Área del Proyecto.	Comprende suelos minerales de textura predominantemente arenosa, con débil desarrollo de horizontes, elevada permeabilidad, baja capacidad de retención de humedad y nutrientes y reducida acumulación de materia orgánica. En la costa, su	Es la unidad con mayor relación directa con las obras costeras. En ella se realizarán el aporte y conformación de arena de los polígonos V1 y V2, las seis secciones de duna artificial, su revegetación y los seis pasos elevados.

Unidad edafológica	Distribución dentro de la Región Ecológica	Características generales	Relación con el Proyecto
		configuración cambia continuamente por la acción del oleaje, el viento, las corrientes y el transporte litoral.	Las etapas marinas y el Banco IRRM se localizan sobre sedimentos y sustratos subacuáticos, no sobre Arenosol edáfico.

Los Leptosoles son suelos someros cuyo desarrollo se encuentra limitado por la cercanía de roca continua o de materiales fuertemente calcáreos. Esta condición es congruente con la naturaleza geológica de la Península de Yucatán, constituida predominantemente por rocas carbonatadas y con un relieve de escasa pendiente. Dentro de la Región Ecológica, esta unidad representa principalmente los terrenos interiores y no mantiene una relación espacial directa con las obras del Proyecto.

Los Solonchaks presentan un contenido elevado de sales solubles y suelen desarrollarse en posiciones bajas del relieve donde existen condiciones que favorecen la concentración de sales. En la zona costera de Puerto Morelos, su presencia está relacionada con la baja elevación topográfica, la proximidad del acuífero, la influencia marina y las condiciones de evaporación. No obstante, la presencia cartográfica de esta unidad dentro de la Región Ecológica no implica que el Proyecto intervenga humedales o suelos salinos, pues sus polígonos de obra se concentran en la franja de playa y el medio marino.

Los Arenosoles se desarrollan en materiales arenosos de escasa evolución pedogenética y son característicos de playas, cordones litorales y depósitos arenosos sujetos a transporte eólico o marino. Su textura gruesa determina una infiltración rápida, una capacidad reducida para retener humedad y nutrientes y una alta susceptibilidad a la movilización cuando carecen de cobertura vegetal. La WRB reconoce precisamente su asociación con depósitos de arena, crestas de playa y dunas. FAO, sistema de clasificación WRB.

En el Área de Influencia, se observa la transición entre los suelos salinos de la planicie costera, la franja de Arenosol y el ambiente marino de la laguna arrecifal. Esta configuración expresa la estrecha relación funcional existente entre los componentes terrestre y marino del sistema litoral. Sin embargo, el Área del Proyecto ocupa solamente una porción puntual de ese sistema y no implica la intervención de todas las unidades edafológicas comprendidas dentro del Área de Influencia.

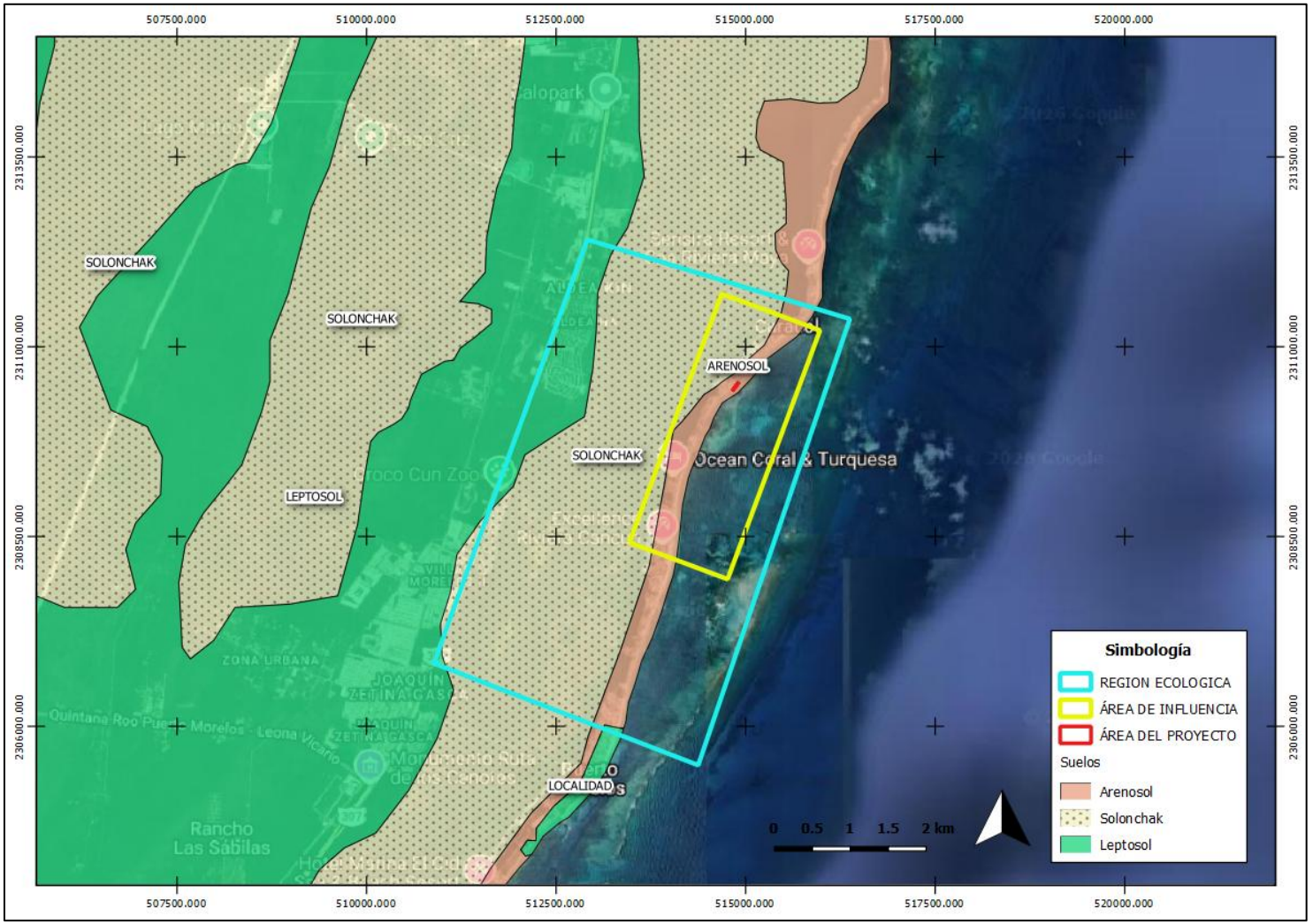


Figura 19. Unidades edafológicas presentes en la Región Ecológica, el Área de Influencia y el Área del Proyecto. Fuente: Elaboración propia con base en la cartografía edafológica del INEGI y la delimitación espacial del Proyecto. La superficie delimitada en color azul corresponde a la Región Ecológica; el polígono amarillo representa el Área de Influencia y los elementos en color rojo corresponden al Área del Proyecto.

La porción terrestre-costera del AP se encuentra sobre una franja arenosa sujeta a una dinámica sedimentaria activa. Por tanto, no corresponde a un suelo maduro con horizontes edáficos bien diferenciados, sino a un depósito litoral poco desarrollado, integrado predominantemente por arena de origen carbonatado y sujeto al transporte por viento, oleaje y corrientes costeras.

Esta interpretación coincide con los resultados granulométricos disponibles para el frente de playa del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa. La muestra número 3, obtenida en el sector de duna, presentó un diámetro medio aproximado de 0.16 mm, mientras que la muestra número 4, procedente de la zona de lavado de la playa, presentó un diámetro medio aproximado de 0.36 mm. Estos resultados muestran variaciones entre arena fina en la porción superior del perfil y arena de mayor tamaño en el sector sometido directamente al oleaje, lo que resulta congruente con los procesos naturales de selección y redistribución sedimentaria de una playa.

La arena del Banco IRRM, presentó un diámetro medio aproximado de 0.39 mm. Esta información permite reconocer que el material de aporte es de naturaleza arenosa y de tamaño semejante al observado en la zona de lavado de la playa receptora. Sin embargo, la colocación deberá realizarse de manera gradual y exclusivamente dentro de los volúmenes y polígonos establecidos para el Proyecto, evitando la dispersión del material hacia áreas no autorizadas.

Debe diferenciarse entre el suelo edáfico de la franja terrestre y los sustratos del fondo marino. Las barreras de contención y rompeolas mediante geotubos, así como las actividades relacionadas con el Banco IRRM, se desarrollarán en el medio marino sobre fondos constituidos por combinaciones de arena, laja, algas, gorgonáceos y parches de vegetación marina. En consecuencia, las posibles modificaciones sobre esos componentes se analizan como afectaciones al sustrato y hábitat marino, no como pérdida de suelo terrestre.

Por su parte, las principales interacciones del Proyecto con el suelo se concentrarán en la franja de Arenosol y comprenderán el depósito controlado de arena, la conformación de seis dunas artificiales, la revegetación con especies nativas y la instalación de seis pasos elevados. Debido al carácter arenoso, suelto y dinámico del sustrato, los efectos potenciales se relacionan principalmente con la compactación localizada, la alteración temporal de la microtopografía, la mezcla accidental con residuos y la pérdida de material por erosión eólica o marina.

No obstante, la intervención propuesta no implica la remoción de un suelo natural consolidado ni la transformación de terrenos con aptitud agrícola o forestal. El Proyecto se plantea sobre un frente costero afectado por el retroceso de la línea de costa y busca recuperar parte del volumen sedimentario perdido, estabilizar el perfil de playa y restablecer una franja de amortiguamiento mediante dunas artificiales revegetadas.

La revegetación de las seis secciones de duna, favorecerá la retención de arena por medio de tallos y raíces, reducirá el transporte eólico descontrolado y aportará gradualmente materia orgánica al

sustrato. Aunque estas acciones no producirán inmediatamente un suelo desarrollado, sí promoverán condiciones iniciales de estabilización y evolución del sustrato arenoso.

Los seis pasos elevados permitirán ordenar el tránsito peatonal y reducir el pisoteo directo sobre las áreas revegetadas. Con ello se evitará la compactación recurrente, la ruptura de la cobertura vegetal y la formación de corredores de deflación que puedan favorecer la pérdida de arena.

Durante la preparación y ejecución de las obras se aplicarán, entre otras, las siguientes medidas:

- Delimitar físicamente los polígonos de trabajo para impedir la ocupación de superficies distintas de las autorizadas.
- Mantener maquinaria, equipos y materiales dentro de áreas previamente definidas y, preferentemente, sobre superficies ya intervenidas.
- Evitar la apertura de caminos, patios de maniobra o áreas de almacenamiento sobre unidades de Solonchak y Leptosol.
- Prohibir el depósito de residuos sólidos, lubricantes, combustibles, aguas residuales o sustancias químicas sobre la playa.
- Realizar el abastecimiento de combustible y mantenimiento mayor de los equipos fuera del área marina y de la franja de playa.
- Colocar recipientes y materiales absorbentes para la atención inmediata de fugas accidentales.
- Retirar diariamente residuos, empaques, sobrantes y fragmentos de geotextil.
- Ejecutar el vertimiento de arena de forma gradual y controlada, evitando acumulaciones fuera de los polígonos V1 y V2.
- Conservar la integridad de la vegetación nativa incorporada a las dunas y reponer los ejemplares que no sobrevivan durante el periodo de establecimiento.
- Restringir el tránsito peatonal a los seis pasos elevados una vez establecida la revegetación.
- Evitar el uso de especies exóticas invasoras, fertilizantes químicos, herbicidas o plaguicidas en las dunas artificiales.
- Realizar seguimiento de la estabilidad de las dunas, pérdida de arena, compactación superficial y supervivencia de la vegetación.

III.2.1.8 Caracterización sedimentológica y compatibilidad granulométrica de las arenas

La caracterización sedimentológica tiene como propósito describir las propiedades físicas de la arena presente en el frente costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa y compararlas con las del material procedente del Banco IRRM, previsto como fuente de abastecimiento para el desarrollo del Proyecto.

La arena obtenida del Banco IRRM será utilizada para el hidrollenado de las barreras de contención y rompeolas construidas con geotubos, la colocación controlada de material en los polígonos de vertimiento V1 y V2 y la conformación de las seis secciones de duna artificial. Por ello, resulta necesario determinar si sus tamaños de partícula son congruentes con la variabilidad sedimentológica registrada en la playa receptora.

El tamaño de grano es una propiedad fundamental para explicar el comportamiento de los sedimentos costeros, debido a que influye en su movilidad, velocidad de sedimentación y susceptibilidad al transporte por oleaje, corrientes y viento. También interviene en la pendiente, estabilidad y capacidad de respuesta del perfil de playa frente a condiciones ordinarias y eventos hidrometeorológicos.

En proyectos de restauración litoral, la comparación entre la arena de aporte y los sedimentos de la playa debe considerar la distribución granulométrica completa y no únicamente un valor promedio. Las diferencias en la proporción de partículas finas, arena media y fracciones gruesas pueden modificar la forma en que el material se redistribuye después de su colocación. Este enfoque es congruente con los criterios técnicos utilizados para evaluar arenas de préstamo en proyectos costeros, los cuales consideran la distribución del tamaño de grano, los diámetros característicos y el grado de selección del material (USACE, 2002; James, 1975).

III.2.1.8.1 Muestras analizadas

Para la caracterización se consideraron tres muestras representativas:

- M3: obtenida en el sector superior del perfil arenoso del inmueble actualmente denominado Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa.
- M4: obtenida en la zona de lavado de la playa frente al mismo inmueble.
- Puerto Morelos M1: procedente del Banco IRRM y analizada en el informe de laboratorio.

Las muestras M3 y M4 representan diferentes posiciones dentro del perfil de playa receptor. M3 caracteriza el material de la porción superior, menos expuesto al lavado directo del oleaje, mientras que M4 corresponde al sector de playa activa, donde la acción recurrente del oleaje produce procesos de selección, remoción y redeposición de partículas.

La muestra Puerto Morelos M1 representa el material del Banco IRRM que se propone utilizar en las obras. Su comparación con M3 y M4 permite determinar si la arena de aporte se encuentra dentro del intervalo granulométrico observado en el sistema receptor.

Tabla 14. Identificación y procedencia de las muestras utilizadas en la caracterización sedimentológica.

Muestra	Procedencia	Representatividad
M3	Sector superior del perfil arenoso del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa	Arena presente en la porción superior de la playa
M4	Zona de lavado de la playa frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa	Arena sometida directamente a la acción del oleaje
Puerto Morelos M1	Banco IRRM	Material propuesto para el hidrollenado, vertimiento y conformación de dunas artificiales

III.2.1.8.2 Procesamiento de los resultados granulométricos

Los resultados de las tres muestras fueron analizados mediante la distribución acumulada del tamaño de partícula, expresada como el porcentaje de material que pasa por cada abertura de tamiz.

A partir de estos valores se construyeron las curvas granulométricas comparativas y se determinaron tres diámetros característicos:

- D16: diámetro por debajo del cual se encuentra 16% de la muestra.
- D50: diámetro mediano, por debajo del cual se encuentra 50% de la muestra.
- D84: diámetro por debajo del cual se encuentra 84% de la muestra.

Los diámetros fueron obtenidos mediante interpolación semilogarítmica entre las dos aberturas de tamiz consecutivas que comprenden cada porcentaje. Este procedimiento considera que el tamaño de las partículas varía de forma logarítmica entre tamices, mientras que el porcentaje acumulado que pasa cambia proporcionalmente dentro de dicho intervalo.

De esta manera, los resultados de M3, M4 y Puerto Morelos M1 fueron procesados mediante un mismo criterio de cálculo, lo que permite compararlos directamente.

En la fracción más fina de M3, los valores inferiores al límite de precisión del análisis fueron considerados como 0.00% para la construcción de la curva y el cálculo de los diámetros característicos. Este tratamiento no modifica la interpretación general de la muestra, debido a que únicamente afecta la fracción inferior a 0.075 mm.

III.2.1.8.3 Distribución granulométrica acumulada

La siguiente Tabla presenta el porcentaje acumulado de material que pasa por cada abertura de tamiz. Los espacios sin valor corresponden a aberturas que no formaron parte de la serie de medición

de la muestra respectiva; por tanto, no se asignaron valores adicionales ni se modificaron los resultados experimentales.

Tabla 15. Distribución granulométrica acumulada de las arenas del sitio del Proyecto y del Banco IRRM.

Abertura del tamiz (mm)	M3: sector superior del perfil (% que pasa)	M4: zona de lavado (% que pasa)	Banco IRRM (% que pasa)
2.000	99.68	95.73	—
1.400	—	—	99.80
1.000	—	—	99.70
0.850	99.45	81.71	99.50
0.500	—	—	87.80
0.425	97.21	40.86	—
0.300	—	—	13.00
0.250	87.33	27.08	3.70
0.180	—	—	1.60
0.150	34.71	12.49	1.20
0.125	—	—	1.00
0.075	0.00	0.41	0.80

La distribución acumulada muestra diferencias relacionadas con la posición de cada muestra dentro del sistema costero. M3 concentra la mayor parte de sus partículas entre 0.150 y 0.250 mm, lo que corresponde a una arena predominantemente fina. M4 presenta una distribución más extendida, con partículas comprendidas desde las fracciones finas hasta tamaños cercanos o superiores a 0.850 mm.

Por su parte, la muestra del Banco IRRM presenta una concentración marcada entre 0.300 y 0.500 mm. A través del tamiz de 0.300 mm pasa 13.00% del material, mientras que por el tamiz de 0.500 mm pasa 87.80%. Esto significa que aproximadamente 74.80% de la muestra se concentra directamente entre ambos tamaños.

Si se considera el intervalo de 0.250 a 0.500 mm, la proporción del material del banco comprendida en éste es de aproximadamente 84.10%. En consecuencia, el Banco IRRM está compuesto predominantemente por arena media y presenta una distribución relativamente uniforme.

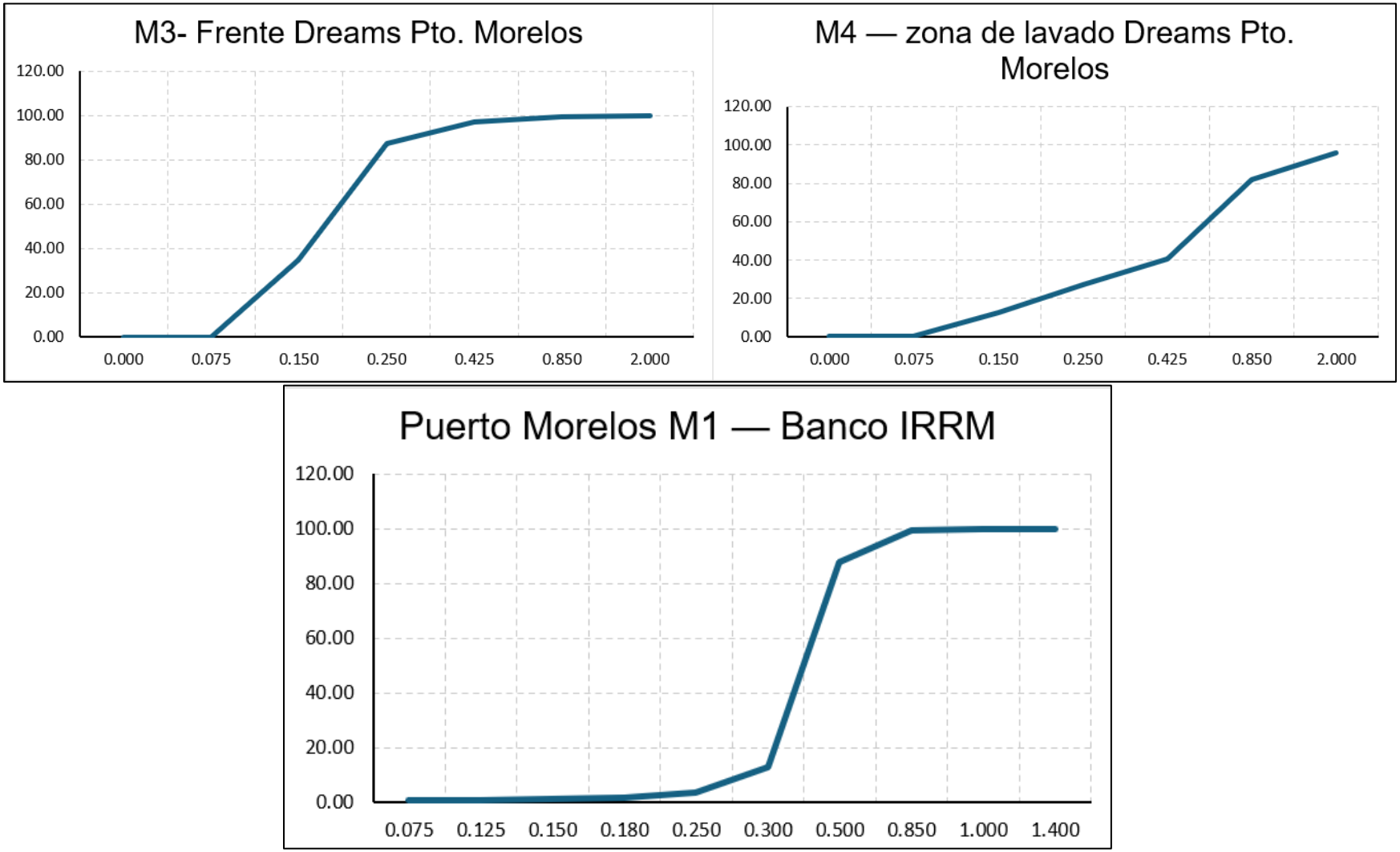


Figura 20. **C**urvas granulométricas comparativas de las muestras M3 y M4 del frente costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa y de la muestra Puerto Morelos M1 del Banco IRRM.

La curva de M3 se encuentra desplazada hacia los tamaños finos, mientras que M4 presenta una pendiente más gradual y una distribución más amplia. La curva del Banco IRRM presenta una pendiente pronunciada entre 0.300 y 0.500 mm, lo que confirma que la mayoría de las partículas se concentra dentro de un intervalo relativamente estrecho de arena media.

La curva del banco se ubica entre las condiciones representadas por M3 y M4. Esto indica que el material de aporte es más grueso que la arena del sector superior del perfil, pero presenta una fracción gruesa menor que la observada en la zona de lavado.

III.2.1.8.4 Diámetros característicos

Los resultados de D16, D50 y D84 obtenidos mediante el criterio común de cálculo se presentan en la siguiente Tabla:

Tabla 16. Diámetros característicos y densidad de las arenas analizadas.

Muestra	Procedencia	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)	Relación D84/D16	Densidad reportada (t/m³)
M3	Sector superior del perfil arenoso	0.103	0.174	0.242	2.34	2.750
M4	Zona de lavado de la playa	0.170	0.496	0.978	5.76	2.610
Puerto Morelos M1	Banco IRRM	0.306	0.386	0.487	1.59	2.365

El D50 representa el tamaño mediano de la muestra y constituye un parámetro útil para comparar el material del banco con los sedimentos de la playa. Los resultados muestran la siguiente relación:

- M3: D_{50} de 0.174 mm.
- Banco IRRM: D_{50} de 0.386 mm.
- M4: D_{50} de 0.496 mm.

El diámetro mediano del Banco IRRM se encuentra, por tanto, comprendido entre los valores de las dos muestras de la playa receptora.

De acuerdo con la escala granulométrica de Wentworth, la arena comprende partículas de aproximadamente 0.0625 a 2.00 mm. Dentro de este intervalo, los tamaños de 0.125 a 0.250 mm corresponden a arena fina; los de 0.250 a 0.500 mm a arena media; y los de 0.500 a 1.00 mm a arena gruesa (USGS, 2006).

Conforme a esta clasificación:

- M3 corresponde a arena fina.
- M4 se encuentra en el límite superior de la arena media, próxima al intervalo de arena gruesa.
- El Banco IRRM corresponde a arena media.

III.2.1.8.5 Grado de selección del material

La relación D84/D16 permite comparar de manera sencilla la amplitud de la distribución granulométrica. Un valor reducido indica que la mayoría de las partículas se concentra dentro de un intervalo estrecho, mientras que un valor mayor evidencia la coexistencia de partículas de tamaños más diversos.

M3 presentó una relación D84/D16 de 2.34, correspondiente a una distribución concentrada principalmente en la fracción fina. M4 registró una relación de 5.76, la más elevada de las tres muestras, lo que refleja una mezcla más heterogénea de tamaños en la zona de lavado.

El Banco IRRM presentó una relación D84/D16 de 1.59. Este valor indica que el material se encuentra mejor seleccionado y posee una distribución granulométrica más uniforme que las muestras del frente costero, especialmente respecto de M4.

La mayor heterogeneidad observada en la zona de lavado es congruente con la dinámica natural de este sector, donde el oleaje remueve selectivamente las partículas y puede concentrar temporalmente materiales de diferentes tamaños.

III.2.1.8.6 Comparación entre el Banco IRRM y la playa receptora

Para determinar la relación entre el material de aporte y la playa receptora se calcularon los cocientes entre los diámetros característicos del Banco IRRM y los correspondientes a M3 y M4.

Tabla 17. Relaciones granulométricas entre el Banco IRRM y las muestras del frente costero.

Comparación	Relación D16	Relación D50	Relación D84	Interpretación
Banco IRRM/M3	2.97	2.22	2.01	La arena del banco es más gruesa que la existente en el sector superior del perfil.
Banco IRRM/M4	1.81	0.78	0.50	El banco presenta menos partículas finas, pero su fracción gruesa es menor que la registrada en la zona de lavado.

El D50 del Banco IRRM es aproximadamente 2.22 veces mayor que el de M3. Por ello, la arena del banco es más gruesa que la existente en el sector superior del perfil.

Respecto de M4, el D50 del banco equivale a aproximadamente 78% del diámetro mediano de la zona de lavado. Esto indica que el material de aporte es ligeramente más fino que el sedimento mediano del sector sometido directamente al oleaje.

La relación entre las tres muestras confirma que el Banco IRRM ocupa una posición granulométrica intermedia dentro del perfil receptor: es más grueso que el material del sector superior y más fino que la porción de mayor tamaño presente en la zona de lavado.

III.2.1.8.7 Contenido de partículas finas

La proporción de partículas menores de 0.075 mm es particularmente relevante porque los materiales del tamaño de limo o arcilla tienen mayor capacidad de permanecer temporalmente en suspensión y aumentar la turbidez durante su colocación.

En el Banco IRRM, únicamente 0.80% de la muestra pasa por la malla de 0.075 mm. Este resultado evidencia un contenido reducido de partículas finas y confirma que el material está compuesto predominantemente por arena.

M4 registró 0.41% de material menor de 0.075 mm, mientras que en M3 la fracción se encontró en valores cercanos al límite de precisión del análisis. En las tres muestras, la proporción de material inferior al límite arenoso es reducida.

La baja presencia de finos en el Banco IRRM disminuye la posibilidad de que el material de aporte genere una liberación significativa de partículas limosas durante su manejo. No obstante, el Proyecto contempla la utilización de bombeo controlado, delimitación de los frentes de trabajo y mallas antidispersión para prevenir la dispersión de sedimentos durante las actividades.

III.2.1.8.8 Densidad de las arenas

Las densidades reportadas fueron de 2.750 t/m³ para M3, 2.610 t/m³ para M4 y 2.365 t/m³ para el Banco IRRM. El valor del banco es aproximadamente 14.0% menor que el de M3 y 9.4% menor que el de M4.

La densidad se utiliza como un parámetro descriptivo complementario, debido a que puede estar influida por la composición mineralógica, porosidad, contenido de carbonatos, humedad de la muestra y procedimiento de laboratorio. Por ello, su interpretación debe realizarse conjuntamente con la distribución granulométrica y no como un criterio aislado de compatibilidad.

Las tres muestras presentan valores propios de materiales minerales arenosos. La diferencia observada no modifica el hecho de que la muestra Puerto Morelos M1 se encuentra dentro del

dominio textural de arena y posee una distribución de tamaños comprendida entre las condiciones registradas en el perfil de playa receptor.

III.2.1.8.9 Compatibilidad granulométrica

La compatibilidad sedimentológica no implica que la arena del banco deba reproducir exactamente la distribución de cada punto de la playa, debido a que el propio perfil costero presenta variaciones espaciales asociadas con la posición respecto del oleaje, el transporte transversal, la selección de partículas y los cambios estacionales.

Para determinar la compatibilidad granulométrica se consideraron los siguientes elementos:

1. El Banco IRRM se encuentra constituido predominantemente por arena media.
2. Su D50 de 0.386 mm está comprendido entre los valores de M3 y M4.
3. Aproximadamente 84.10% del material se concentra entre 0.250 y 0.500 mm.
4. Únicamente 0.80% de la muestra presenta un tamaño inferior a 0.075 mm.
5. La arena del banco es más gruesa que la existente en el sector superior del perfil, por lo que no introduce una fracción fina dominante.
6. La arena del banco es ligeramente más fina que el diámetro mediano de la zona de lavado.
7. La distribución del Banco IRRM es más uniforme que las distribuciones registradas en M3 y M4.
8. El material del banco se encuentra dentro del intervalo granulométrico observado en la playa receptora.

Con base en estos resultados, se determina que la arena del Banco IRRM presenta una **compatibilidad granulométrica favorable con el intervalo de tamaños registrado en el frente costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa.**

Esta compatibilidad no significa que el material sea idéntico a todas las posiciones del perfil de playa, sino que sus tamaños de partícula son congruentes con la variabilidad registrada entre el sector superior y la zona de lavado.

III.2.1.8.10 Comportamiento esperado en las obras del Proyecto

La arena del Banco IRRM tendrá diferentes funciones dentro del Proyecto, por lo que su comportamiento deberá analizarse conforme al componente en el que será utilizada.

- Hidrollenado de geotubos: La distribución uniforme de la arena favorece su conducción mediante bombeo y su colocación dentro de las barreras de contención y rompeolas. El material permanecerá confinado por el geotextil, mientras que el agua marina utilizada para el hidrollenado retornará filtrada a través de éste. El reducido contenido de partículas

menores de 0.075 mm disminuye la cantidad de material fino susceptible de atravesar el geotextil junto con el agua de retorno. La operación se realizará de manera gradual para evitar sobrepresiones, deformaciones o pérdidas de material.

- Colocación de arena en V1 y V2: En los polígonos V1 y V2, la arena será colocada de forma controlada para recuperar parte del volumen sedimentario perdido y restablecer el perfil costero. Debido a que el D50 del Banco IRRM se encuentra entre los valores de M3 y M4, se prevé que el material se incorpore al perfil receptor y experimente una redistribución inicial por efecto del oleaje. Las partículas de mayor tamaño tenderán a permanecer en las zonas de mayor energía, mientras que las fracciones relativamente finas podrán ser transportadas hacia la porción superior del perfil. Este proceso corresponde al ajuste natural del material colocado frente a las condiciones hidrodinámicas locales y no implica, por sí mismo, una pérdida total del aporte.

- Conformación de dunas artificiales: La arena del Banco IRRM es más gruesa que M3, correspondiente al sector superior del perfil. En consecuencia, puede presentar una movilidad eólica inicial menor que la arena fina actualmente registrada en dicha posición. La conformación de las seis secciones de duna artificial y su revegetación con especies costeras nativas permitirán retener el material, reducir la erosión eólica y favorecer su estabilización progresiva. Los seis pasos elevados ordenarán el tránsito peatonal y evitarán la compactación y pérdida de arena en las superficies revegetadas.

III.2.1.8.11 Medidas de control

Para conservar las características sedimentológicas evaluadas se aplicarán las siguientes medidas:

- La arena procederá exclusivamente del Banco IRRM y del sector caracterizado mediante la muestra Puerto Morelos M1.
- No se mezclará con arena procedente de ríos, dunas naturales, playas externas, materiales asociados con sargazo u otras fuentes.
- Se evitará incorporar sedimentos fangosos, materia orgánica, residuos, hidrocarburos o materiales distintos de la arena caracterizada.
- La extracción y el bombeo se realizarán gradualmente y dentro de los polígonos establecidos.
- La colocación se restringirá a los volúmenes y superficies señalados en el Capítulo I.
- Se utilizarán mallas antidispersión en los frentes donde exista posibilidad de desplazamiento de sedimentos.
- Se observarán continuamente el color, textura y composición aparente del material bombeado.
- Las actividades se suspenderán si se identifica un cambio notorio en el contenido de finos, presencia de materia orgánica, residuos o sustancias contaminantes.

- Se dará seguimiento al comportamiento del perfil de playa y de las dunas artificiales para identificar la redistribución del material y aplicar, en su caso, acciones de mantenimiento.

III.2.8.1.12 Conclusión de la granulometría

Las muestras M3 y M4 evidencian que el frente costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa presenta una variabilidad granulométrica natural entre el sector superior del perfil y la zona de lavado.

M3 corresponde a arena fina, con un D50 de 0.174 mm, mientras que M4 se ubica en el límite superior de la arena media, con un D50 de 0.496 mm. La arena del Banco IRRM presenta un D50 de 0.386 mm, correspondiente a arena media y comprendido entre los valores de las dos muestras receptoras.

El Banco IRRM contiene una proporción reducida de partículas menores de 0.075 mm y presenta una distribución más uniforme que las muestras de la playa. La mayor parte de su material se concentra entre 0.250 y 0.500 mm, dentro del intervalo de arena media.

Por lo anterior, la arena del Banco IRRM presenta características granulométricas congruentes con el dominio arenoso del sistema costero y una compatibilidad favorable con la variabilidad registrada en el frente del Proyecto. Su utilización es técnicamente consistente con las funciones de hidrollenado, aporte controlado de arena y conformación de dunas artificiales, siempre que se conserve la procedencia del material caracterizado y su colocación se realice de manera controlada dentro de los polígonos establecidos.

III.2.1.9 Dinámica y transporte litoral de sedimentos

El transporte litoral comprende el desplazamiento de sedimentos dentro del sistema costero como resultado de la interacción entre el oleaje, las corrientes, las mareas, el viento, la configuración batimétrica, la disponibilidad y granulometría del material sedimentario y la presencia de elementos naturales que modifican la propagación de la energía marina. Este transporte puede ocurrir paralelamente a la línea de costa —transporte longitudinal— o en dirección perpendicular a ésta —transporte transversal—, y constituye uno de los procesos que controlan la evolución del perfil de playa.

El análisis de la dinámica sedimentaria resulta particularmente relevante para el Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, debido a que las obras propuestas se desarrollarán dentro de un sistema costero que ha experimentado retroceso de la línea de costa y redistribución continua de sus sedimentos. En este contexto, las barreras de contención, las barreras rompeolas, el aporte controlado de arena y la conformación de dunas artificiales tienen como finalidad disminuir la pérdida de material, favorecer

la estabilización del perfil costero y recuperar parte de la capacidad de amortiguamiento del sistema playa-duna.

III.2.1.9.1 Transporte litoral regional

En términos regionales, la circulación marina frente a la costa de Quintana Roo se encuentra influida por la Corriente de Yucatán y por la configuración del margen continental y del sistema arrecifal mesoamericano. La circulación dominante en aguas abiertas presenta una componente general de sur a norte; sin embargo, en la franja costera pueden desarrollarse corrientes de menor escala y dirección variable, moduladas por la marea, la incidencia del oleaje, la batimetría de la laguna arrecifal, las discontinuidades de la cresta arrecifal y la geometría particular de la costa.

Por consiguiente, la dirección regional de transporte no debe interpretarse como un flujo uniforme o permanente. Dentro de la laguna arrecifal, el movimiento del sedimento puede alternar temporalmente en respuesta a la variabilidad del oleaje y las corrientes locales, particularmente durante el paso de frentes fríos, tormentas tropicales y huracanes.

Las arenas de la costa de Quintana Roo corresponden generalmente a materiales calcáreos de tamaño fino a medio, con diámetros aproximados de entre 0.19 y 0.55 mm. En condiciones regionales, el vector predominante de transporte sedimentario se orienta de sur a norte; no obstante, su expresión local se encuentra modificada por la presencia de arrecifes, lagunas arrecifales, pasos o discontinuidades de la cresta arrecifal y variaciones de la morfología costera.

III.2.1.9.2 Condiciones de oleaje

La caracterización del oleaje en aguas profundas se realizó, mediante información del modelo de reanálisis WaveWatch III correspondiente al nodo localizado aproximadamente en las coordenadas 20.5° N y 86° O, con una serie temporal que abarca de enero de 1979 a noviembre de 2018.

Los resultados indican una altura media del oleaje en aguas profundas de aproximadamente 1.37 m, un periodo medio de 6.95 segundos y una dirección predominante del este-sureste, cercana a 110.35°. Durante el otoño y el invierno también se presenta oleaje procedente del norte, asociado con el ingreso de frentes fríos. Entre junio y noviembre pueden registrarse condiciones de mayor energía debido a la temporada de ciclones tropicales.

Debe considerarse que estos valores representan condiciones de aguas profundas y no pueden trasladarse directamente a la línea de costa. Antes de alcanzar el frente del predio, el oleaje experimenta procesos de refracción, difracción, someramiento, rompimiento y disipación de energía derivados de su interacción con el arrecife, la laguna arrecifal y la batimetría local.

Las mediciones efectuadas mediante un Perfilador de Corrientes Acústico Doppler —ADCP— frente al sitio registraron una altura media local del oleaje cercana a 1.0 m, así como un evento de mayor energía con altura aproximada de 2.5 m. La dirección dominante fue del este, con tendencia hacia

el sureste. La diferencia respecto de los valores de aguas profundas evidencia la función del sistema arrecifal y de la laguna arrecifal en la transformación y disipación del oleaje antes de su llegada a la costa.

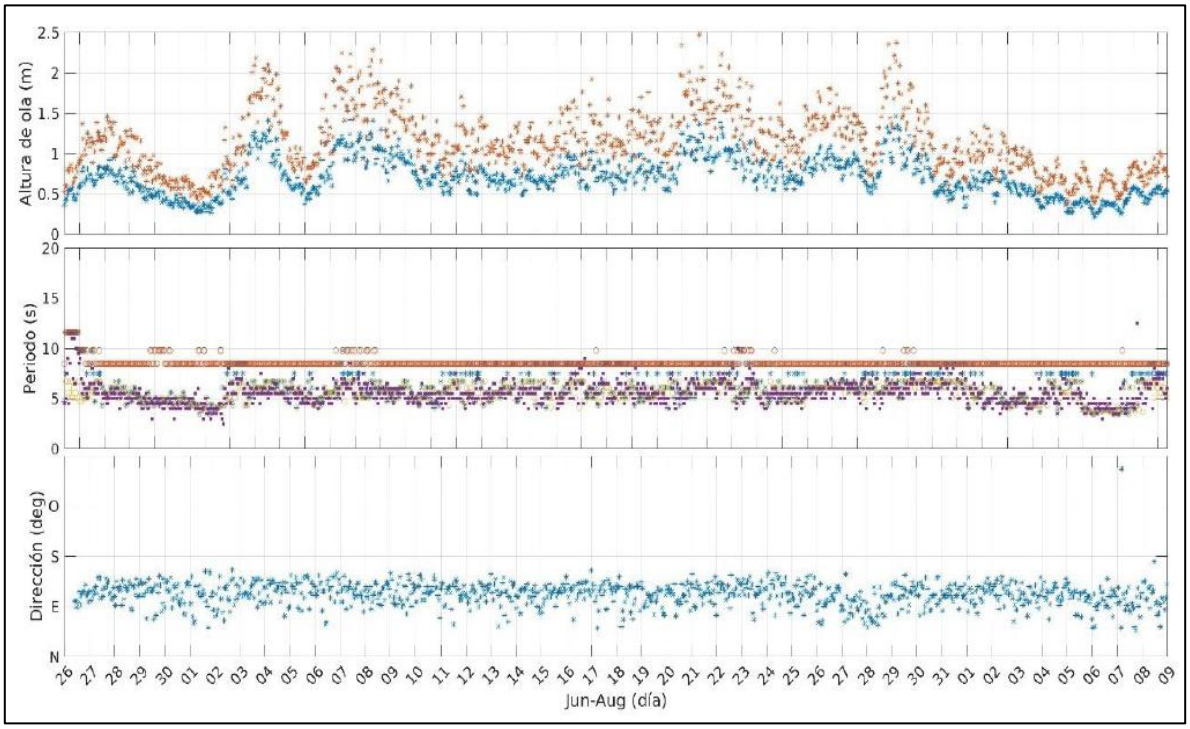


Figura 21. Altura, periodo y dirección del oleaje registrados frente al área de estudio mediante ADCP.

III.2.1.9.3 Corrientes costeras locales

Las corrientes locales fueron caracterizadas mediante mediciones estáticas con ADCP durante un periodo de 28 días. Los resultados muestran una circulación bidireccional, con componentes dominantes hacia el nor-noreste y sur-suroeste, modulada por la marea y por la influencia de la Corriente de Yucatán.

Durante el periodo de medición se observaron magnitudes variables, desde condiciones próximas a la calma hasta valores máximos cercanos a 0.5 m/s. La alternancia entre ambas direcciones confirma que el transporte local no ocurre exclusivamente en el sentido regional sur-norte, sino que puede invertirse temporalmente en función de la marea, el oleaje, el viento y las condiciones meteorológicas.

Esta circulación bidireccional puede ocasionar redistribuciones locales de arena entre diferentes sectores del frente costero. En consecuencia, el comportamiento sedimentario del área debe analizarse en escalas temporales suficientemente amplias, evitando inferir una dirección única de transporte a partir de observaciones aisladas.

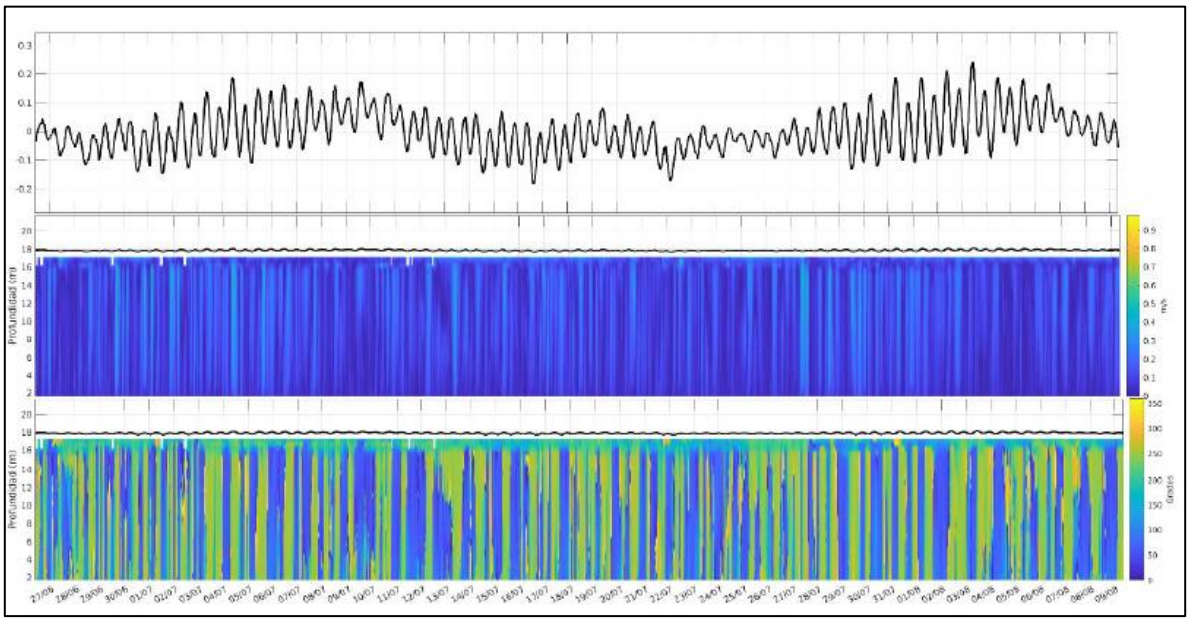


Figura 22. Datos de corriente. El panel superior muestra la señal de marea. El panel central muestra la magnitud de la velocidad en la columna de agua, los valores se muestran en el panel lateral. El panel inferior muestra la dirección de la corriente en la columna de agua en grados.

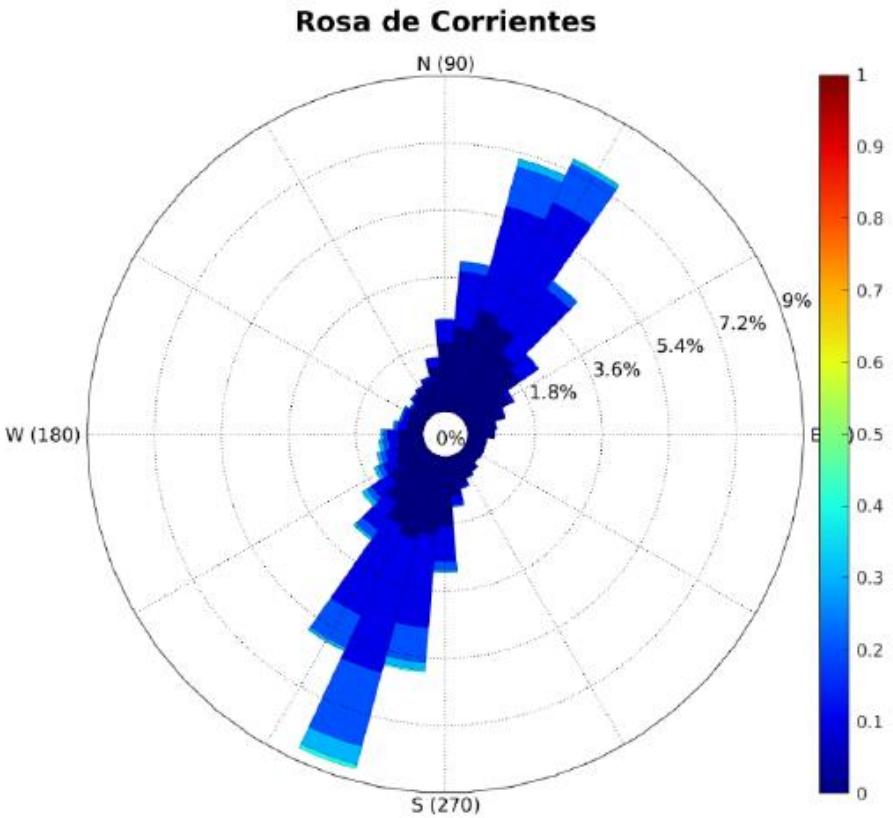


Figura 23. Rosa de corrientes locales con componentes dominantes hacia el nor-noreste y sur-suroeste.

III.2.1.9.4 Transporte longitudinal y transversal

La incidencia oblicua del oleaje genera corrientes paralelas a la línea de costa capaces de movilizar sedimentos longitudinalmente. La magnitud y dirección de este transporte dependen del ángulo de incidencia del oleaje, su altura y periodo, la pendiente del perfil costero y las características granulométricas del material.

Simultáneamente ocurre un transporte transversal entre la playa emergida, la zona de lavado, la zona de rompiente y la playa sumergida. Bajo condiciones de baja energía, la asimetría de las olas asociada con el someramiento puede producir un transporte neto hacia la costa, favoreciendo la acreción y la reconstrucción temporal del perfil de playa. Durante eventos de mayor energía, la zona de rompiente se desplaza mar adentro y aumenta el transporte transversal hacia el mar, provocando erosión de la playa emergida y acumulación temporal de arena en la playa sumergida.

Una parte del material desplazado durante los eventos de tormenta puede reincorporarse posteriormente al perfil de playa cuando regresan las condiciones de menor energía. Sin embargo, cuando el sedimento es transportado fuera del perfil activo, retenido en depresiones, movilizado fuera de la celda litoral o removido repetidamente por eventos extremos, la recuperación natural puede ser incompleta.

En el área del Proyecto este comportamiento explica la alternancia de periodos de acreción y erosión, así como la vulnerabilidad de la playa frente a nortes, tormentas tropicales y huracanes. Tales eventos incrementan la energía del oleaje, intensifican las corrientes y favorecen el desplazamiento de arena hacia la playa sumergida o hacia sectores adyacentes.

Tabla 18. Tipos de procesos de transporte de sedimentos.

Proceso	Condición dominante	Respuesta sedimentaria esperada
Transporte longitudinal	Oleaje incidente con un ángulo oblicuo respecto de la costa	Desplazamiento de arena paralelo a la línea de costa
Transporte transversal hacia tierra	Oleaje de menor energía y zona de rompiente cercana a la costa	Acreción y reconstrucción parcial del perfil de playa
Transporte transversal hacia el mar	Oleaje de alta energía y zona de rompiente desplazada mar adentro	Erosión de la playa emergida y acumulación temporal en la playa sumergida
Redistribución bidireccional	Alternancia de corrientes NNE–SSW	Intercambio temporal de sedimentos entre sectores del frente costero
Removilización extraordinaria	Frentes fríos, tormentas tropicales y huracanes	Pérdida acelerada de arena y modificación del perfil costero

III.2.1.9.5 Evolución de la línea de costa

El análisis histórico de imágenes correspondientes a 2005, 2006, 2009, 2014, 2015, 2019 y 2023 muestra un proceso general de retroceso de la línea de costa frente al inmueble actualmente denominado Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa. El estudio antecedente estimó una pérdida horizontal de playa del orden de 25 m en determinados sectores del frente costero durante el periodo analizado.

Este valor representa una comparación histórica de posiciones de la línea de costa y no debe interpretarse como una tasa anual uniforme, debido a que la playa presenta variaciones estacionales y respuestas episódicas ante eventos meteorológicos. No obstante, la tendencia observada confirma la existencia de un desequilibrio sedimentario y sustenta la necesidad de evaluar medidas de restauración y estabilización litoral.

El sector suroeste del frente costero presenta una condición particular de vulnerabilidad. El estudio de riesgo asocia esta condición con la discontinuidad arrecifal conocida como Boca Grande, donde la menor continuidad de la cresta permite una propagación más directa del oleaje hacia la costa. Esta configuración reduce localmente la capacidad de atenuación del sistema arrecifal e incrementa la exposición del perfil de playa a procesos erosivos.

La presencia de infraestructura turística y la reducción histórica del ancho de playa también disminuyen el espacio disponible para que el perfil costero responda naturalmente a los ciclos de erosión y acreción. Por ello, la recuperación del componente arenoso y la conformación de dunas artificiales revegetadas forman parte de una estrategia orientada a restituir espacio de amortiguamiento frente al oleaje y los eventos hidrometeorológicos.

III.2.1.9.6 Relación con las características sedimentológicas

Los resultados del apartado III.2.1.8 muestran una diferenciación granulométrica entre los componentes del perfil costero. La muestra M3, correspondiente al sector superior del perfil, presentó un D_{50} homologado de aproximadamente 0.174 mm; mientras que la muestra M4, obtenida en la zona de lavado, presentó un D50 de aproximadamente 0.496 mm.

Esta diferencia evidencia la clasificación natural producida por el oleaje: los sedimentos más finos pueden ser movilizados hacia la parte alta de la playa bajo determinadas condiciones, mientras que las fracciones de mayor tamaño tienden a permanecer en la zona de lavado, sometida a una mayor energía hidrodinámica.

Tabla 19. Caracterización sedimento dinámica de las muestras.

Muestra	Sector representado	D50 homologado	Interpretación sedimentodinámica
M3	Sector superior del perfil costero	0.174 mm	Arena fina susceptible al transporte eólico y a la redistribución en la parte alta de la playa

Muestra	Sector representado	D50 homologado	Interpretación sedimentodinámica
M4	Zona de lavado	0.496 mm	Arena media sometida a selección y movilización recurrente por oleaje
Banco IRRM	Material propuesto para el Proyecto	0.386 mm	Arena media comprendida entre las condiciones observadas en los componentes activos del perfil

La granulometría del Banco IRRM se encuentra entre las condiciones representadas por las muestras M3 y M4. Desde el punto de vista estrictamente granulométrico, ello indica que el material presenta aptitud para integrarse al intervalo sedimentario observado en el sistema receptor, sin que esta comparación implique que todo el material colocado permanecerá inmóvil. Una vez incorporada al perfil, la arena estará sujeta a los procesos naturales de clasificación, redistribución y transporte producidos por el oleaje y las corrientes.

III.2.1.10 Procesos erosivos

La erosión costera consiste en la pérdida neta de sedimentos y el retroceso de la línea de costa cuando el volumen de material removido del sistema litoral supera los aportes y la recuperación natural de la playa. Se trata de un proceso dinámico cuya intensidad varía en función del oleaje, las corrientes, las mareas, el viento, los eventos meteorológicos extremos, la disponibilidad y granulometría de los sedimentos, la configuración batimétrica, la continuidad del sistema arrecifal y las modificaciones antrópicas del frente costero.

En las playas arenosas es normal que ocurran desplazamientos estacionales de la línea de costa. Durante periodos de menor energía, parte de los sedimentos almacenados en la playa sumergida puede movilizarse hacia la costa, favoreciendo la recuperación del perfil. En condiciones de alta energía, como las asociadas con nortes, tormentas tropicales y huracanes, el oleaje incrementa el transporte transversal hacia el mar y el desplazamiento longitudinal de la arena, produciendo pérdida temporal o permanente de la playa emergida.

La variabilidad de corto plazo no constituye necesariamente una tendencia erosiva. Ésta se reconoce cuando las posiciones de la línea de costa muestran un desplazamiento recurrente hacia tierra durante un periodo prolongado, acompañado de reducción del ancho de playa, pérdida de volumen sedimentario y menor capacidad de recuperación después de los eventos de alta energía.

III.2.1.10.1 Contexto erosivo regional

La costa nororiental de Quintana Roo se encuentra expuesta al oleaje predominante del este-sureste, a la incidencia estacional de frentes fríos y a ciclones tropicales procedentes del mar Caribe y del Atlántico. Estos fenómenos pueden generar oleaje elevado, corrientes intensas, marea de tormenta y cambios abruptos en la morfología de las playas.

El arrecife de Puerto Morelos constituye un elemento fundamental en la regulación de estos procesos, debido a que modifica y disipa parte de la energía del oleaje antes de que éste ingrese a la

laguna arrecifal y alcance la línea de costa. Sin embargo, esta protección no es espacialmente homogénea. La profundidad, anchura y continuidad de la cresta arrecifal, así como la presencia de canales y discontinuidades, condicionan la cantidad de energía que se transmite hacia la playa.

Dentro de la microcelda litoral adoptada como Área de Influencia del Proyecto se presentan sectores con distinta exposición hidrodinámica. Frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, el extremo suroeste se encuentra influido por la discontinuidad arrecifal conocida como Boca Grande, la cual permite una propagación relativamente más directa del oleaje hacia la costa. Esta condición contribuye a explicar la mayor vulnerabilidad erosiva observada en ese sector, sin que deba considerarse como la única causa del retroceso.

El proceso erosivo responde a la interacción de diferentes factores regionales y locales:

Tabla 20. Factores regionales y locales que influyen en el proceso erosivo.

Factor	Manifestación en el área de estudio	Relación con la erosión
Oleaje predominante	Incidencia principal del este-sureste	Moviliza sedimentos longitudinal y transversalmente
Frentes fríos	Oleaje y viento procedentes del norte y noreste	Produce cambios estacionales del perfil y pérdida temporal de arena
Ciclones tropicales	Oleaje extremo, marea de tormenta y corrientes intensas	Puede provocar retrocesos abruptos de la línea de costa
Sistema arrecifal	Disipa y transforma el oleaje antes de su llegada a la costa	Reduce la energía incidente, aunque su efecto varía según su continuidad y profundidad
Boca Grande	Discontinuidad de la cresta arrecifal próxima al sector suroeste	Favorece una mayor exposición local al oleaje
Corrientes locales	Circulación bidireccional NNE–SSW	Redistribuye arena entre diferentes sectores del frente costero
Disponibilidad sedimentaria	Aporte natural limitado y redistribución continua de arena	Disminuye la capacidad de recuperación cuando las pérdidas superan las entradas
Infraestructura existente	Reduce el espacio disponible para la migración natural del perfil	Incrementa la vulnerabilidad cuando la playa se estrecha
Ausencia actual de una duna funcional consolidada	Menor reserva sedimentaria en la parte superior del perfil	Reduce la capacidad de amortiguamiento y recuperación de la playa

III.2.1.10.2 Análisis multitemporal de la línea de costa

La superposición cartográfica muestra que la línea de costa no ha permanecido estática. Durante el periodo analizado se presentaron avances y retrocesos parciales, propios de una playa sometida a variaciones estacionales y eventos meteorológicos. No obstante, la comparación entre las posiciones históricas evidencia un desplazamiento general hacia tierra y una reducción del ancho de playa frente al inmueble.

El análisis cartográfico reporta una erosión promedio del orden de **25 m de playa** entre las posiciones históricas consideradas. Esta magnitud debe interpretarse como un retroceso horizontal aproximado dentro del periodo 2005–2023. La separación espacial entre las líneas constituye evidencia suficiente para reconocer una problemática erosiva sostenida y espacialmente variable. La lectura integrada del plano muestra sectores con fluctuaciones relativamente amplias, especialmente en la porción centro-sur y suroeste del frente costero.

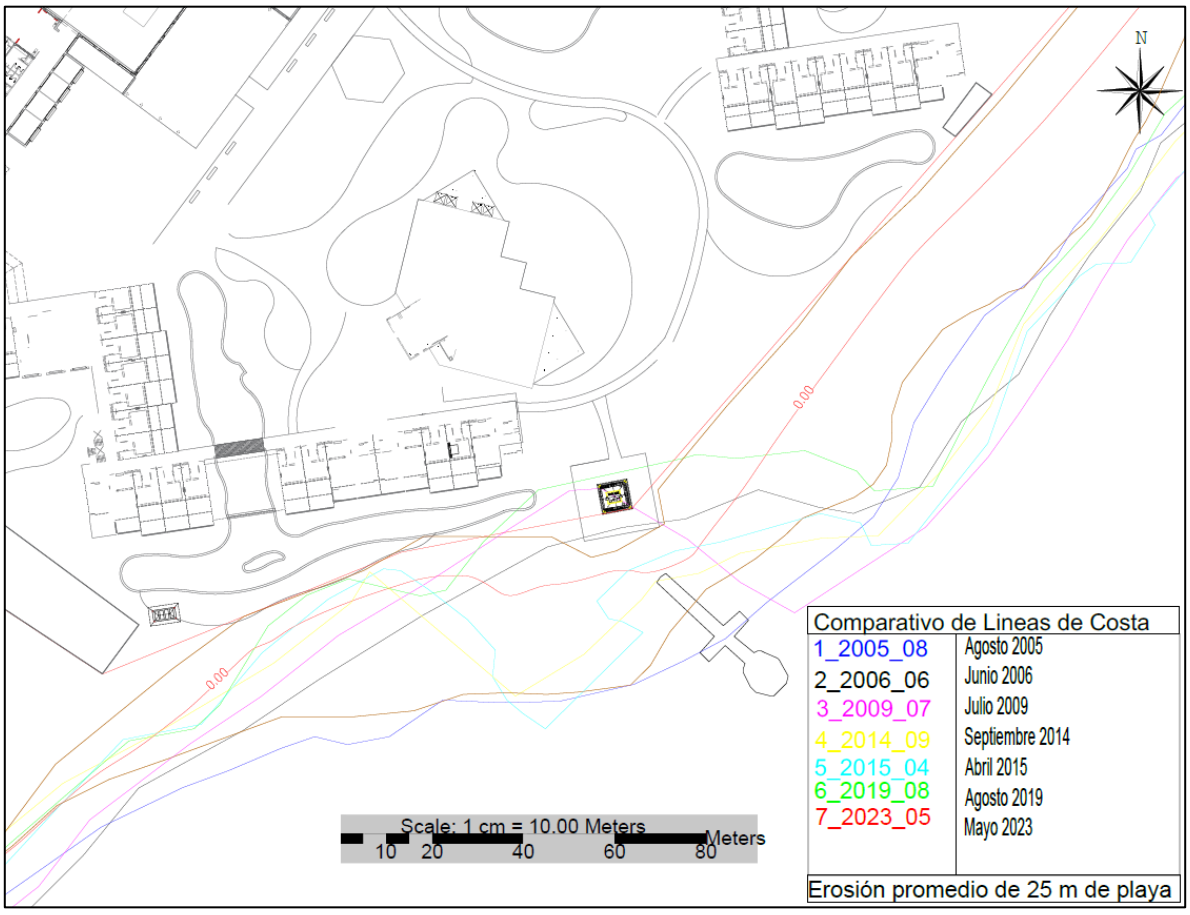


Figura 24. Comparación multitemporal de las posiciones de la línea de costa frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa durante el periodo 2005–2023.

III.2.1.10.3 Interpretación de los cambios observados

La evolución de la playa ha sido irregular, lo que es congruente con el comportamiento de un sistema costero dinámico. Algunas secciones presentan recuperación temporal entre fechas consecutivas, mientras que otras muestran pérdida de superficie arenosa. Esta alternancia representa ciclos de erosión y acreción; sin embargo, la tendencia conjunta indica que la recuperación natural no ha compensado completamente las pérdidas acumuladas.

El retroceso no debe atribuirse a un solo evento ni a una única causa. Entre 2005 y 2023 la costa estuvo expuesta a huracanes, tormentas tropicales, frentes fríos y periodos de oleaje ordinario que pudieron movilizar sedimentos fuera del perfil activo. La ocurrencia de huracanes intensos puede producir pérdidas abruptas, mientras que la sucesión de eventos de menor magnitud puede dificultar la recuperación natural si el intervalo entre ellos es insuficiente.

Las diferencias granulométricas descritas en el apartado III.2.1.8 también intervienen en la respuesta del perfil. La arena fina presente en la parte superior de la playa es susceptible al transporte eólico e hídrico, mientras que las fracciones medias y relativamente gruesas de la zona de lavado requieren una mayor energía para movilizarse. Esta clasificación natural demuestra que cada componente del perfil responde de manera distinta al oleaje y las corrientes.

A ello se suma la ausencia actual de un cordón dunar funcional consolidado en el frente de intervención. Aunque las imágenes históricas muestran que en 2005 y 2006 existían acumulaciones arenosas y formas compatibles con un sistema dunar costero, actualmente no se conserva una duna continua capaz de funcionar como reserva sedimentaria y barrera de amortiguamiento. Por esta razón, las dunas propuestas por el Proyecto serán de conformación artificial y estarán revegetadas con especies nativas adaptadas a las condiciones costeras.

III.2.1.10.4 Consecuencias ambientales del proceso erosivo

La reducción progresiva del ancho de playa no representa únicamente una afectación a la infraestructura turística. También implica la disminución de funciones ambientales relevantes, entre ellas:

- Menor capacidad para disipar la energía del oleaje.
- Reducción del espacio disponible para la redistribución natural de sedimentos.
- Mayor exposición del frente continental a inundaciones y marea de tormenta.
- Disminución del área potencialmente disponible para el tránsito y anidación de tortugas marinas.
- Pérdida de la continuidad funcional entre la playa emergida y la playa sumergida.
- Mayor vulnerabilidad de la Zona Federal Marítimo Terrestre y de la infraestructura existente.
- Reducción de la capacidad de recuperación del perfil después de tormentas y huracanes.
- Incremento de la posibilidad de erosión localizada y socavación en sectores estrechos.

Aunque no se han registrado avistamientos o anidaciones de tortugas marinas en el frente del predio durante las observaciones disponibles, su presencia futura no puede descartarse. La conservación y restauración de una superficie arenosa adecuada deberá, por tanto, acompañarse de medidas preventivas de iluminación, vigilancia, manejo de maquinaria y atención de posibles arribazones durante la temporada reproductiva.

III.2.1.10.5 Seguimiento de la evolución de la playa

Debido a la naturaleza dinámica del litoral, el comportamiento posterior de la playa deberá verificarse mediante un programa de monitoreo. Este seguimiento permitirá diferenciar los cambios estacionales ordinarios de posibles procesos de erosión inducida, acumulación excesiva o desplazamiento no previsto del material. El seguimiento considerará:

- Levantamiento topográfico inicial antes de las obras.
- Perfiles perpendiculares a la costa distribuidos en los polígonos de intervención.
- Perfiles de control al norte y al sur de las obras.
- Registro de la posición de la línea de costa bajo condiciones comparables.
- Fotografías georreferenciadas y levantamientos fotogramétricos.
- Inspección de erosión localizada alrededor de geotubos, tapetes y anclajes.
- Registro de fechas, mareas y condiciones de oleaje durante cada levantamiento.
- Inspecciones extraordinarias después de frentes fríos, tormentas tropicales o huracanes.
- Comparación periódica de anchos de playa, elevaciones y volúmenes sedimentarios.

III.2.1.11 Mareas, corrientes y oleaje

Las mareas, corrientes y el oleaje constituyen los principales forzamientos hidrodinámicos del sistema costero. Su interacción controla la circulación dentro de la laguna arrecifal, el intercambio de agua, la movilización de sedimentos, la configuración del perfil de playa y la respuesta del litoral ante condiciones meteorológicas ordinarias y extraordinarias.

Para caracterizar estos procesos en el área del Proyecto se integraron dos escalas de análisis. La escala regional se sustentó en información del predictor de mareas MAR V del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada —CICESE—, antecedentes oceanográficos de Puerto Morelos y datos de reanálisis del modelo WaveWatch III de la National Oceanic and Atmospheric Administration —NOAA—. La escala local se sustentó en mediciones efectuadas frente al predio mediante un Perfilador de Corrientes Acústico Doppler —ADCP—, el cual registró variaciones del nivel del mar, velocidad y dirección de las corrientes, altura del oleaje, periodo y dirección de propagación.

III.2.1.11.1 Mareas regionales

La marea astronómica corresponde a la variación periódica del nivel del mar producida principalmente por la atracción gravitacional de la Luna y el Sol y por el movimiento relativo de estos cuerpos respecto de la Tierra. Su amplitud y periodicidad influyen en la posición instantánea de la

línea de agua, la extensión de la zona de lavado y el intercambio hidráulico entre la laguna arrecifal y el mar abierto.

En Puerto Morelos la marea se clasifica como mixta semidiurna, lo que significa que normalmente se presentan dos pleamares y dos bajamares durante un día lunar, pero con alturas sucesivas desiguales. Este comportamiento responde a la combinación de componentes semidiurnos y diurnos.

El análisis armónico de la marea regional identifica como componentes principales M_2, S_2, N_2, O_1 y K_1. Las primeras corresponden principalmente a constituyentes semidiurnas, mientras que O1 y K1 representan componentes diurnas. La combinación de estas señales explica la desigualdad observada entre pleamares y bajamares consecutivas.

La marea astronómica regional presenta una amplitud reducida. Las oscilaciones ordinarias son del orden de 0.30 m y, considerando la variación anual, el nivel puede alcanzar aproximadamente 0.25 m por encima del nivel medio del mar, con un intervalo vertical máximo del orden de 0.50 m. Estas magnitudes corresponden a la señal astronómica y no incluyen la sobreelevación producida por viento, presión atmosférica, oleaje o marea de tormenta.

Tabla 21. Características de las mareas regionales.

Característica	Condición regional
Régimen de marea	Mixto semidiurno
Oscilación ordinaria aproximada	0.30 m
Nivel anual máximo referido al nivel medio del mar	Aproximadamente +0.25 m
Intervalo vertical máximo aproximado	0.50 m
Constituyentes principales	M2, S2, N2, O1 y K1
Fuente regional	Predictor MAR V, estación Puerto Morelos, CICESE

Los niveles derivados del predictor de mareas constituyen una referencia regional. La elevación real del agua frente al predio puede diferir temporalmente debido al viento, el oleaje, los frentes fríos, las tormentas, la configuración del arrecife y la respuesta hidráulica de la laguna arrecifal.

III.2.1.11.2 Marea local

La serie obtenida mediante ADCP frente al área del Proyecto confirma el régimen mixto semidiurno y la baja amplitud de la marea. La gráfica muestra oscilaciones repetidas del nivel del agua y desigualdad entre ciclos consecutivos, así como variaciones de mayor periodo asociadas con las fases de mareas vivas y muertas.

Durante la campaña se observaron elevaciones aproximadamente comprendidas entre −0.18 y +0.24 m respecto del nivel de referencia empleado en el registro. Estos extremos describen el periodo particular de medición y no deben interpretarse como los niveles máximos históricos del sitio.

La baja amplitud astronómica no elimina el riesgo de niveles extraordinarios. Durante ciclones tropicales o frentes fríos, la acción conjunta de la presión atmosférica, el viento y el oleaje puede generar sobreelevaciones superiores a la oscilación ordinaria. Por ello, la marea astronómica debe distinguirse de la marea meteorológica o marea de tormenta.

III.2.1.11.3 Corrientes regionales

La circulación regional frente a Quintana Roo está influida por la Corriente de Yucatán, la cual transporta agua del mar Caribe hacia el Canal de Yucatán y posteriormente al golfo de México. En aguas abiertas, la componente predominante sigue una dirección general de sur a norte.

Al aproximarse a la costa, este patrón se vuelve más complejo. La presencia de arrecifes, canales, lagunas arrecifales, bahías, cambios batimétricos y la orientación del litoral puede producir corrientes locales y contracorrientes paralelas a la costa. En consecuencia, la circulación observada dentro de la laguna arrecifal no debe considerarse una reproducción directa y uniforme de la Corriente de Yucatán.

En Puerto Morelos, el arrecife funciona como una barrera permeable. El agua puede ingresar a la laguna por encima de la cresta arrecifal y mediante discontinuidades o canales, circular dentro de ella y salir nuevamente hacia el mar. La intensidad y dirección de este intercambio dependen del oleaje, la marea, el viento y las diferencias del nivel del agua entre ambos lados del arrecife.

III.2.1.11.4 Corrientes locales

Las corrientes frente al predio fueron medidas mediante un ADCP instalado de manera estática. Este equipo utiliza pulsos acústicos para determinar la velocidad y dirección del agua a diferentes profundidades, permitiendo identificar la variación temporal y vertical de la circulación.

Los resultados muestran una corriente bidireccional, con orientaciones dominantes hacia el nor-noreste —NNE— y hacia el sur-suroeste —SSW—. La alternancia entre ambas direcciones se encuentra modulada por la marea y por la interacción con la circulación regional.

La serie temporal muestra periodos de velocidades reducidas, próximas a la calma, y pulsos con magnitudes máximas cercanas a 0.5 m/s. Este valor corresponde a los máximos identificados durante la campaña y no a una velocidad media permanente.

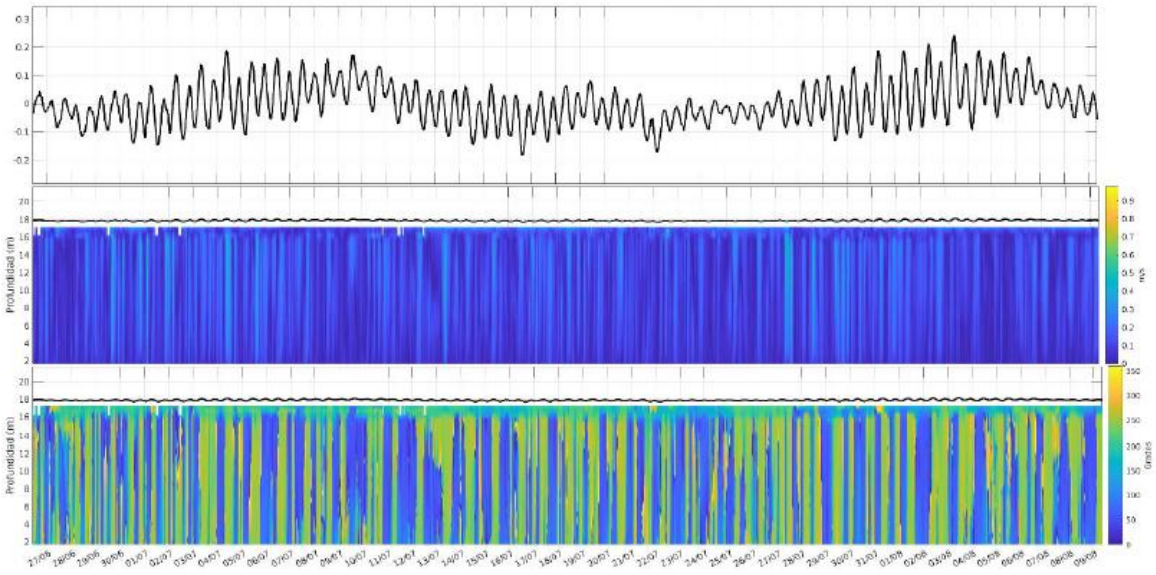


Figura 25. Datos de corriente. El panel superior muestra la señal de marea. El panel central muestra la magnitud de la velocidad en la columna de agua, los valores se muestran en el panel lateral. El panel inferior muestra la dirección de la corriente en la columna de agua en grados.

La rosa de corrientes confirma el carácter bidireccional de la circulación. Los dos ejes principales se distribuyen aproximadamente en sentidos opuestos NNE–SSW, demostrando que el flujo puede invertirse temporalmente. Esta condición es relevante para interpretar la dispersión de partículas, la movilización de arena y el transporte potencial de sólidos suspendidos.

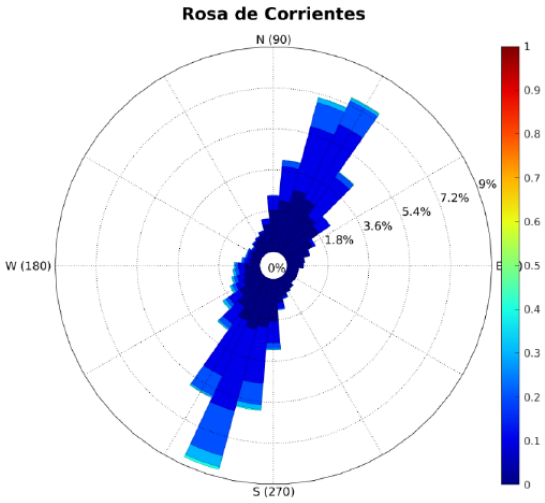


Figura 26. Rosa de corrientes locales con direcciones dominantes NNE–SSW.

La bidireccionalidad observada indica que cualquier material suspendido puede desplazarse temporalmente hacia uno u otro extremo del frente costero. Esta condición sustenta el uso de mallas

antidispersión durante el bombeo y la colocación de arena, así como la necesidad de verificar visualmente la turbidez en ambos sentidos de la corriente.

III.2.1.11.5 Oleaje regional

El oleaje regional fue caracterizado mediante datos de reanálisis del modelo WaveWatch III de NOAA correspondientes al nodo localizado aproximadamente en las coordenadas 20.5° N y 86° O. Esta información representa condiciones en aguas profundas y permite definir el clima marítimo que incide sobre el litoral de Puerto Morelos antes de su transformación por el arrecife y la batimetría costera. La serie de reanálisis comprende aproximadamente cuatro décadas, de enero de 1979 a noviembre de 2018. Los principales parámetros obtenidos fueron:

Tabla 22. Parámetros para condición en aguas profundas.

Parámetro	Condición en aguas profundas
Altura media del oleaje	1.37 m
Periodo medio	6.95 s
Dirección predominante	110.35°, este-sureste
Intervalo de alturas de mayor frecuencia	1 a 3 m
Intervalo de periodos de mayor frecuencia	6 a 12 s
Temporada relativamente más energética	Junio a noviembre
Dirección secundaria estacional	Norte, principalmente en otoño e invierno

Las rosas estacionales muestran un predominio consistente del oleaje procedente del este-sureste. Durante el verano este patrón se encuentra particularmente definido, mientras que en otoño e invierno aumenta la participación de oleaje del norte, asociado con el ingreso de frentes fríos.

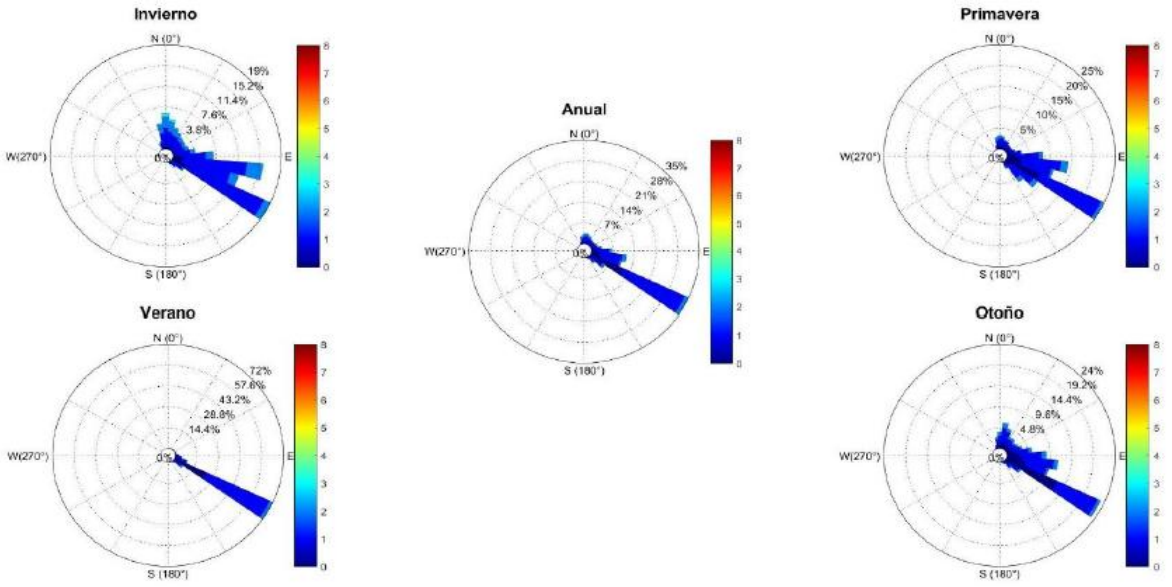


Figura 27. Rosas de oleaje de condiciones normales obtenidas de la base de datos de reanálisis WWIII.

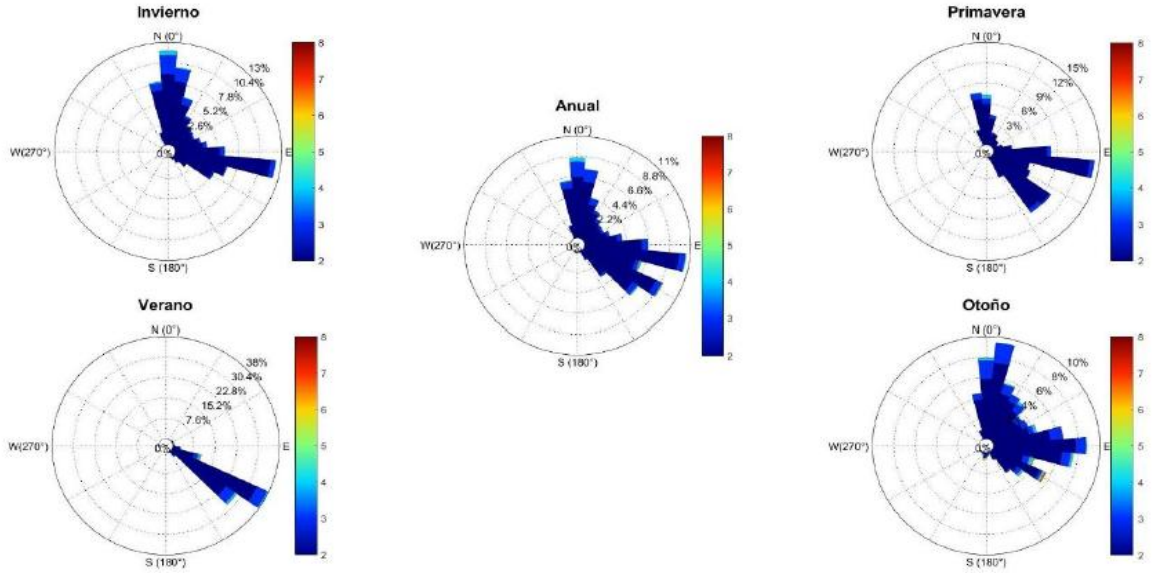


Figura 28. Rosas de oleaje de condiciones de tormenta obtenidos de la base de datos de reanálisis WWIII.

Los valores anteriores no representan directamente el oleaje que alcanza la playa. Al propagarse desde aguas profundas hacia la costa, las olas experimentan refracción, difracción, someramiento, rompimiento y disipación. El arrecife y la laguna arrecifal reducen y redistribuyen una parte importante de la energía incidente; sin embargo, la atenuación varía espacialmente y puede ser menor en canales o discontinuidades arrecifales como Boca Grande.

III.2.1.11.6 Oleaje local

El oleaje frente al predio fue medido mediante el mismo ADCP utilizado para caracterizar la marea y las corrientes. Los resultados muestran una altura media local aproximada de 1.0 m, con un evento de mayor energía que alcanzó alrededor de 2.5 m durante la campaña. La dirección dominante fue del este, con tendencia hacia el sureste. Los periodos registrados corresponden con los valores característicos del Caribe mexicano. La comparación con el nodo de WaveWatch III muestra coincidencia en la dirección dominante, cercana a 120°, pero menores alturas en la zona costera, como resultado de la transformación del oleaje al atravesar el arrecife y propagarse por aguas someras.

Tabla 23. Parámetros del oleaje en aguas profundas y frente al predio.

Parámetro	Aguas profundas	Frente al predio
Altura característica	Media de 1.37 m	Media aproximada de 1.0 m
Alturas de mayor frecuencia	1–3 m	Aproximadamente 0.3–1.0 m
Evento de mayor energía observado	No comparable directamente	Aproximadamente 2.5 m
Dirección predominante	ESE, cercana a 110–120°	Este con tendencia al sureste
Periodo característico	Media de 6.95 s; mayor frecuencia entre 6 y 12 s	Concordante con los periodos regionales

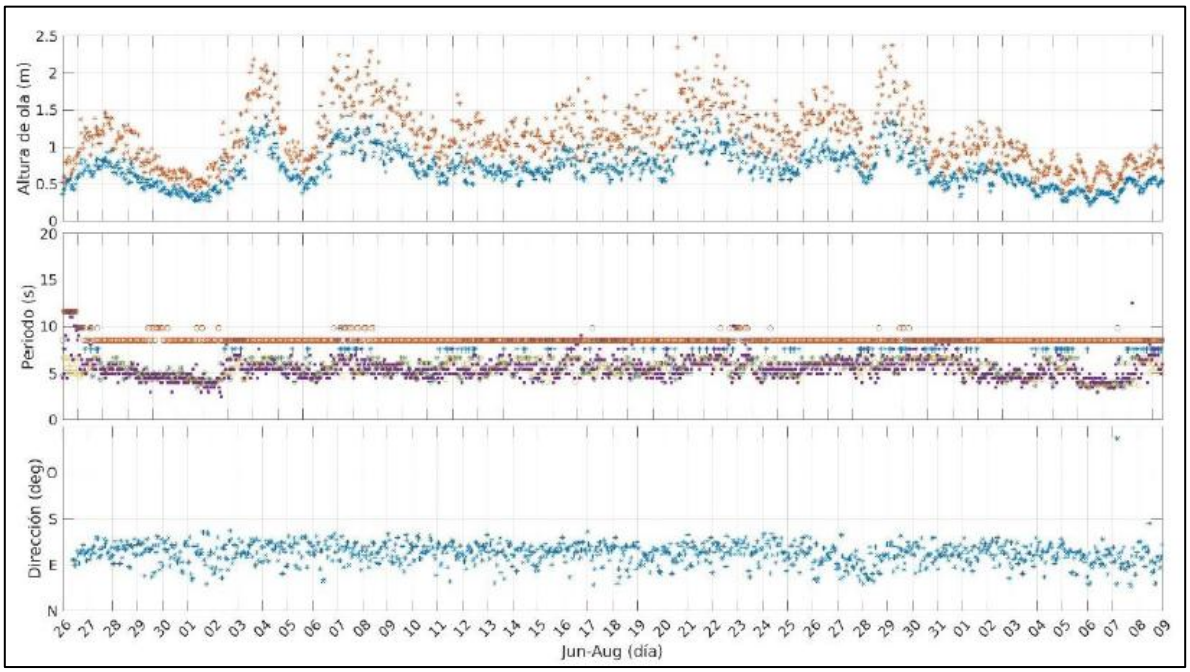


Figura 29. Altura, periodo y dirección del oleaje registrados mediante ADCP frente al área del Proyecto.

La serie permite caracterizar las condiciones presentes durante la campaña, pero no sustituye una serie oceanográfica de largo plazo. Por ello, la interpretación del oleaje local se complementa con el reanálisis regional de WaveWatch III y con la información de eventos hidrometeorológicos extremos.

III.2.1.11.7 Interacción entre mareas, corrientes y oleaje

Los tres componentes hidrodinámicos actúan de manera conjunta:

- La marea modifica periódicamente la profundidad de la laguna arrecifal, la posición de la zona de rompiente y la extensión de la zona de lavado.
- El oleaje constituye el principal mecanismo de entrada de energía hacia el sistema litoral.
- Las corrientes redistribuyen el agua y los sedimentos paralela y transversalmente a la costa.
- La incidencia oblicua del oleaje genera corrientes litorales capaces de transportar arena a lo largo del frente costero.
- Las diferencias del nivel del agua entre el exterior y el interior del arrecife favorecen el intercambio mediante canales y discontinuidades.
- Durante condiciones de alta energía aumenta la capacidad para poner en suspensión y transportar sedimentos.
- La coincidencia de oleaje elevado, viento persistente y sobreelevación meteorológica puede intensificar la erosión y la inundación costera.

Bajo condiciones ordinarias, el arrecife reduce parte de la energía del oleaje antes de su llegada a la playa. No obstante, la presencia de Boca Grande ocasiona que el sector suroeste del frente costero

tenga una exposición relativamente mayor. Este patrón es congruente con la vulnerabilidad y el retroceso de la línea de costa descritos en el apartado de procesos erosivos.

III.2.1.12 Batimetría

La configuración batimétrica del frente costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa fue determinada mediante un levantamiento hidrográfico realizado a partir de transectos planificados, utilizando una embarcación de bajo calado equipada con ecosonda, receptor GPS y sistema de adquisición Hypack 2022®. Las profundidades registradas fueron corregidas por efecto de la marea y referidas al Nivel Medio del Mar, para posteriormente generar el modelo del fondo y las curvas de igual profundidad o isobatas.

Los resultados muestran una plataforma marina somera que desciende progresivamente desde la línea de costa. En el sector inmediato al predio y en el ámbito donde se distribuirán las obras se presentan, en términos generales, profundidades comprendidas entre 0 y aproximadamente -4 m. Hacia mar adentro se observa un incremento gradual de la profundidad, así como variaciones en la separación y configuración de las isobatas relacionadas con la morfología irregular de la laguna arrecifal y las formaciones del fondo. Esta condición confirma que el Proyecto se desarrollará principalmente en aguas someras. La batimetría constituye un elemento fundamental para definir el desplante de los geotubos, la conducción de arena y las maniobras de instalación, además de permitir el seguimiento de posibles modificaciones en el relieve submarino durante las etapas posteriores.

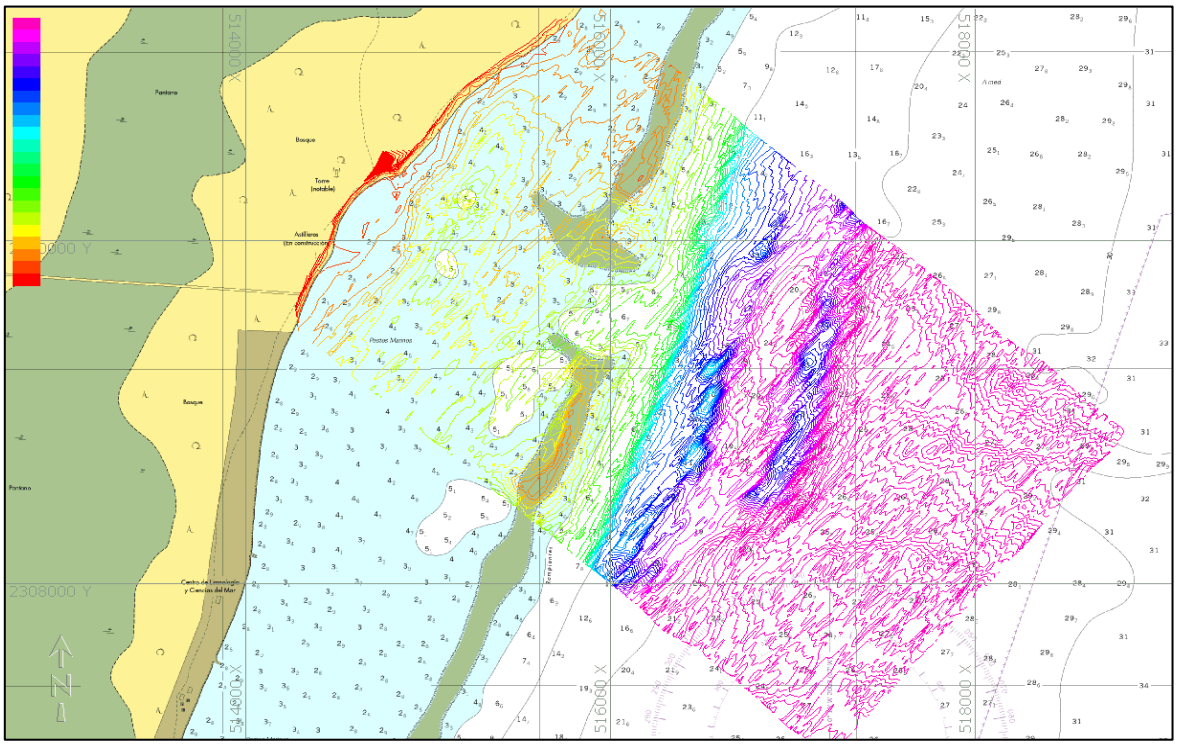


Figura 30. Batimetría e isobatas del frente costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa.

III.2.1.13 Cambio climático

El cambio climático constituye un factor de presión de largo plazo sobre los sistemas costeros debido a su influencia en la temperatura atmosférica y oceánica, el nivel medio del mar, los patrones de precipitación, la frecuencia e intensidad de eventos extremos, la química del océano y el funcionamiento de ecosistemas como arrecifes coralinos, pastos marinos, playas y dunas.

En el caso del Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, su análisis resulta particularmente relevante porque las obras se desarrollarán en la interfase terrestre-marina, dentro de una laguna arrecifal y sobre una playa que presenta un proceso documentado de retroceso de la línea de costa.

El cambio climático no constituye la única causa de la erosión observada frente al predio. La evolución de la playa también depende de la variabilidad natural del oleaje, las corrientes, los frentes fríos, los ciclones tropicales, la disponibilidad de sedimentos, la configuración arrecifal y las modificaciones acumuladas del frente costero. Sin embargo, el calentamiento global puede intensificar o prolongar algunos de estos factores, disminuyendo la capacidad de recuperación natural del sistema.

III.2.1.12.1 Escenarios climáticos y alcance de la evaluación

Las proyecciones climáticas se encuentran sujetas a diferentes trayectorias de emisiones de gases de efecto invernadero, denominadas Trayectorias Socioeconómicas Compartidas —SSP, por sus siglas en inglés—. Cada escenario representa posibles condiciones futuras de emisiones, concentración atmosférica y calentamiento.

Para el presente análisis no se adopta un escenario como predicción única del comportamiento futuro del predio. Se emplean diferentes trayectorias para reconocer un intervalo de condiciones plausibles y evaluar la capacidad del Proyecto para conservar su funcionalidad ante incertidumbre climática.

De acuerdo con el Sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático —IPCC—, respecto del periodo 1995–2014, el aumento medio global del nivel del mar proyectado para 2100 se encuentra aproximadamente entre:

Tabla 24. Escenarios de cambio climático vs el aumento promedio en la altura del nivel del mar.

Escenario	Aumento medio global probable hacia 2100
SSP1-1.9, emisiones muy bajas	0.28–0.55 m
SSP1-2.6, emisiones bajas	0.32–0.62 m
SSP2-4.5, emisiones intermedias	0.44–0.76 m
SSP5-8.5, emisiones muy altas	0.55–0.90 m

Estos valores corresponden al promedio global y no constituyen una proyección específica para Puerto Morelos. El cambio local relativo del nivel del mar puede diferir por la circulación oceánica, la variación gravitacional, la dinámica regional, los movimientos verticales del terreno y otros procesos

costeros. Por ello, los intervalos se utilizan como referencia de exposición y no como una elevación de diseño directamente aplicable a las obras. El IPCC advierte que los riesgos para ecosistemas y poblaciones costeras aumentarán considerablemente durante el presente siglo si no se aplican medidas de adaptación.

El aumento del nivel medio del mar puede influir en el sistema costero mediante:

- Desplazamiento gradual de la línea de agua hacia tierra.
- Incremento de la frecuencia con la que niveles ordinarios alcanzan zonas más elevadas de la playa.
- Mayor penetración del oleaje sobre el perfil costero.
- Incremento de la erosión y de la frecuencia de inundación.
- Reducción del ancho de playa cuando su migración hacia tierra se encuentra limitada.
- Modificación de la posición de la zona de rompiente.
- Elevación del nivel de referencia sobre el que actúan las mareas de tormenta.
- Mayor exposición de infraestructura localizada cerca de la costa.
- Alteraciones en hábitats de playa y sitios potenciales de anidación de tortugas marinas.

La respuesta de la línea de costa no será necesariamente proporcional al aumento del nivel del mar, debido a que también depende de la pendiente, el volumen sedimentario, la granulometría, el oleaje y la capacidad del perfil para desplazarse tierra adentro.

Frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, la reducción histórica del ancho de playa y la presencia de infraestructura detrás de la franja arenosa limitan parcialmente el espacio disponible para la migración natural del perfil. Esta condición incrementa la sensibilidad del sistema ante un aumento progresivo del nivel del mar.

III.2.1.12.2 Cambios en el oleaje y eventos hidrometeorológicos extremos

Los ciclones tropicales constituyen uno de los principales agentes de modificación abrupta de las costas de Quintana Roo. Durante estos eventos pueden coincidir oleaje elevado, viento intenso, precipitación extraordinaria, corrientes fuertes y marea de tormenta.

El cambio climático no implica necesariamente un aumento uniforme del número total de ciclones tropicales en todas las cuencas. No obstante, la evidencia científica indica que el calentamiento oceánico favorece una mayor proporción de ciclones intensos y un incremento de la precipitación asociada con estos sistemas. Además, el aumento del nivel medio del mar permite que una marea de tormenta semejante alcance cotas más elevadas y produzca una mayor penetración tierra adentro.

Para el área del Proyecto, sus principales consecuencias potenciales son:

- Remoción abrupta de arena de la playa emergida.

- Transporte transversal del sedimento hacia la playa sumergida.
- Daño o pérdida de vegetación dunar.
- Socavación alrededor de estructuras.
- Deformación o desplazamiento de componentes expuestos.
- Inundación temporal de la franja costera.
- Dispersión de residuos o materiales mal asegurados.
- Mayor tiempo de recuperación del perfil después de cada evento.

Los frentes fríos o nortes también son relevantes. Aunque suelen tener menor intensidad que un huracán, su recurrencia durante el otoño y el invierno puede producir oleaje del norte y noreste, modificar temporalmente la dirección del transporte litoral y generar episodios sucesivos de erosión.

III.2.1.12.3 Temperatura del océano y ecosistema arrecifal

El incremento de la temperatura superficial del mar aumenta el riesgo de estrés térmico y blanqueamiento coralino. Cuando la anomalía térmica es intensa o prolongada, puede ocasionar mortalidad, enfermedades y reducción de la capacidad de crecimiento y recuperación de los corales. La acidificación del océano, producida por la absorción de dióxido de carbono atmosférico, reduce la disponibilidad de carbonato necesaria para la formación de estructuras calcáreas. La interacción entre calentamiento, acidificación, contaminación y daños físicos incrementa la vulnerabilidad de los arrecifes.

Este proceso tiene una relación indirecta, pero relevante, con el Proyecto. El arrecife de Puerto Morelos disipa y transforma parte de la energía del oleaje antes de que alcance la laguna arrecifal y la línea de costa. Una pérdida de complejidad estructural o elevación de la cresta arrecifal puede reducir gradualmente esta función protectora y permitir una mayor transmisión de energía hacia la playa. El IPCC identifica a los arrecifes coralinos entre los ecosistemas marinos más sensibles al calentamiento, mientras que el Sistema de Información y Análisis Marino Costero de CONABIO mantiene indicadores para evaluar sus cambios y resiliencia.

El Proyecto no intervendrá formaciones coralinas. Las obras deberán mantenerse dentro de los polígonos establecidos en el Capítulo I, sin anclajes, depósito de materiales ni maniobras sobre comunidades arrecifales.

III.2.1.12.4 Temperatura atmosférica y precipitación

El incremento de las temperaturas medias y extremas puede aumentar la evaporación, el estrés térmico de la vegetación y las necesidades de mantenimiento durante el establecimiento de las plantas utilizadas en las dunas artificiales.
Las modificaciones en la precipitación no necesariamente se traducen en una tendencia uniforme. Pueden presentarse periodos secos más prolongados combinados con lluvias de mayor intensidad. En el sitio, los efectos potenciales comprenden:

- Estrés hídrico de la vegetación recién establecida.
- Pérdida de plantas durante periodos cálidos y secos.
- Erosión superficial de las dunas artificiales por lluvias intensas.
- Formación de escurrimientos concentrados.
- Arrastre de residuos y sedimentos hacia el mar.
- Saturación temporal de sectores bajos.
- Mayor necesidad de mantenimiento después de eventos extraordinarios.

La selección de especies nativas tolerantes a salinidad, viento, alta radiación solar, enterramiento parcial y déficit temporal de humedad aumentará la capacidad de establecimiento de la vegetación dunar.

III.2.1.12.5 Exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa

La vulnerabilidad climática puede analizarse como la interacción entre exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa.

La vulnerabilidad del sitio se considera significativa porque combina exposición alta a amenazas hidrometeorológicas con una playa que ya presenta retroceso. No obstante, existen elementos naturales y medidas de manejo que pueden aumentar su capacidad de adaptación, siempre que se conserve la funcionalidad del arrecife, la vegetación marina y el transporte sedimentario.

Tabla 25. Riesgos climáticos relevantes.

Amenaza climática	Efecto potencial en el sistema litoral	Elementos expuestos	Nivel cualitativo de atención
Aumento del nivel medio del mar	Retroceso, inundación más frecuente y mayor penetración del oleaje	Playa, dunas artificiales e infraestructura costera	Alto
Ciclones tropicales	Erosión abrupta, marea de tormenta y daño físico	Todas las obras y ecosistemas costeros	Alto
Frentes fríos	Oleaje recurrente del norte y redistribución sedimentaria	Playa, geotubos y dunas	Medio-alto
Calentamiento oceánico	Estrés coralino y posible reducción de la función protectora arrecifal	Arrecife y línea de costa	Alto, de largo plazo

Amenaza climática	Efecto potencial en el sistema litoral	Elementos expuestos	Nivel cualitativo de atención
Acidificación oceánica	Menor calcificación y recuperación coralina	Sistema arrecifal	Alto, de largo plazo
Precipitación extrema	Erosión superficial, arrastre de materiales y encharcamiento	Dunas y franja terrestre	Medio
Periodos secos y temperaturas elevadas	Menor supervivencia de la revegetación	Vegetación de las dunas artificiales	Medio
Mayor turbidez asociada con eventos extremos	Reducción temporal de luz y afectación de vegetación sumergida	Pastos y comunidades bentónicas	Medio-alto

En síntesis, el área del Proyecto presenta una exposición significativa a los efectos del cambio climático por su localización inmediata al litoral, el retroceso histórico de la línea de costa y la incidencia de ciclones tropicales, frentes fríos, oleaje elevado y sobreelevaciones del nivel del mar. Ante este contexto, las barreras de contención y rompeolas, el aporte controlado de arena y la conformación de dunas artificiales revegetadas constituyen medidas orientadas a restituir parte del volumen sedimentario perdido, fortalecer la capacidad de amortiguamiento del sistema playa-duna y reducir su vulnerabilidad frente a eventos hidrometeorológicos. No obstante, debido a que el litoral continuará sujeto a procesos naturales de erosión, acreción y redistribución de sedimentos, la permanencia y eficacia ambiental de las obras dependerán de su adecuada ejecución, del mantenimiento de sus componentes, de la protección del arrecife y la vegetación marina y de un seguimiento adaptativo basado en mediciones topográficas, batimétricas, sedimentológicas y biológicas. De esta manera, el Proyecto se plantea como una intervención de adaptación costera cuya funcionalidad deberá conservarse y ajustarse conforme a la evolución observada del sistema y a la ocurrencia de condiciones climáticas extraordinarias.

III.2.2 Medio Biótico

III.2.2.1 Vegetación Terrestre en la RE y AI

La caracterización de la vegetación terrestre de la RE se realizó mediante la superposición de su polígono con el conjunto vectorial de Uso del Suelo y Vegetación, Serie VII, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía —INEGI—. La interpretación cartográfica fue complementada con información oficial del Área de Protección de Flora y Fauna Manglares de Puerto Morelos, publicaciones de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad —CONABIO— y estudios florísticos efectuados en selvas y humedales de Puerto Morelos y el norte de Quintana Roo.

La información de INEGI permite identificar las unidades generales de vegetación y uso del suelo a escala regional; no obstante, su resolución no permite reconocer individuos, asociaciones de pequeña superficie ni variaciones sucesionales puntuales. Por ello, las especies incorporadas en este apartado representan una lista de distribución potencial y deberán diferenciarse de los registros que, en su caso, se obtengan mediante recorridos o muestreos de campo.

III.2.2.1.1 Uso del suelo y vegetación de la Región Ecológica

En el corte cartográfico utilizado se identificaron cinco coberturas: manglar, asentamientos humanos, vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia, áreas desprovistas de vegetación y zona marina.

Tabla 26. Uso del suelo y vegetación presente en la Región Ecológica.

Uso del suelo o vegetación	Superficie (m^2)	Superficie (ha)	Porcentaje
Manglar	11,168,785.17	1,116.88	49.93
Asentamientos humanos	2,762,759.31	276.28	12.35
Vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia	1,773,355.07	177.34	7.93
Desprovisto de vegetación	54,382.75	5.44	0.24
Zona marina	6,610,631.36	661.06	29.55
Total cartografiado	22,369,913.66	2,236.99	100.00

Fuente: elaboración propia mediante el procesamiento del conjunto vectorial de Uso del Suelo y Vegetación, Serie VII, INEGI.

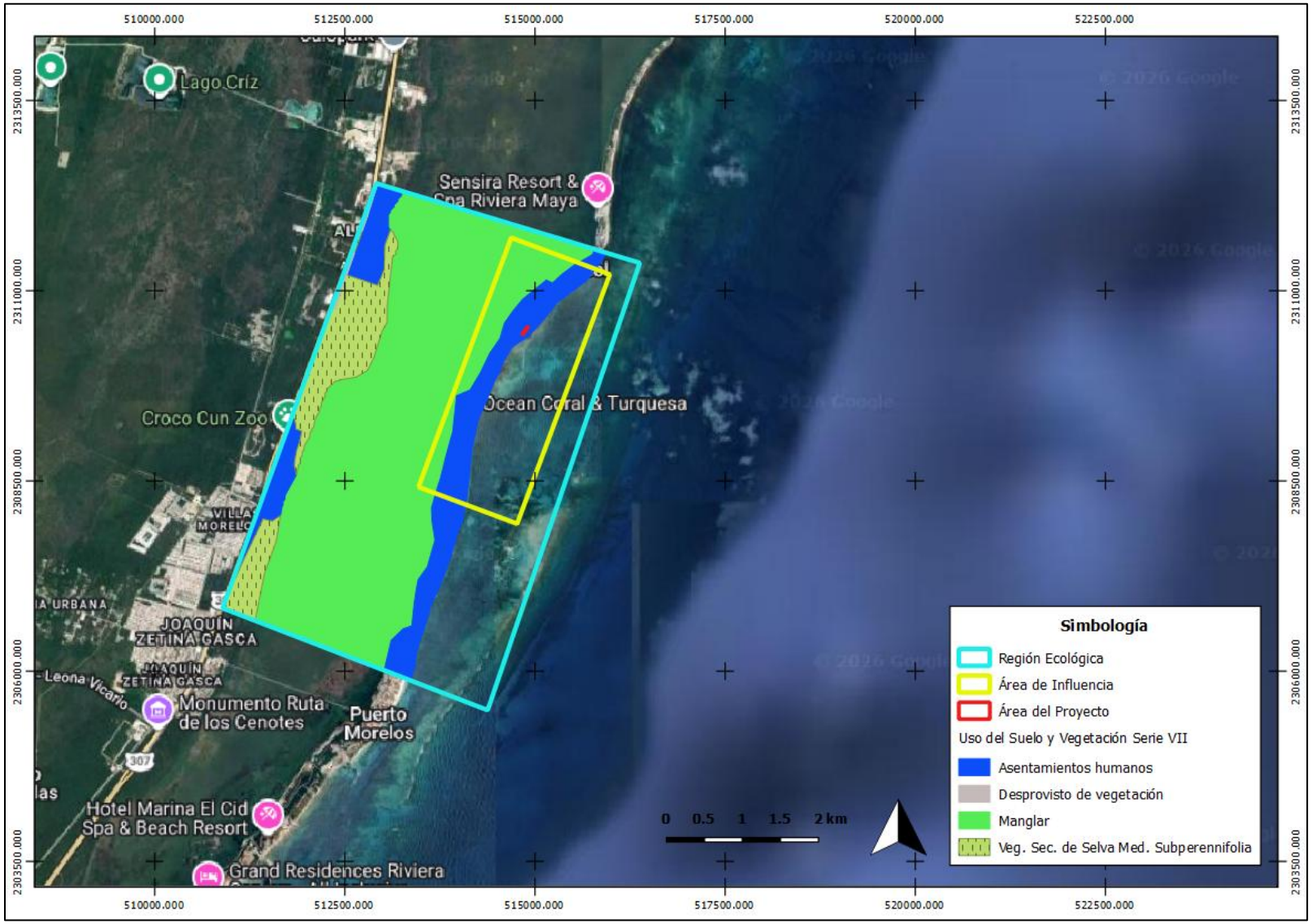


Figura 31. Uso del suelo y vegetación de la Región Ecológica, Área de Influencia y Área del Proyecto

La cobertura dominante corresponde al manglar, con 49.93 % de la superficie cartografiada. La zona marina representa 29.55 %, los asentamientos humanos 12.35 %, la vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia 7.93 % y las áreas desprovistas de vegetación 0.24 %.

La presencia regional de manglar y vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia no significa que estas comunidades se encuentren dentro de los polígonos de las obras. La superposición cartográfica muestra que el Área del Proyecto se localiza sobre unidades clasificadas como asentamientos humanos y zona marina, sin traslape con las unidades de manglar o selva.

III.2.2.1.1.1 Manglar

El manglar es una comunidad leñosa que se desarrolla en la transición entre ambientes terrestres y acuáticos, principalmente sobre planicies costeras de baja elevación sujetas a inundación temporal o permanente, salinidad variable y suelos con drenaje deficiente. Su estructura depende del hidroperiodo, la microtopografía, la salinidad, el intercambio de agua y la disponibilidad de nutrientes.

En Puerto Morelos, esta comunidad se distribuye principalmente detrás del cordón litoral y de la zona urbanizada, formando parte de un amplio complejo de humedales. Su importancia fue reconocida mediante el Decreto publicado el 8 de enero de 2024, por el que se estableció el Área de Protección de Flora y Fauna Manglares de Puerto Morelos, con una superficie de 1,103-00-35.28 ha. El Decreto señala que este sistema salvaguarda 1,294 especies nativas de flora, fauna y hongos, de las cuales 59 son endémicas de México o de la provincia biótica de la Península de Yucatán. Decreto del Área de Protección de Flora y Fauna Manglares de Puerto Morelos

Los manglares proporcionan servicios ambientales asociados con:

- Regulación y almacenamiento temporal del agua.
- Retención de sedimentos, nutrientes y materia orgánica.
- Estabilización de suelos inundables.
- Captura y almacenamiento de carbono.
- Protección frente a vientos, inundaciones y eventos hidrometeorológicos.
- Refugio, alimentación y reproducción de fauna silvestre.
- Conectividad entre selvas, humedales, playa, laguna arrecifal y arrecife.
- Mantenimiento de procesos biogeoquímicos en la interfase terrestre-marina.

Las cuatro especies arbóreas características de los manglares de México son el mangle rojo —Rhizophora mangle—, mangle negro —Avicennia germinans—, mangle blanco —Laguncularia racemosa— y mangle botoncillo —Conocarpus erectus—. Las cuatro se encuentran incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 bajo la categoría de Amenazada —A—. CONABIO, Manglares de México, modificación del Anexo Normativo III de la NOM-059-SEMARNAT-2010.

III.2.2.1.1.2 Flora potencial del manglar y humedales asociados

Tabla 27. Flora potencial del manglar, humedales y ambientes de transición de la Región Ecológica.

Núm.	Familia	Especie	Nombre común	Afinidad ecológica	NOM-059
1	Acanthaceae	*Bravaisia berlandieriana*	Julub	Selva inundable y borde de humedal	—
2	Acanthaceae	*Justicia sp.*	Justicia silvestre	Sotobosque y borde de humedal	—
3	Acanthaceae	*Avicennia germinans*	Mangle negro	Manglar	A
4	Pteridaceae	*Acrostichum aureum*	Helecho de manglar	Claros y bordes de manglar	—
5	Pteridaceae	*Acrostichum danaeifolium*	Helecho de manglar	Humedal y selva inundable	—
6	Aizoaceae	*Sesuvium portulacastrum*	Verdolaga de playa	Vegetación halófila y playa	—
7	Amaryllidaceae	*Hymenocallis littoralis*	Lirio de mar	Humedal, selva inundable y bordes	—
8	Anacardiaceae	*Metopium brownei*	Chechén negro	Transición manglar-selva	—
9	Annonaceae	*Annona glabra*	Corcho, anona silvestre	Selva inundable	—
10	Araliaceae	*Hydrocotyle umbellata*	Sombrerillo de agua	Herbácea de humedal	—
11	Apocynaceae	*Rhabdadenia biflora*	Flor de manglar	Trepadora de manglar	—
12	Araceae	*Anthurium schlechtendalii*	Bobtúm	Selva húmeda e inundable	—
13	Arecaceae	*Acoelorrhaphe wrightii*	Tasiste	Palma de humedal	—
14	Arecaceae	*Thrinax radiata*	Palma chit	Transición costera y selva	A
15	Arecaceae	*Coccothrinax readii*	Palma nakás	Vegetación costera y selva	A
16	Arecaceae	*Sabal yapa*	Palma de huano	Selva y transición de humedal	—
17	Asteraceae	*Ageratum littorale*	Agerato costero	Vegetación costera	—
18	Bataceae	*Batis maritima*	Vidrillo	Planicie salina y manglar	—
19	Malvaceae	*Pachira aquatica*	Apompo, ceiba de agua	Selva inundable y humedal	—
20	Boraginaceae	*Cordia sebestena*	Siricote de playa	Vegetación costera	—

Núm.	Familia	Especie	Nombre común	Afinidad ecológica	NOM-059
21	Boraginaceae	*Tournefortia gnaphalodes*	Tabaquillo	Duna y matorral costero	—
22	Bromeliaceae	*Aechmea bracteata*	X-chú	Epífita de selva y humedal	—
23	Bromeliaceae	*Tillandsia balbisiana*	Bromelia	Epífita	—
24	Bromeliaceae	*Tillandsia fasciculata*	Bromelia	Epífita	—
25	Burseraceae	*Bursera simaruba*	Chacá	Transición hacia selva	—
26	Cabombaceae	*Cabomba palaeformis*	Cabomba	Macrófita acuática	—
27	Cactaceae	*Selenicereus donkelaarii*	Pitahaya silvestre	Selva y transición costera	—
28	Cactaceae	*Selenicereus testudo*	Pitahaya silvestre	Selva y transición costera	—
29	Fabaceae	*Caesalpinia yucatanensis*	Caesalpinia	Selva y borde de humedal	—
30	Casuarinaceae	*Casuarina equisetifolia*	Pino de mar	Especie exótica de ambientes alterados	—
31	Chrysobalanaceae	*Chrysobalanus icaco*	Icaco	Vegetación costera y humedal	—
32	Combretaceae	*Laguncularia racemosa*	Mangle blanco	Manglar	A
33	Combretaceae	*Conocarpus erectus*	Mangle botoncillo	Manglar y transición terrestre	A
34	Convolvulaceae	*Ipomoea pes-caprae*	Riñonina	Vegetación de playa y duna	—
35	Cyperaceae	*Cladium jamaicense*	Cortadera	Humedal y tular	—
36	Cyperaceae	*Cyperus sp.*	Zacate de humedal	Humedal	—
37	Cyperaceae	*Cyperus imbricatus*	Junco	Humedal	—
38	Cyperaceae	*Cyperus surinamensis*	Junco	Humedal	—
39	Cyperaceae	*Eleocharis interstincta*	Junco	Humedal y cuerpos de agua someros	—
40	Cyperaceae	*Fimbristylis cymosa*	Junquillo	Planicie salina y vegetación costera	—
41	Nephrolepidaceae	*Nephrolepis sp.*	Helecho	Humedal y selva inundable	—
42	Euphorbiaceae	*Astrocasia tremula*	Pay jul	Selva y borde de humedal	—
43	Fabaceae	*Senna racemosa*	Kanlol	Selva y vegetación secundaria	—
44	Fabaceae	*Pithecellobium keyense*	Pithecellobium costero	Matorral costero y transición	—

Núm.	Familia	Especie	Nombre común	Afinidad ecológica	NOM-059
45	Fabaceae	*Leucaena leucocephala*	Guaje	Exótica o naturalizada en sitios perturbados	—
46	Fabaceae	*Lonchocarpus castilloi*	Xuul de montaña	Selva	—
47	Fabaceae	*Swartzia cubensis*	Katalox	Selva y transición de humedal	—
48	Fabaceae	*Zygia stevensonii*	Cacaoche	Selva húmeda e inundable	—
49	Hydrocharitaceae	*Vallisneria americana*	Vallisneria	Macrófita acuática sumergida	—
50	Hydrocharitaceae	*Najas wrightiana*	Najas	Macrófita acuática sumergida	—
51	Nymphaeaceae	*Nymphaea ampla*	Ninfa, lirio de agua	Macrófita acuática flotante	—
52	Passifloraceae	*Passiflora foetida*	Pasiflora	Trepadora de bordes y sitios abiertos	—
53	Passifloraceae	*Passiflora coriacea*	Pasiflora	Trepadora de selva	—
54	Polygonaceae	*Coccoloba barbadensis*	Boob	Selva y transición costera	—
55	Polygonaceae	*Coccoloba uvifera*	Uva de mar	Playa, duna y matorral costero	—
56	Polypodiaceae	*Microgramma nitida*	Helecho trepador	Epífita de selva y humedal	—
57	Psilotaceae	*Psilotum nudum*	Psiloto	Epífita o terrestre de sitios húmedos	—
58	Rhizophoraceae	*Rhizophora mangle*	Mangle rojo	Manglar	A
59	Rubiaceae	*Randia aculeata*	Crucetillo	Selva y borde de humedal	—
60	Sapotaceae	*Manilkara zapota*	Chicozapote	Selva y transición de humedal	—
61	Surianaceae	*Suriana maritima*	Tabaquillo	Duna y matorral costero	—
62	Primulaceae	*Jacquinia macrocarpa*	Limoncillo	Vegetación costera y selva	—
63	Typhaceae	*Typha domingensis*	Tule	Tular y humedal	—
64	Verbenaceae	*Lantana involucrata*	Orégano de playa	Matorral y vegetación costera	—
65	Verbenaceae	*Phyla sp.*	Hierba rastrera	Humedal y sitio abierto	—

A: Amenazada, conforme al Anexo Normativo III de la NOM-059-SEMARNAT-2010 y su modificación publicada en 2019.

Las especies *Casuarina equisetifolia* y *Leucaena leucocephala* son ampliamente naturalizadas. Su presencia potencial se relaciona con áreas perturbadas y no debe interpretarse como un componente que deba conservarse, propagarse o utilizarse en la restauración. El Proyecto no utilizará estas especies en las dunas artificiales.

III.2.2.1.1.3 Relación del manglar con el Proyecto

Las unidades cartográficas de manglar se localizan tierra adentro y fuera de los polígonos de las obras. El Área del Proyecto no se encuentra sobre vegetación de manglar y no contempla su remoción, poda, relleno, desecación o trasplante. Las obras terrestres se desarrollarán sobre el frente costero clasificado como asentamientos humanos, mientras que las etapas marinas se localizarán dentro de la laguna arrecifal. El Proyecto tampoco contempla canales, rellenos continentales, extracción de agua subterránea o vialidades que interrumpan la circulación hacia los humedales. La incorporación del manglar en este apartado responde a su presencia dentro de la RE y a su relevancia para el sistema costero regional; no implica que exista traslape o afectación directa por las obras.

III.2.2.1.1.4 Vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia

La selva mediana subperennifolia es una comunidad forestal tropical cuyos árboles presentan generalmente alturas de entre 15 y 25 m, aunque su estructura depende de la profundidad del suelo, humedad, exposición al viento, frecuencia de huracanes y estado de conservación. El término subperennifolia indica que una proporción de los individuos pierde sus hojas durante la época seca, mientras que el resto conserva el follaje durante la mayor parte del año. En Puerto Morelos existen remanentes representativos de esta vegetación, particularmente en el Jardín Botánico Dr. Alfredo Barrera Marín y dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Manglares de Puerto Morelos. Los estudios efectuados en el Jardín Botánico han documentado la estructura, composición y capacidad de recuperación de esta comunidad después de perturbaciones como huracanes.

La unidad identificada por INEGI dentro de la RE corresponde específicamente a vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia. Esta denominación indica que la vegetación original experimentó modificaciones por actividades humanas o perturbaciones naturales y actualmente presenta un proceso sucesional.

La vegetación secundaria puede caracterizarse por:

- Dosel discontinuo y de altura variable.
- Mayor abundancia de individuos jóvenes y tallos delgados.
- Presencia de árboles remanentes de la selva original.
- Alta densidad de arbustos, lianas y especies pioneras.
- Claros producidos por huracanes o actividades humanas.
- Cambios en la dominancia y abundancia relativa de las especies.
- Regeneración de especies tolerantes a la sombra.
- Bordes expuestos a viento, radiación y pérdida de humedad.

III.2.2.1.1.5 Flora potencial de la vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia

Tabla 28. Flora potencial de la vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia de la Región Ecológica.

Núm.	Familia	Especie	Nombre común	NOM-059
1	Anacardiaceae	*Astronium graveolens*	Kulinché	A
2	Anacardiaceae	*Metopium brownei*	Chechén negro	—
3	Apocynaceae	*Cascabela gaumeri*	Akits	—
4	Apocynaceae	*Plumeria rubra*	Flor de mayo	—
5	Arecaceae	*Chamaedorea seifrizii*	Xiat	—
6	Arecaceae	*Coccothrinax readii*	Palma nakás	A
7	Arecaceae	*Sabal yapa*	Palma de huano	—
8	Arecaceae	*Thrinax radiata*	Palma chit	A
9	Bignoniaceae	*Fridericia floribunda*	Bejuco rosa	—
10	Bignoniaceae	*Handroanthus chrysanthus —sin. Tabebuia chrysantha—*	Maculís amarillo	A
11	Bignoniaceae	*Handroanthus roseus —sin. Tabebuia rosea—*	Maculís rosa	—
12	Boraginaceae	*Cordia dodecandra*	Ciricote	—
13	Bromeliaceae	*Bromelia karatas*	Piñuela	—
14	Burseraceae	*Bursera simaruba*	Chacá	—
15	Ebenaceae	*Diospyros tetrasperma*	Silil	—
16	Erythroxylaceae	*Erythroxylum bequaertii*	Frutillo	—
17	Erythroxylaceae	*Erythroxylum rotundifolium*	Bak soots	—
18	Euphorbiaceae	*Cnidoscolus multilobus*	Chaya de monte	—
19	Euphorbiaceae	*Croton arboreus*	Croton	—
20	Euphorbiaceae	*Croton reflexifolius*	Croton	—
21	Euphorbiaceae	*Dalechampia scandens*	Pica pica	—
22	Euphorbiaceae	*Gymnanthes lucida*	Yaití	—
23	Euphorbiaceae	*Jatropha gaumeri*	Pomolché	—
24	Euphorbiaceae	*Sebastiania adenophora*	Chechén blanco	—
25	Fabaceae	*Albizia tomentosa*	Sak pich	—
26	Fabaceae	*Vachellia cornigera —sin. Acacia cornigera—*	Cornizuelo	—

Núm.	Familia	Especie	Nombre común	NOM-059
27	Fabaceae	*Bauhinia divaricata*	Pata de vaca	—
28	Fabaceae	*Bauhinia jenningsii*	Pata de venado	—
29	Fabaceae	*Caesalpinia gaumeri*	Kitamché	—
30	Fabaceae	*Caesalpinia violacea*	Chakté	—
31	Fabaceae	*Chloroleucon mangense*	Verde lucero	—
32	Fabaceae	*Diphysa carthagenensis*	Tzutzú	—
33	Fabaceae	*Leucaena leucocephala*	Guaje	—
34	Fabaceae	*Lonchocarpus castilloi*	Xuul de montaña	—
35	Fabaceae	*Lonchocarpus rugosus*	Kanasín	—
36	Fabaceae	*Lonchocarpus xuul*	Xuul	—
37	Fabaceae	*Lysiloma latisiliquum*	Tzalam	—
38	Fabaceae	*Mimosa bahamensis*	Katsín	—
39	Fabaceae	*Piscidia piscipula*	Jabín	—
40	Fabaceae	*Platymiscium yucatanum*	Granadillo	—
41	Fabaceae	*Pterocarpus rohrii*	Chabecté	—
42	Fabaceae	*Senna racemosa*	Kanlol	—
43	Fabaceae	*Swartzia cubensis*	Katalox	—
44	Fabaceae	*Zygia stevensonii*	Cacaoche	—
45	Lamiaceae	*Vitex gaumeri*	Ya'axnik	—
46	Lauraceae	*Nectandra coriacea*	Nectandra	—
47	Malpighiaceae	*Byrsonima bucidaefolia*	Sakpak	—
48	Malpighiaceae	*Malpighia glabra*	Sipilché	—
49	Malvaceae	*Ceiba schottii*	Ceiba de monte	—
50	Malvaceae	*Hampea trilobata*	Majagua	—
51	Malvaceae	*Malvaviscus arboreus*	Tulipancillo	—
52	Metteniusaceae	*Ottoschulzia pallida*	Uvas ché	—
53	Moraceae	*Brosimum alicastrum*	Ramón	—
54	Moraceae	*Ficus cotinifolia*	Kopo	—
55	Moraceae	*Ficus obtusifolia*	Matapalo	—

Núm.	Familia	Especie	Nombre común	NOM-059
56	Moraceae	*Ficus maxima*	Álamo	—
57	Myrtaceae	*Eugenia foetida*	Pimientillo	—
58	Myrtaceae	*Psidium sartorianum*	Guayabillo	—
59	Nyctaginaceae	*Neea psychotrioides*	Ta'tsi'	—
60	Poaceae	*Lasiacis divaricata*	Carricillo	—
61	Polygonaceae	*Coccoloba acapulcensis*	Tohyub	—
62	Polygonaceae	*Coccoloba diversifolia*	Sak boob	—
63	Polygonaceae	*Coccoloba spicata*	Boob	—
64	Polygonaceae	*Neomillspaughia emarginata*	Tsa itsa	—
65	Primulaceae	*Parathesis cubana*	Plomoché	—
66	Putranjivaceae	*Drypetes lateriflora*	Ekulub	—
67	Rubiaceae	*Guettarda combsii*	Tastab	—
68	Rubiaceae	*Psychotria nervosa*	Café de monte	—
69	Rubiaceae	*Randia longiloba*	Kaax	—
70	Rutaceae	*Esenbeckia pentaphylla*	Naranja ché	—
71	Salicaceae	*Casearia emarginata*	Limonaria	—
72	Salicaceae	*Zuelania guidonia*	Tamay	—
73	Sapindaceae	*Talisia olivaeformis —sin. Melicoccus oliviformis—*	Guaya	—
74	Sapindaceae	*Paullinia pinnata*	Bejuco guaya	—
75	Sapindaceae	*Serjania mexicana*	Bejuco yax	—
76	Sapindaceae	*Thouinia paucidentata*	K'anchunup	—
77	Sapotaceae	*Chrysophyllum mexicanum*	Caimito	—
78	Sapotaceae	*Manilkara zapota*	Chicozapote	—
79	Sapotaceae	*Pouteria campechiana*	Zapote amarillo	—
80	Sapotaceae	*Pouteria unilocularis*	Zapotillo	—
81	Sapotaceae	*Sideroxylon foetidissimum*	Caracolillo	—
82	Sapotaceae	*Sideroxylon obtusifolium*	Mapché	—

La familia Fabaceae presenta el mayor número de taxones en la lista potencial, seguida por Euphorbiaceae, Sapotaceae, Moraceae, Sapindaceae y Polygonaceae. Esta composición es congruente con selvas medianas subperennifolias y comunidades secundarias de la Península de Yucatán.

Entre las especies características del dosel se encuentran *Manilkara zapota, Lysiloma latisiliquum, Brosimum alicastrum, Vitex gaumeri, Astronium graveolens y Handroanthus chrysanthus*. En los estratos medio y bajo pueden presentarse *Gymnanthes lucida, Guettarda combsii, Psychotria nervosa, Neea psychotrioides* y diferentes especies de Eugenia, *Coccoloba y Pouteria*. Las palmas *Thrinax radiata, Coccothrinax readii, Sabal yapa y Chamaedorea seifrizii* pueden formar parte del sotobosque y de los claros.

Leucaena leucocephala es una especie exótica o ampliamente naturalizada, normalmente asociada con áreas alteradas. Su presencia potencial no constituye un atributo de conservación de la selva ni justifica su utilización en acciones de revegetación.

Las especies *Astronium graveolens, Coccothrinax readii, Thrinax radiata y Handroanthus chrysanthus* —incluida en la NOM bajo su sinonimia *Tabebuia chrysantha*— requieren atención especial por encontrarse señaladas como Amenazadas en la lista de referencia.

III.2.2.1.1.6 Relación de la selva mediana subperennifolia con el Proyecto

Los fragmentos de vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia se localizan en la porción continental de la RE y fuera del Área del Proyecto. Las obras no contemplan desmonte, derribo de árboles, apertura de caminos sobre selva ni cambio de uso del suelo en terrenos forestales.

Las dunas artificiales se conformarán sobre arena colocada por el Proyecto en el frente costero y serán revegetadas con especies nativas propias del sistema playa-duna. Por ello, la revegetación dunar no debe confundirse con una restauración de selva ni incluir especies arbóreas que alteren la fisonomía abierta de la playa.

III.2.2.2 Vegetación Terrestre en el AP

No existe vegetación terrestre en el AP.

III.2.2.3 Fauna Terrestre en la RE y AI

La caracterización de la fauna terrestre de la Región Ecológica (RE) se realizó mediante la revisión de fuentes oficiales y registros bibliográficos disponibles para Puerto Morelos y el norte de Quintana Roo. Se consultaron el Decreto del Área de Protección de Flora y Fauna Manglares de Puerto Morelos, la información de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), los registros del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB) de la CONABIO, información del Jardín Botánico "Dr. Alfredo Barrera Marín" de ECOSUR y antecedentes regionales sobre aves, mamíferos, anfibios y reptiles.

El Área de Protección de Flora y Fauna Manglares de Puerto Morelos conserva manglar, selva mediana subperennifolia, selva mediana y baja subcaducifolia, asociaciones de transición manglar-palmar-selva y ciperales. En conjunto, estos ecosistemas albergan al menos 1,294 especies nativas de flora, fauna y hongos, de las cuales 59 son endémicas de México o de la Provincia Biótica Península de Yucatán y 96 se encuentran en alguna categoría de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010. Entre las especies representativas señaladas por la CONANP se encuentran el cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*), el cocodrilo de río (*Crocodylus acutus*) y la mariposa monarca (*Danaus plexippus*).

Por su parte, el Jardín Botánico "Dr. Alfredo Barrera Marín", localizado en Puerto Morelos y administrado por ECOSUR, protege un fragmento de selva mediana subperennifolia que funciona como refugio, área de alimentación y corredor para fauna terrestre. Los registros disponibles para esta zona incluyen aves residentes y migratorias, pequeños y medianos mamíferos, primates, carnívoros y una herpetofauna característica de ambientes selváticos, urbanos y de humedal.

Las especies presentadas en las tablas siguientes constituyen una lista de presencia potencial para la RE, elaborada a partir de:

1. Registros documentados en Puerto Morelos y ecosistemas próximos.
2. Especies representativas del APFF Manglares de Puerto Morelos.
3. Registros regionales del SNIB-CONABIO.
4. Distribución conocida de las especies en el norte de Quintana Roo.
5. Disponibilidad de hábitat dentro de la RE, principalmente manglar, selva mediana subperennifolia, vegetación secundaria, humedales, franja costera y asentamientos humanos.

La inclusión de una especie no significa que haya sido registrada dentro del Área del Proyecto (AP). Debido a que el AP corresponde principalmente a playa intervenida, instalaciones turísticas y zona marina somera, la presencia de fauna terrestre se considera más probable para especies tolerantes a la actividad humana, aves en vuelo o tránsito y ejemplares que eventualmente utilicen la franja costera. Los mamíferos de talla mediana o grande, las especies estrictamente selváticas y la mayor parte de los anfibios tendrían mayor probabilidad de presentarse en los fragmentos de vegetación natural y humedales contenidos en la RE, pero fuera de los polígonos de obra.

Las categorías de riesgo se expresan conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010 y su modificación publicada en 2019.

III.2.2.3.1 Avifauna potencial

Las aves representan el grupo de vertebrados terrestres con mayor probabilidad de utilizar la totalidad de la RE, debido a su movilidad y a la diversidad de ambientes disponibles. El manglar y los humedales proporcionan sitios de alimentación, descanso y refugio para garzas y otras aves acuáticas; la selva mediana subperennifolia sostiene especies frugívoras, insectívoras, nectarívoras y granívoras; mientras que los asentamientos humanos son utilizados por especies generalistas como zanates, palomas, zopilotes y cenzontles.

La ubicación de Puerto Morelos en la costa del Caribe también favorece la presencia estacional de aves migratorias. En consecuencia, la composición y abundancia pueden variar entre las temporadas de residencia invernal, migración y reproducción.

Tabla 29. Especies de aves de presencia potencial en la Región Ecológica y AI.

Familia	Especie	Nombre común	Condición regional	NOM-059
Apodidae	*Chaetura vauxi*	Vencejo de Vaux	Residente; puede observarse en vuelo sobre selva, humedales y áreas abiertas	—
Ardeidae	*Ardea alba*	Garza blanca	Asociada con humedales, manglares y cuerpos de agua someros	—
Ardeidae	*Butorides virescens*	Garcita verde	Potencial en canales, manglares y bordes de humedal	—
Cardinalidae	*Piranga olivacea*	Piranga escarlata o tangara rojinegra	Migratoria; potencial en vegetación arbórea	—
Cathartidae	*Coragyps atratus*	Zopilote común o negro	Generalista; frecuente en áreas abiertas y urbanizadas	—
Cathartidae	*Cathartes aura*	Zopilote aura	Generalista; sobrevuela selva, humedales y franja costera	—
Columbidae	*Patagioenas flavirostris*	Paloma morada	Asociada con selvas y vegetación arbórea secundaria	—
Columbidae	*Zenaida asiatica*	Paloma alas blancas	Común en vegetación secundaria y asentamientos humanos	—
Columbidae	*Leptotila verreauxi*	Paloma arroyera	Potencial en sotobosque y vegetación secundaria densa	—
Corvidae	*Cyanocorax yucatanicus*	Chara yucateca	Residente característica de la península de Yucatán	—
Corvidae	*Psilorhinus morio*	Chara pea	Asociada con selva, vegetación secundaria y áreas arboladas	—
Cracidae	*Ortalis vetula*	Chachalaca oriental	Potencial en selva y vegetación secundaria arbórea	—
Cuculidae	*Crotophaga sulcirostris*	Garrapatero pijuy	Común en áreas abiertas, bordes y vegetación secundaria	—

Familia	Especie	Nombre común	Condición regional	NOM-059
Cuculidae	*Piaya cayana*	Cuclillo canelo	Asociado con estratos arbóreos de selva y vegetación secundaria	—
Falconidae	*Herpetotheres cachinnans*	Halcón guaco	Potencial en bordes de selva y áreas arboladas	—
Icteridae	*Icterus gularis*	Bolsero de Altamira	Asociado con vegetación arbórea y ambientes suburbanos	—
Icteridae	*Amblycercus holosericeus*	Cacique piquiclaro	Potencial en vegetación densa y bordes de humedal	—
Icteridae	*Icterus cucullatus*	Bolsero encapuchado	Residente o migratorio regional; áreas arboladas y palmares	—
Icteridae	*Quiscalus mexicanus*	Zanate mexicano	Generalista; común en asentamientos humanos y zonas costeras	—
Mimidae	*Mimus gilvus*	Cenzontle tropical	Frecuente en vegetación secundaria y áreas urbanizadas	—
Parulidae	*Setophaga petechia*	Chipe amarillo	Migratorio y residente regional; manglares y vegetación costera	—
Picidae	*Melanerpes pygmaeus*	Carpintero yucateco	Especie característica de la península de Yucatán	—
Psittacidae	*Eupsittula nana*	Perico pecho sucio o periquito azteca	Selva, vegetación secundaria y áreas arboladas	Pr
Trochilidae	*Amazilia yucatanensis*	Colibrí vientre canelo	Asociado con vegetación arbórea, jardines y bordes	—
Trochilidae	*Campylopterus curvipennis*	Fandanguero mexicano	Potencial en selva mediana y vegetación secundaria	—
Tyrannidae	*Tyrannus melancholicus*	Tirano tropical o xtakay	Común en bordes, áreas abiertas y asentamientos humanos	—
Troglodytidae	*Uropsila leucogastra*	Saltapared vientre blanco	Asociado con sotobosque y vegetación secundaria	—

En el Jardín Botánico "Dr. Alfredo Barrera Marín" se dispone de una guía pública con registros de aves que incluye, entre otras, a *Zenaida asiatica*, *Leptotila verreauxi*, *Butorides virescens*, *Campylopterus*

curvipennis, *Uropsila leucogastra* y *Cyanocorax yucatanicus*. Dichos registros respaldan su presencia potencial en los ambientes de selva y humedal de la RE, pero no constituyen registros directos del Área del Proyecto.

III.2.2.3.2 Mastofauna potencial

La presencia potencial de mamíferos se concentra principalmente en las áreas de selva mediana subperennifolia, vegetación secundaria y manglar de la RE. Los pequeños y medianos mamíferos pueden desplazarse a través de bordes, jardines y áreas suburbanas; en contraste, los grandes felinos, el mono araña y otras especies sensibles requieren extensiones mayores de vegetación y conectividad con áreas naturales.

Tabla 30. Especies de mamíferos terrestres de presencia potencial en la Región Ecológica.

Familia	Especie	Nombre común	Condición regional	NOM-059
Atelidae	*Ateles geoffroyi*	Mono araña de Geoffroy	Asociado con selva conservada y dosel arbóreo continuo	P
Canidae	*Urocyon cinereoargenteus*	Zorra gris	Potencial en selva secundaria, bordes y áreas suburbanas	—
Cervidae	*Odocoileus virginianus*	Venado cola blanca	Potencial en selva, vegetación secundaria y claros	—
Cuniculidae	*Cuniculus paca*	Tepezcuintle	Asociado con vegetación densa y sitios próximos al agua	—
Dasyproctidae	*Dasyprocta punctata*	Sereque o agutí centroamericano	Frecuente en selva y vegetación secundaria con cobertura	—
Dasypodidae	*Dasypus novemcinctus*	Armadillo de nueve bandas	Potencial en selva y vegetación secundaria	—
Didelphidae	*Didelphis virginiana*	Tlacuache norteño	Generalista; puede presentarse en áreas suburbanas	—
Felidae	*Herpailurus yagouaroundi*	Jaguarundi	Asociado con selvas, humedales y vegetación secundaria	A
Felidae	*Leopardus pardalis*	Ocelote	Potencial en vegetación natural con cobertura suficiente	P

Familia	Especie	Nombre común	Condición regional	NOM-059
Felidae	*Leopardus wiedii*	Tigrillo o margay	Asociado con selvas y vegetación arbórea conservada	P
Felidae	*Panthera onca*	Jaguar	Potencial regional; requiere amplias áreas naturales conectadas	P
Mustelidae	*Eira barbara*	Viejo de monte o tayra	Potencial en selva y vegetación secundaria arbórea	—
Procyonidae	*Nasua narica*	Coatí de nariz blanca	Selva, vegetación secundaria y áreas suburbanas	—
Procyonidae	*Procyon lotor*	Mapache	Manglares, humedales, franja costera y áreas urbanizadas	—
Sciuridae	*Sciurus yucatanensis*	Ardilla yucateca	Vegetación arbórea y selva mediana	—
Tayassuidae	*Dicotyles tajacu*	Pecarí de collar	Potencial en selvas y vegetación secundaria extensa	—
Myrmecophagidae	*Tamandua mexicana*	Oso hormiguero norteño	Selva, manglar y vegetación secundaria	P

Las especies de mayor talla y sensibilidad incluidas en esta tabla deben entenderse como potenciales para los fragmentos naturales de la RE y su contexto regional. No se considera probable su presencia regular dentro del frente de playa intervenido del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa.

III.2.2.3.3 Herpetofauna potencial

Los anfibios y reptiles responden estrechamente a la humedad, temperatura, disponibilidad de refugios y permanencia de cuerpos de agua. Los manglares, depresiones inundables y selvas de la RE pueden sostener anfibios y reptiles propios de ambientes húmedos, mientras que las áreas urbanizadas favorecen especies generalistas y, en algunos casos, especies no nativas.

En la lista originalmente recopilada se detectaron asignaciones familiares que fueron corregidas conforme a la clasificación taxonómica actual. En particular:

- *Phyllodactylus tuberculosus* pertenece a Phyllodactylidae.
- *Coniophanes schmidti* se reconoce actualmente dentro de Dipsadidae.

- *Holcosus undulatus* pertenece a Teiidae.
- *Anolis sagrei* pertenece a Dactyloidae y es una especie exótica en México.
- *Phrynonax poecilonotus* pertenece a Colubridae.
- *Basiliscus vittatus* pertenece a Corytophanidae.
- *Ctenosaura similis* pertenece a Iguanidae.

Tabla 31. Especies de reptiles de presencia potencial en la Región Ecológica.

Familia	Especie	Nombre común	Condición regional	NOM-059
Boidae	*Boa imperator*	Boa o mazacuata	Selva, vegetación secundaria y manglar	A[1]
Colubridae	*Phrynonax poecilonotus*	Culebra ratonera	Selva y vegetación secundaria	—
Corytophanidae	*Basiliscus vittatus*	Basilisco café, toloque o tolok	Bordes de selva y sitios próximos al agua	—
Crocodylidae	*Crocodylus acutus*	Cocodrilo de río	Manglares, lagunas y ambientes salobres	Pr
Crocodylidae	*Crocodylus moreletii*	Cocodrilo de pantano	Humedales y cuerpos de agua continentales	Pr
Dactyloidae	*Anolis sagrei*	Anolis café o toloquito	Especie exótica; frecuente en áreas urbanizadas	—
Dipsadidae	*Coniophanes schmidti*	Culebra rayada de Schmidt	Selva y vegetación secundaria	Pr
Iguanidae	*Ctenosaura similis*	Iguana negra de cola espinosa	Franja costera, selva, áreas rocosas y urbanizadas	A
Iguanidae	*Iguana iguana*	Iguana verde	Vegetación arbórea próxima a humedales	Pr
Phyllodactylidae	*Phyllodactylus tuberculosus*	Cuija o geco tuberculoso	Ambientes rocosos, árboles y construcciones	—
Teiidae	*Holcosus undulatus*	Ameiva arcoíris o kankalás	Suelo de selva, bordes y áreas abiertas	—
Emydidae	*Trachemys venusta*	Jicotea mesoamericana	Humedales y cuerpos de agua dulce	Pr
Geoemydidae	*Rhinoclemmys areolata*	Mojina de monte o tortuga de monte	Selva inundable, humedales y vegetación secundaria	A
Kinosternidae	*Kinosternon scorpioides*	Casquito o tortuga pecho quebrado	Humedales temporales y permanentes	Pr

[1] La NOM-059-SEMARNAT-2010 registra a la boa bajo el nombre *Boa constrictor*. La literatura taxonómica reciente reconoce a las poblaciones mesoamericanas como *Boa imperator*; por precaución, se conserva la categoría de especie amenazada aplicable al taxón listado en la norma.

III.2.2.3.4 Anfibios

Los anfibios potenciales se relacionan principalmente con los humedales, depresiones temporalmente inundables y sectores de selva contenidos en la RE. Debido a que el Área del Proyecto corresponde a una franja costera arenosa y marina, su presencia dentro de los polígonos de obra sería poco probable, aunque podrían encontrarse ejemplares en jardines, zonas húmedas o instalaciones terrestres próximas.

Tabla 32. Especies de anfibios de presencia potencial en la Región Ecológica.

Familia	Especie	Nombre común	Ambiente potencial	NOM-059
Bufonidae	*Incilius valliceps*	Sapo del golfo o sapo común	Selva, vegetación secundaria y áreas suburbanas	—
Bufonidae	*Rhinella horribilis*	Sapo gigante mesoamericano	Áreas abiertas, jardines y bordes de humedal	—
Hylidae	*Agalychnis callidryas*	Rana de ojos rojos	Vegetación arbórea próxima a cuerpos de agua	—
Hylidae	*Smilisca baudinii*	Rana arborícola mexicana	Selva, vegetación secundaria y humedales temporales	—
Hylidae	*Tlalocohyla loquax*	Ranita amarilla	Humedales y vegetación emergente	—
Hylidae	*Trachycephalus typhonius*	Rana lechosa	Selva y vegetación arbórea	—
Leptodactylidae	*Leptodactylus melanonotus*	Rana de hojarasca	Suelos húmedos, bordes de humedal y selva	—
Microhylidae	*Hypopachus variolosus*	Rana termitera	Hojarasca y ambientes temporalmente inundables	—
Ranidae	*Lithobates berlandieri*	Rana del Río Grande	Cuerpos de agua dulce y humedales	Pr
Plethodontidae	*Bolitoglossa yucatana*	Salamandra yucateca	Ambientes húmedos de selva y vegetación arbórea	Pr

III.2.2.4 Relación de la fauna terrestre con el Proyecto

El análisis cartográfico de uso del suelo y vegetación muestra que las obras terrestres se ubicarán en una franja identificada como asentamiento humano, frente a las instalaciones existentes del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa. El Proyecto no considera desmontar manglar, selva mediana subperennifolia ni vegetación secundaria natural. Las dunas previstas serán artificiales y se establecerán sobre la franja arenosa intervenida, utilizando vegetación costera nativa.

Por lo anterior, no se prevé pérdida directa de hábitat de selva o manglar para fauna terrestre. Los efectos potenciales se relacionan principalmente con la presencia temporal de personal y maquinaria, ruido, iluminación, tránsito, generación de residuos y riesgo de encuentros fortuitos con ejemplares de fauna.

III.2.2.3 Biota marina

La biota marina de la Región Ecológica (RE), el Área de Influencia (AI) y el Área del Proyecto (AP) forma parte del sistema costero-arrecifal de Puerto Morelos, integrado por la playa, la laguna arrecifal, los fondos arenosos, las praderas de pastos marinos, las comunidades de macroalgas, los sustratos consolidados, los octocorales y las formaciones coralinas. Estos componentes mantienen relaciones funcionales mediante la circulación del agua, el transporte de sedimentos y el desplazamiento de organismos entre zonas de alimentación, refugio, reproducción y crianza.

Para su análisis se establecieron cuatro escalas temáticas: vegetación sumergida en la RE y el AI; vegetación sumergida en el AP; fauna marina en la RE y el AI; y fauna marina en el AP. Esta separación permite distinguir la diversidad potencial del sistema arrecifal regional de las comunidades que pudieran encontrarse directamente dentro de las superficies de ocupación del Proyecto.

III.2.2.3.1 Vegetación sumergida en la RE y AI

La vegetación sumergida comprende las plantas vasculares marinas —pastos marinos—, las macroalgas bentónicas y las asociaciones mixtas que se desarrollan sobre sedimentos arenosos, laja calcárea, fragmentos coralinos y otros sustratos de la laguna arrecifal. Estas comunidades constituyen uno de los principales componentes productores del sistema y participan en la retención de sedimentos, producción de materia orgánica, captura de carbono y mantenimiento de hábitats para la fauna marina.

La RE delimitada para el Proyecto integra tanto el componente continental como una porción de la laguna arrecifal y del sistema marino-costero. Por su parte, el AI, delimitada a partir de la microcelda litoral abarca el frente costero dentro del cual se manifiestan los procesos locales de oleaje, circulación, transporte de sedimentos e interacción entre la playa y los ambientes bentónicos.

Esta delimitación permite incorporar al análisis no solamente las superficies donde se ejecutarán las obras, sino también las comunidades sumergidas que podrían mantener relaciones ecológicas o hidrodinámicas con el sitio.

III.2.2.3.1.1 Fuente y alcance temporal de la cartografía bentónica

Para identificar la distribución regional de las coberturas sumergidas se utilizó la capa de cobertura bentónica disponible en el Sistema de Información y Análisis Marino Costero de la CONABIO (SIMAR), generada mediante el Proyecto ArrecifeSAM.

El portal de SIMAR identifica esta cartografía como un producto desarrollado en 2018. Su elaboración utilizó técnicas de percepción remota aplicadas a 23 imágenes satelitales WorldView-2 de alta resolución espacial.

De acuerdo con la información técnica de CONABIO, las imágenes empleadas corresponden principalmente al periodo 2009-2015, mientras que los productos batimétricos asociados utilizaron imágenes y datos de validación comprendidos entre 2010 y 2016. El conjunto de datos consultado fue publicado digitalmente en 2022.

En consecuencia, la fecha de publicación del dataset no debe interpretarse como la fecha de levantamiento de todas las observaciones o imágenes empleadas. La capa representa una caracterización regional derivada de información satelital y campañas anteriores, por lo que constituye una referencia espacial de línea base, pero no una representación instantánea de las condiciones actuales.

Este aspecto es particularmente relevante porque los pastos marinos y las macroalgas constituyen comunidades dinámicas. Su distribución, densidad y cobertura pueden cambiar por:

- Huracanes, tormentas y oleaje extremo.
- Movilidad, acumulación o pérdida de sedimentos.
- Variaciones de profundidad y penetración de luz.
- Enterramiento o exposición de rizomas.
- Cambios estacionales de temperatura y radiación.
- Aportes de nutrientes y materia orgánica.
- Fragmentación o recolonización vegetativa.
- Enfermedades y mortalidad foliar.
- Actividades humanas, navegación y anclaje.
- Arribo y acumulación temporal de macroalgas pelágicas.

Por lo anterior, la cartografía SIMAR se utiliza para reconocer la distribución potencial y el patrón general de las comunidades bentónicas en la RE y el AI, pero no sustituye una caracterización contemporánea de detalle ni permite, por sí sola, determinar la cobertura actual dentro de cada polígono de obra.

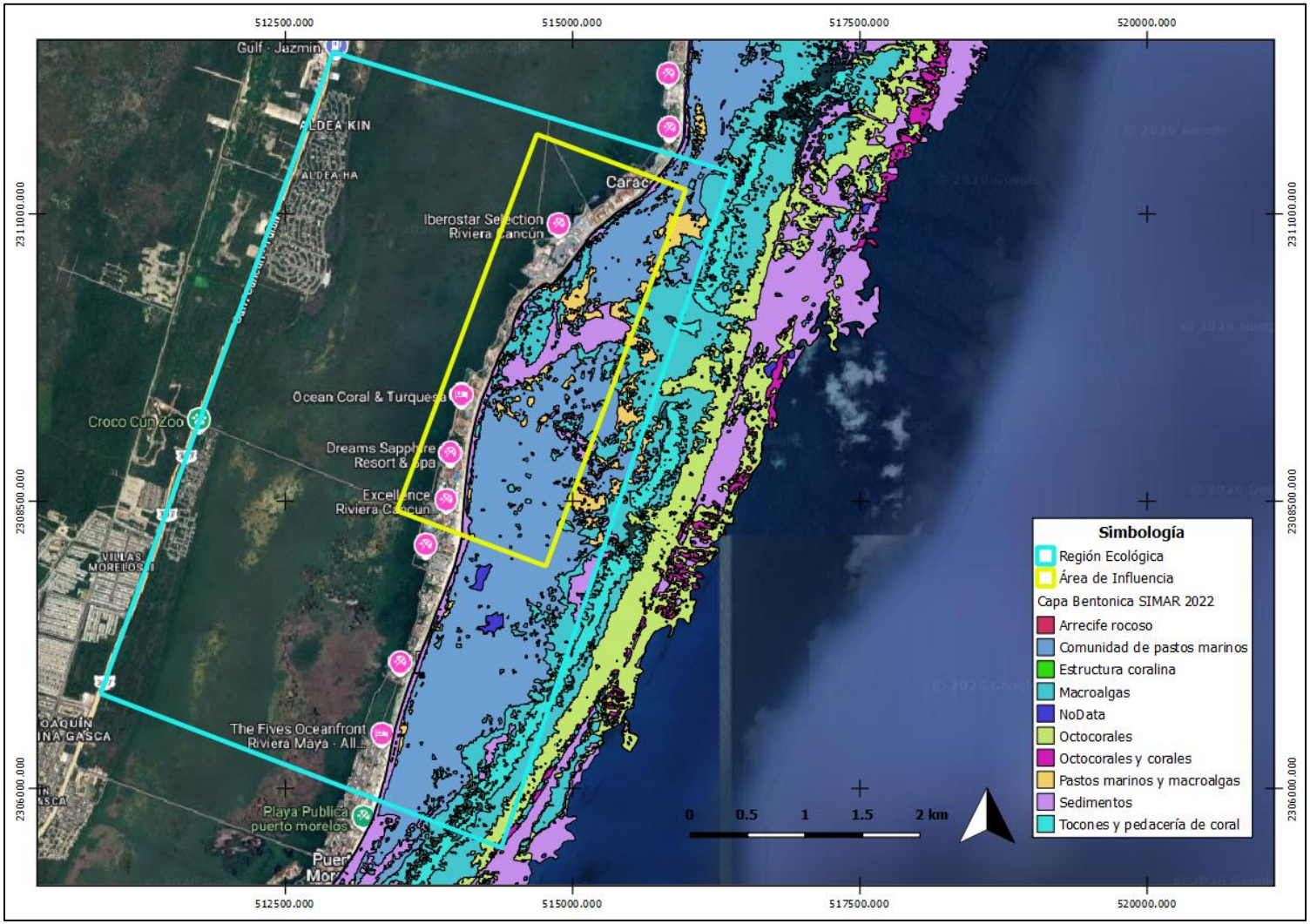


Figura 32. Distribución de la cobertura bentónica en la Región Ecológica y el Área de Influencia del Proyecto.

Fuente: elaboración propia con información de cobertura bentónica del Proyecto ArrecifeSAM, Sistema de Información y Análisis Marino Costero de la CONABIO. Producto cartográfico desarrollado en 2018 a partir de imágenes WorldView-2 y datos de validación de años anteriores; conjunto de datos publicado digitalmente en 2022.

La figura anterior muestra que la porción marina de la RE y del AI comprende un mosaico heterogéneo de comunidades de pastos marinos, macroalgas, asociaciones mixtas de pastos y macroalgas, sedimentos sin cobertura vegetal dominante, tocón o pedacería de coral, octocorales, comunidades coralinas y estructuras arrecifales.

En términos espaciales, la comunidad de pastos marinos presenta una distribución amplia dentro de la laguna arrecifal, particularmente en sectores protegidos y fondos sedimentarios. Las asociaciones de pastos marinos y macroalgas se distribuyen de forma discontinua dentro de la laguna, mientras que las macroalgas también ocupan superficies de sustrato consolidado y zonas próximas a las estructuras arrecifales. Hacia el límite oriental del AI aumenta la heterogeneidad del fondo y se reconocen comunidades asociadas con estructuras coralinas, octocorales y pedacería de coral.

La clasificación cartográfica utilizada comprende las siguientes unidades:

Tabla 33. Coberturas bentónicas identificadas en la RE y el AI.

Cobertura bentónica	Presencia cartográfica	Interpretación ecológica
Comunidad de pastos marinos	RE y AI	Praderas dominadas potencialmente por fanerógamas marinas sobre fondos sedimentarios
Pastos marinos y macroalgas	RE y AI	Asociaciones mixtas con cobertura variable de pastos y algas rizofíticas o carnosas
Macroalgas	RE y AI	Coberturas algales sobre sedimento, laja, pedacería coralina o sustrato arrecifal
Sedimentos	RE y AI	Fondos no consolidados con cobertura vegetal superficial baja o no detectable a la escala del producto
Tocones y pedacería de coral	RE y AI	Sustrato biogénico con posible colonización por algas y organismos sésiles
Octocorales	RE y AI	Fondos consolidados con presencia dominante o relevante de gorgonáceos
Octocorales y corales	RE y AI	Asociación de organismos sésiles sobre sustrato duro
Estructura coralina	RE y AI, principalmente hacia el límite marino	Relieve arrecifal con mayor complejidad estructural
Arrecife rocoso	RE y sectores próximos al AI	Sustrato consolidado natural con cobertura bentónica variable
Sin datos	Sectores puntuales de la RE	Áreas cuya cobertura no fue determinada mediante el producto cartográfico

La categoría "sedimentos" no significa ausencia de biota, sino que el fondo presenta un predominio espectral y estructural de material no consolidado. En esos ambientes pueden existir macroalgas dispersas, brotes aislados de pastos marinos, microfitobentos y organismos infaunales que no son detectables mediante la resolución espacial de la cartografía satelital.

De manera similar, las categorías "comunidad de pastos marinos" y "pastos marinos y macroalgas" no permiten establecer por sí solas la especie dominante, densidad de haces, biomasa, altura foliar, continuidad de rizomas o estado de conservación de la vegetación.

III.2.2.3.1.2 Estructura regional de la vegetación marina

El Programa de Manejo del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos divide la vegetación de la laguna arrecifal en tres unidades generales:

1. Una franja litoral angosta.
2. Una zona intermedia amplia.
3. La zona próxima al arrecife oeste o posterior.

La franja litoral fue descrita con una anchura aproximada de 20 a 50 m y vegetación dominada por *Thalassia testudinum* o *Syringodium filiforme*, acompañada por algas rizofíticas y, ocasionalmente, por *Halodule wrightii* y especies del género *Caulerpa*. La zona intermedia, con una anchura histórica de entre 200 y 1,000 m, presenta comunidades de *T. testudinum*, *S. filiforme* y algas rizofíticas, interrumpidas por superficies arenosas desprovistas de vegetación dominante. En determinados sectores se han documentado coberturas de *Lobophora* spp. y *Laurencia intricata*. En la zona próxima al arrecife oeste, descrita con una anchura aproximada de 100 a 400 m, el pasto marino dominante es *T. testudinum*, mientras que *S. filiforme* y las algas rizofíticas pueden presentar menor abundancia. Programa de Manejo del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. Esta zonación fue establecida a escala del Parque Nacional y no debe trasladarse de manera automática al AP. Sin embargo, permite interpretar el patrón general representado en la cartografía SIMAR: una laguna arrecifal dominada por sedimentos, pastos marinos y macroalgas, seguida hacia el este por fondos de mayor consolidación y complejidad coralina.

III.2.2.3.1.3 Pastos marinos

El Programa de Manejo documenta tres especies de pastos marinos en el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos:

Tabla 34. Pastos marinos de presencia potencial en la RE y el AI.

Familia	Especie	Nombre común	Características ecológicas
Hydrocharitaceae	*Thalassia testudinum*	Pasto tortuga	Especie dominante en praderas maduras de la laguna arrecifal; posee rizomas robustos y contribuye a la estabilización del sedimento
Cymodoceaceae	*Syringodium filiforme*	Pasto manatí	Se presenta en praderas monoespecíficas o mixtas; posee hojas cilíndricas y puede colonizar fondos arenosos
Cymodoceaceae	*Halodule wrightii*	Pasto bajo o pasto de bajos	Especie colonizadora, generalmente asociada con ambientes someros, fondos móviles o áreas sujetas a perturbación

Las tres especies deben considerarse potenciales para la porción marina de la RE y del AI debido a que forman parte de la flora documentada para la laguna arrecifal de Puerto Morelos. No obstante, la cartografía SIMAR no permite separarlas taxonómicamente.

En Puerto Morelos, *Thalassia testudinum* suele constituir la especie estructuralmente dominante. Sus rizomas y raíces retienen el sedimento y sus hojas reducen la velocidad del flujo cerca del fondo. La complejidad generada por sus haces proporciona refugio, alimentación y zonas de crianza para peces, moluscos, crustáceos y equinodermos.

Syringodium filiforme puede coexistir con *T. testudinum*, aunque su participación cambia en función de la profundidad, exposición al oleaje, estabilidad del sedimento y disponibilidad de luz. *Halodule wrightii* puede formar parches de menor talla y responder rápidamente a la apertura de espacios o perturbaciones, por lo que su distribución puede ser particularmente variable.

Los estudios realizados en la laguna arrecifal de Puerto Morelos muestran que estas comunidades presentan variaciones temporales en biomasa, densidad, productividad y composición. También indican que la dinámica de las praderas se relaciona con huracanes, sedimentación, disponibilidad de nutrientes, pastoreo y cambios en las condiciones ambientales. Van Tussenbroek et al., 2011.

III.2.2.3.1.4 Macroalgas bentónicas

El Programa de Manejo reporta 264 especies de algas marinas para el Parque Nacional, lo cual evidencia la elevada diversidad florística del sistema. Las macroalgas pueden crecer sobre sedimentos, rizomas de pastos, laja, pedacería coralina, corales muertos y estructuras arrecifales.

Dentro de la laguna arrecifal se reconocen numerosas algas rizofíticas, es decir, especies con estructuras de fijación que se desarrollan sobre fondos sedimentarios. Entre las más representativas se encuentran *Penicillus capitatus*, *Rhipocephalus phoenix*, *Rhipocephalus oblongus*, *Udotea flabellum*, *Udotea spinulosa*, *Halimeda incrassata* y especies de *Avrainvillea*.

En fondos consolidados y arrecifales son frecuentes géneros como *Caulerpa*, *Halimeda*, *Dictyota*, *Stypopodium*, *Lobophora* y *Laurencia*. Los géneros *Sargassum* y *Turbinaria* pueden incrementar su abundancia en determinadas temporadas, mientras que las algas filamentosas y cianobacterias pueden presentar proliferaciones localizadas.

Tabla 35. Macroalgas de presencia potencial en la RE y el AI.

División o grupo	Especie o género	Tipo funcional o sustrato potencial
Chlorophyta	*Penicillus capitatus*	Alga verde calcárea rizofítica; fondos arenosos y praderas
Chlorophyta	*Rhipocephalus phoenix*	Alga verde calcárea; sedimentos y pastos marinos
Chlorophyta	*Rhipocephalus oblongus*	Alga verde calcárea rizofítica
Chlorophyta	*Udotea flabellum*	Alga verde calcárea; fondos arenosos
Chlorophyta	*Udotea spinulosa*	Alga verde calcárea; sedimentos lagunares
Chlorophyta	*Halimeda incrassata*	Alga calcárea productora de sedimento

División o grupo	Especie o género	Tipo funcional o sustrato potencial
Chlorophyta	*Halimeda* spp.	Arena, praderas, laja y ambientes arrecifales
Chlorophyta	*Avrainvillea* spp.	Fondos arenosos y asociaciones con pastos
Chlorophyta	*Caulerpa* spp.	Sedimentos, laja y bordes de praderas
Ochrophyta	*Dictyota* spp.	Sustratos consolidados y ambientes arrecifales
Ochrophyta	*Stypopodium* spp.	Laja y fondos arrecifales
Ochrophyta	*Lobophora* spp.	Roca, pedacería coralina y corales muertos
Ochrophyta	*Sargassum* spp.	Sustratos duros; abundancia estacional variable
Ochrophyta	*Turbinaria* spp.	Sustratos consolidados y arrecifales
Rhodophyta	*Laurencia intricata*	Praderas, laja y fondos arrecifales
Rhodophyta	*Laurencia* spp.	Sustratos vegetados y consolidados
Rhodophyta	Algas coralinas costrosas	Sustrato arrecifal; consolidación y estabilización superficial
Cyanobacteria	Diversos taxones bentónicos	Pueden formar tapetes o manchas temporales sobre el sustrato

La lista anterior representa especies y géneros potenciales para la RE y el AI, con fundamento en su registro regional en el Parque Nacional. No constituye un inventario florístico obtenido dentro de los polígonos analizados.

III.2.2.3.1.5 Importancia funcional

La vegetación sumergida cumple funciones esenciales dentro del sistema costero-arrecifal:

- Fija y estabiliza sedimentos no consolidados.
- Reduce la resuspensión de partículas.
- Favorece la transparencia del agua.
- Retiene nutrientes y materia orgánica.
- Produce oxígeno y biomasa.
- Proporciona refugio y alimentación a invertebrados y peces.
- Funciona como área de crianza para fauna juvenil.
- Mantiene conectividad ecológica con manglares y arrecifes.
- Proporciona alimento a la tortuga verde (*Chelonia mydas*).
- Participa en la producción de arena carbonatada.
- Contribuye a la captura y almacenamiento de carbono azul.
- Favorece la resiliencia del sistema ante oleaje y tormentas.

Las macroalgas calcáreas, particularmente *Halimeda*, *Penicillus*, *Udotea* y *Rhipocephalus*, aportan fragmentos carbonatados al sedimento después de su muerte y desintegración. Este proceso contribuye al balance sedimentario regional y vincula biológicamente las comunidades sumergidas con la formación y mantenimiento de playas carbonatadas.

III.2.2.3.1.6 Dinámica temporal y limitaciones interpretativas

Las comunidades de pastos marinos no poseen límites permanentes. Los bordes de las praderas pueden expandirse, retraerse o fragmentarse como respuesta a cambios en la movilidad del sedimento, profundidad, penetración de luz y energía hidrodinámica. Asimismo, la cobertura de macroalgas puede variar estacionalmente y responder rápidamente a cambios en temperatura, nutrientes, herbivoría y disponibilidad de sustrato.

Los huracanes pueden ocasionar pérdida de biomasa foliar, desenterramiento de rizomas, fragmentación de praderas y desplazamiento de sedimentos. Sin embargo, también pueden abrir espacios que posteriormente sean recolonizados. La recuperación dependerá de la permanencia de rizomas, disponibilidad de propágulos y restablecimiento de condiciones adecuadas.

Investigaciones de seguimiento realizadas en Puerto Morelos han encontrado periodos de relativa estabilidad en la estructura general de las comunidades de pastos, combinados con tendencias y variaciones locales relacionadas con el ambiente y las presiones humanas. Por ello, la ausencia o presencia indicada por una imagen satelital histórica no garantiza que la misma condición permanezca actualmente.

En consecuencia, la capa bentónica del SIMAR constituye una referencia regional técnicamente pertinente para delimitar y caracterizar la RE y el AI, pero sus resultados deben interpretarse atendiendo su escala, antigüedad y método de elaboración.

III.2.2.3.2 Vegetación sumergida en el Área del Proyecto

La caracterización de la vegetación sumergida en el Área del Proyecto (AP) se realizó a partir de información obtenida mediante reconocimiento directo del fondo marino y su representación en una capa vectorial. A diferencia de la cartografía regional del SIMAR, esta información presenta una escala de mayor detalle y permite reconocer la distribución espacial de las principales unidades bentónicas frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa.

La capa de caracterización distingue cinco unidades:

1. Laja con algas.
2. Arena.
3. Pastos marinos.
4. Laja con gorgonáceos.
5. Arena con algas.

Estas unidades representan el componente dominante observable del fondo y permiten identificar la heterogeneidad bentónica del AP. No obstante, sus límites no deben entenderse como fronteras biológicas rígidas, debido a que pueden existir transiciones graduales, organismos aislados y asociaciones mixtas dentro de una misma unidad.

III.2.2.3.2.1 Metodología de caracterización y elaboración de la capa bentónica

La caracterización espacial es congruente con una metodología de reconocimiento visual directo, georreferenciación y digitalización de las unidades bentónicas. El procedimiento se describe de la siguiente manera:

1. **Delimitación del área de reconocimiento.** Se definió un polígono marino que comprende los fondos someros localizados frente al hotel y el espacio en el que se proyectan las barreras de contención, las barreras rompeolas y los polígonos de vertido de arena.
2. **Reconocimiento del fondo.** Se efectuaron observaciones directas en el área marina somera, identificando el tipo de sustrato predominante y la cobertura biológica visible. El reconocimiento pudo realizarse mediante recorridos en superficie, observación desde embarcación, buceo libre o inspección subacuática, dependiendo de la profundidad y visibilidad del fondo.
3. **Georreferenciación de unidades.** Los cambios observables entre arena, laja, vegetación marina y comunidades de organismos sésiles fueron referidos espacialmente para delimitar su distribución.
4. **Clasificación bentónica.** Cada sector se asignó a una categoría de acuerdo con el sustrato y componente biológico dominante: laja con algas, arena, pastos marinos, laja con gorgonáceos o arena con algas.
5. **Digitalización.** Los límites obtenidos en campo fueron representados mediante polígonos vectoriales en un Sistema de Información Geográfica.
6. **Superposición con las obras.** La capa de caracterización bentónica se intersectó con los polígonos constructivos definidos en el Capítulo I para identificar coincidencias entre las obras y las unidades de vegetación sumergida.
7. **Cálculo de superficies.** La intersección espacial permitió calcular la superficie planimétrica de coincidencia entre los geotubos y los parches cartografiados de pastos marinos.

Esta metodología permite generar una representación temática adecuada para identificar áreas sensibles y orientar la microlocalización de las obras. Debido a que el producto corresponde a una clasificación por unidades dominantes, no expresa por sí mismo variables como densidad de haces, biomasa, altura foliar, cobertura porcentual, frecuencia, composición taxonómica detallada o estado fisiológico de los organismos.

En consecuencia, las especies señaladas en este apartado se consideran potenciales con base en la unidad cartográfica observada y en los registros existentes para la laguna arrecifal de Puerto Morelos. No se asigna una identidad taxonómica definitiva a cada polígono cuando ésta no puede derivarse directamente de la clasificación temática.

III.2.2.3.2.2 Unidades bentónicas identificadas

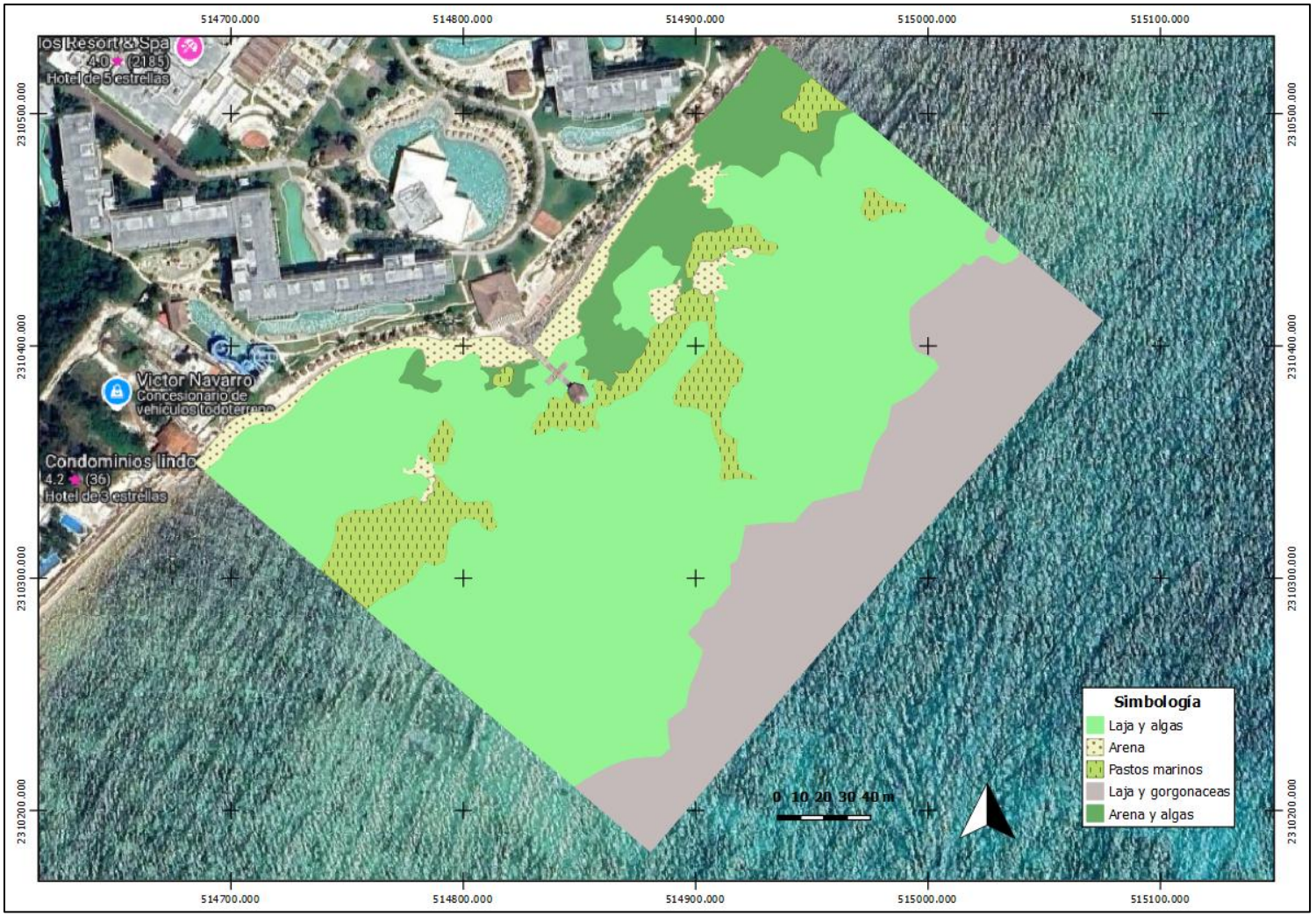


Figura 33. Caracterización de la vegetación sumergida y de las unidades bentónicas presentes en el Área del Proyecto.

La figura muestra que el AP se encuentra dominado por la unidad de laja con algas, acompañada por superficies de arena con algas en la zona próxima a la línea de costa, parches discontinuos de arena y pastos marinos, así como una franja de laja con gorgonáceos hacia el límite oriental.

Tabla 36. Unidades bentónicas identificadas en el Área del Proyecto.

Unidad bentónica	Descripción ambiental	Vegetación o componente biológico potencial	Sensibilidad relativa
Laja con algas	Sustrato calcáreo consolidado con cobertura algal variable	Algas filamentosas, costrosas, foliosas y pequeños talos de macroalgas	Media
Arena	Sedimento no consolidado con cobertura vegetal superficial baja o no dominante	Microfitobentos, algas dispersas y brotes aislados de pastos no detectables a la escala cartográfica	Media-baja
Pastos marinos	Parches de fanerógamas marinas establecidos sobre sedimentos	Potencialmente *Thalassia testudinum*, *Syringodium filiforme* y/o *Halodule wrightii*	Alta
Laja con gorgonáceos	Sustrato consolidado con presencia de octocorales y otros organismos sésiles	Algas bentónicas asociadas con gorgonáceos, esponjas e hidrozoarios	Alta
Arena con algas	Sedimento arenoso con cobertura discontinua de macroalgas	Algas rizofíticas de *Halimeda*, *Penicillus*, *Udotea*, *Rhipocephalus* o *Avrainvillea*	Media

La sensibilidad asignada es relativa y se utiliza para orientar la prevención de impactos. La clasificación "arena" no significa que el fondo carezca de vida, pues puede sostener organismos microscópicos, infauna, macroalgas dispersas o brotes de vegetación que no constituyen la cobertura dominante.

Laja con algas

La laja con algas constituye la unidad con mayor continuidad dentro del AP. Corresponde a un sustrato calcáreo consolidado sobre el cual pueden desarrollarse algas costrosas, filamentosas, foliosas y calcáreas.

Las macroalgas potenciales se determinaron con base en los taxones documentados para la laguna arrecifal de Puerto Morelos y en su afinidad por fondos consolidados. Entre los géneros con posibilidad de presentarse se encuentran:

- *Caulerpa* spp.
- *Halimeda* spp.
- *Dictyota* spp.
- *Lobophora* spp.
- *Laurencia* spp.
- *Stypopodium* spp.

- *Sargassum* spp.
- *Turbinaria* spp.

También pueden existir algas coralinas costrosas, cianobacterias y tapetes algales de baja altura. Estas comunidades pueden constituir alimento para peces herbívoros y pequeños invertebrados, además de participar en los procesos de producción primaria y colonización del sustrato. La cobertura algal sobre laja puede variar considerablemente entre temporadas. Por ello, la categoría representa la condición dominante observada durante la caracterización y no supone una composición o cobertura invariable.

Arena y arena con algas

Los fondos arenosos se distribuyen principalmente como parches próximos a la costa y espacios intercalados entre la laja, las praderas y otras unidades. En los sectores clasificados como arena con algas, la cobertura potencial corresponde principalmente a macroalgas rizofíticas adaptadas a sedimentos no consolidados.

Tabla 37. Macroalgas potenciales en las unidades de arena con algas y laja con algas.

Grupo	Especie o género potencial	Sustrato preferente	Función ecológica
Chlorophyta	*Halimeda incrassata*	Arena y praderas	Producción de sedimento carbonatado
Chlorophyta	*Halimeda* spp.	Arena y laja	Producción primaria y carbonatos
Chlorophyta	*Penicillus capitatus*	Arena	Estabilización localizada y producción de carbonato
Chlorophyta	*Rhipocephalus phoenix*	Arena	Alga rizofítica calcárea
Chlorophyta	*Udotea flabellum*	Arena	Producción primaria y aporte carbonatado
Chlorophyta	*Avrainvillea* spp.	Arena y bordes de praderas	Retención localizada de sedimentos
Chlorophyta	*Caulerpa* spp.	Arena y laja	Cobertura vegetativa mediante estolones
Ochrophyta	*Dictyota* spp.	Principalmente laja	Recurso alimenticio y cobertura bentónica
Ochrophyta	*Lobophora* spp.	Laja y pedacería coralina	Cobertura de sustratos consolidados
Ochrophyta	*Stypopodium* spp.	Laja	Macroalga foliosa
Rhodophyta	*Laurencia* spp.	Laja, arena estabilizada y praderas	Complejidad del microhábitat

Grupo	Especie o género potencial	Sustrato preferente	Función ecológica
Rhodophyta	Algas coralinas costrosas	Laja	Consolidación superficial del sustrato

La identidad de estas especies se considera potencial. Su inclusión se sustenta en el Programa de Manejo del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos y en estudios de vegetación marina realizados en la laguna arrecifal.

Pastos marinos

La caracterización de campo identifica parches discontinuos de pastos marinos dentro del AP. En Puerto Morelos se encuentran documentadas tres especies: *Thalassia testudinum*, *Syringodium filiforme* y *Halodule wrightii*. La capa temática no distingue entre estas especies, por lo que las tres se consideran potenciales.

Tabla 38. Pastos marinos potenciales dentro del Área del Proyecto.

Especie	Nombre común	Características de reconocimiento	Condición potencial en el AP
Thalassia testudinum	Pasto tortuga	Hojas planas y relativamente anchas; rizomas robustos	Potencialmente dominante en parches maduros
Syringodium filiforme	Pasto manatí	Hojas cilíndricas, delgadas y alargadas	Potencial en parches mixtos o monoespecíficos
Halodule wrightii	Pasto bajo	Hojas angostas y de menor talla	Potencial en bordes, claros o fondos sujetos a movilidad

Estas especies se desarrollan mediante redes de rizomas y raíces bajo el sedimento. En consecuencia, la extensión funcional de un parche puede ser mayor que la cobertura foliar observada superficialmente. El enterramiento directo, la compactación y el cubrimiento prolongado pueden afectar tanto las hojas como las estructuras subterráneas responsables de la regeneración vegetativa.

En contraste, la distribución fragmentada y la dinámica natural de los pastos permiten cambios de cobertura mediante expansión de rizomas, recolonización de claros o pérdida temporal de haces. Por ello, las superficies representadas corresponden a la expresión espacial observada durante el trabajo de campo y no deben considerarse estáticas.

Laja con gorgonáceos

La unidad de laja con gorgonáceos se localiza principalmente hacia la porción oriental del área caracterizada. Aunque los gorgonáceos pertenecen a la fauna bentónica y serán descritos con mayor detalle en el apartado correspondiente, esta unidad se incorpora a la caracterización porque puede presentar macroalgas asociadas y representa un sustrato de sensibilidad elevada.

Los géneros potenciales de gorgonáceos incluyen *Antillogorgia*, *Eunicea*, *Plexaura* y *Pseudoplexaura*. Entre ellos pueden desarrollarse algas costrosas, filamentosas y pequeñas macroalgas. La colocación de estructuras sobre esta unidad debe evitarse debido a la susceptibilidad de los organismos sésiles al aplastamiento, desprendimiento y sedimentación.

III.2.2.3.2.3 Relación espacial con las obras del Proyecto

Para determinar la interacción directa entre la vegetación sumergida y las obras se superpusieron los polígonos de los geotubos, barreras de contención, barreras rompeolas y áreas de vertido con la capa vectorial de caracterización bentónica.

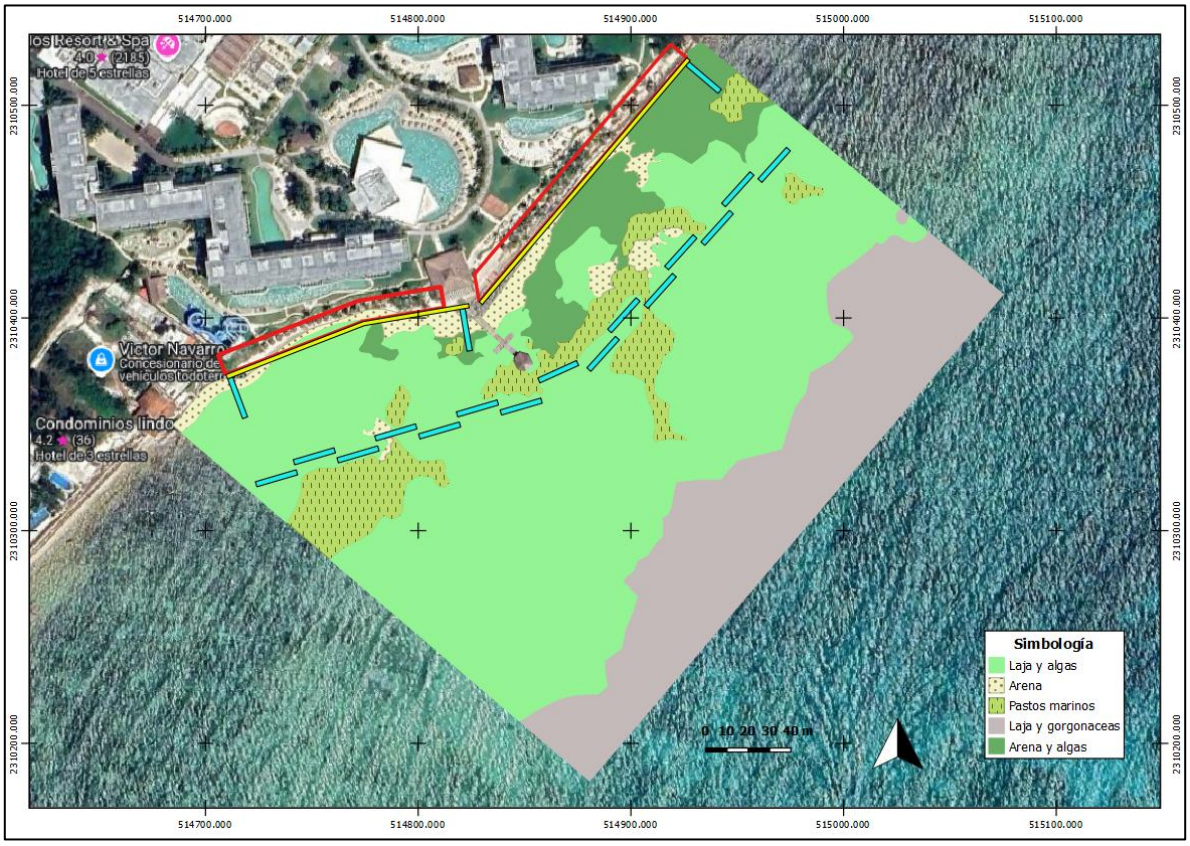


Figura 34. Superposición de las obras del Proyecto con las unidades de vegetación sumergida y coberturas bentónicas.

El análisis de intersección espacial muestra que la mayor parte de las obras se ubica sobre laja con algas, arena o arena con algas. No se identificó superposición directa de los polígonos constructivos con la unidad de laja con gorgonáceos.

La coincidencia con la unidad cartografiada como pastos marinos se limita a dos elementos:

- Geotubo 11: 3.760 m².
- Geotubo 14: 6.750 m².

La superficie conjunta de coincidencia es de 10.510 m².

III.2.2.3.2.4 Manejo de la interacción con pastos marinos

La interacción identificada con los geotubos 11 y 14 será atendida mediante el Programa de Manejo y Restauración de Vegetación Marina. La estrategia seguirá la jerarquía de mitigación:

1. Evitar.
2. Minimizar.
3. Rescatar y reubicar.
4. Restaurar.
5. Monitorear y aplicar acciones correctivas.

En primera instancia se realizará la microlocalización de ambos geotubos para determinar si es técnicamente posible ajustar su posición y reducir o eliminar la coincidencia con los parches. Los ajustes deberán respetar la funcionalidad hidráulica y estructural del sistema, sin trasladar la ocupación hacia gorgonáceos, u otras comunidades de mayor sensibilidad.

Cuando la interacción no pueda evitarse completamente, se delimitará la superficie efectiva de ocupación y se rescatarán las unidades vegetativas viables antes de colocar el geotubo, tapete antisocavación o elementos de anclaje. El rescate comprenderá haces con hojas, raíces, rizomas y sedimento asociado suficiente para reducir el daño mecánico y favorecer su establecimiento.

El material rescatado será reubicado en áreas receptoras que presenten:

- La misma especie o asociación vegetal.
- Profundidad y penetración de luz semejantes.
- Sedimento compatible.
- Régimen hidrodinámico comparable.
- Ausencia de obras o tránsito recurrente.
- Condiciones que no generen daño a vegetación preexistente.
- Cercanía ecológica suficiente para mantener la conectividad del parche.

La reubicación no consistirá en colocar unidades vegetativas sobre una pradera densa y conservada, pues ello podría ocasionar competencia o afectación adicional. Se privilegiarán claros naturales, bordes degradados o superficies con condiciones aptas para favorecer la expansión de la vegetación.

III.2.2.3.3 Fauna marina en la Región Ecológica y el Área de Influencia

La fauna marina de la Región Ecológica (RE) y del Área de Influencia (AI) forma parte del sistema lagunar-arrecifal de Puerto Morelos. Su composición y distribución están determinadas por la heterogeneidad del fondo, la profundidad, el oleaje, las corrientes, la disponibilidad de refugios y la conectividad entre los fondos arenosos, las praderas de pastos marinos, las comunidades de macroalgas, la laja calcárea, los octocorales y las formaciones coralinas.

La RE comprende e integra una porción terrestre y otra marina. El AI, delimitada mediante la microcelda litoral, incluye la franja marina dentro de la cual se desarrollan los procesos locales de circulación, oleaje, transporte de sedimentos y conectividad entre la playa y la laguna arrecifal.

El análisis de la fauna en estas escalas tiene como finalidad establecer el contexto biológico regional dentro del cual se encuentra el Proyecto. Por ello, las especies incluidas en este apartado corresponden a registros documentados o de presencia potencial para el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, la laguna arrecifal y los ambientes marinos del norte de Quintana Roo. Su inclusión no implica que todas se encuentren permanentemente dentro del AP.

III.2.2.3.3.1 Diversidad regional documentada

El Programa de Manejo del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos registró, hasta junio de 1999, 669 especies de fauna marina pertenecientes a 75 órdenes. La lista comprendió corales escleractíneos, gorgonáceos, hidrozoarios, esponjas, anélidos, crustáceos, equinodermos, moluscos, peces, reptiles y mamíferos marinos.

El propio Programa de Manejo señaló que el inventario no estaba completo y que la riqueza aumentaría conforme se realizaran nuevos estudios. En consecuencia, las cifras deben interpretarse como una línea base histórica de diversidad y no como el número total o actual de especies del Parque Nacional.

Tabla 39. Diversidad de fauna marina documentada históricamente para el Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos.

Grupo	Número de órdenes	Número de especies
Corales escleractíneos	Incluidos en Cnidaria	41
Gorgonáceos	Incluidos en Cnidaria	32
Hidrozoarios	Incluidos en Cnidaria	64
Otros cnidarios	Incluidos en Cnidaria	16
Cnidarios, total de órdenes	**14**	**153**
Esponjas	7	20
Anélidos	1	10
Crustáceos	7	172
Equinodermos	10	31
Moluscos	12	33
Peces	Incluidos en Chordata	226
Reptiles	Incluidos en Chordata	3
Mamíferos	Incluidos en Chordata	21
Cordados, total de órdenes	**24**	**250**
Total	**75**	**669**

Fuente: Programa de Manejo del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos. Cifras correspondientes a los registros disponibles hasta junio de 1999.

Los estudios desarrollados posteriormente han ampliado el conocimiento sobre corales, peces, crustáceos, moluscos y otros grupos, además de documentar cambios en la composición y condición de las comunidades. Por ello, la tabla anterior se emplea como antecedente histórico y no como inventario actualizado.

El Parque Nacional contiene ambientes marinos de alta riqueza y heterogeneidad, entre los que destacan la laguna arrecifal, la zona posterior del arrecife, la cresta, el frente arrecifal y la plataforma arenosa. Cada ambiente sostiene conjuntos faunísticos diferentes, aunque conectados entre sí por el desplazamiento de organismos y el intercambio de materia y energía.

III.2.2.3.3.2 Distribución potencial por ambientes

La cartografía bentónica presentada en el apartado anterior indica que la RE y el AI contienen comunidades de pastos marinos, asociaciones de pastos y macroalgas, sedimentos, estructuras coralinas, octocorales, fondos rocosos y pedacería de coral. Esta heterogeneidad genera distintos hábitats para la fauna:

Tabla 40. Relación entre las coberturas bentónicas y la fauna marina potencial.

Cobertura o ambiente	Fauna potencialmente asociada	Función principal
Comunidad de pastos marinos	Peces juveniles, camarones, cangrejos, langostas juveniles, moluscos, erizos, estrellas de mar y tortuga verde	Alimentación, refugio y crianza
Pastos marinos y macroalgas	Peces pequeños, gasterópodos, anfípodos, isópodos, tanaidáceos y equinodermos	Refugio estructural y alimentación
Sedimentos arenosos	Poliquetos, moluscos bivalvos, crustáceos excavadores, pepinos de mar, rayas y peces bentónicos	Enterramiento, alimentación y desplazamiento
Macroalgas	Crustáceos pequeños, moluscos, peces herbívoros y juveniles	Alimentación, fijación y refugio
Tocones y pedacería de coral	Esponjas, hidrozoarios, gorgonáceos, peces pequeños, erizos y crustáceos	Sustrato para fijación y refugios
Octocorales	Crustáceos asociados, moluscos, peces juveniles y organismos epibiontes	Complejidad tridimensional y refugio
Octocorales y corales	Peces arrecifales, esponjas, crustáceos y equinodermos	Refugio, alimentación y reproducción
Estructura coralina	Corales, peces arrecifales, langostas, moluscos, erizos, tortugas y elasmobranquios	Alta complejidad y diversidad
Arrecife rocoso	Peces, gorgonáceos, corales aislados, esponjas y equinodermos	Sustrato consolidado y refugio

Las praderas de pastos marinos poseen especial relevancia como áreas de crianza. Los juveniles de diversas especies pueden utilizar las hojas y rizomas para refugiarse y desplazarse posteriormente hacia formaciones arrecifales al alcanzar etapas de mayor tamaño. Esta conectividad explica que la conservación de los pastos influya también en la estructura de las comunidades arrecifales.

Cnidarios

Los cnidarios incluyen corales pétreos, hidrocorales, octocorales, anémonas y zoántidos. Los corales escleractíneos son los principales constructores de la estructura arrecifal, mientras que los gorgonáceos y otros organismos sésiles aumentan la complejidad tridimensional del fondo.

El Programa de Manejo registró históricamente 41 especies de corales escleractíneos y 32 especies de gorgonáceos. En la laguna arrecifal, los corales se distribuyen principalmente sobre afloramientos de laja, pedacería coralina y otros fondos consolidados; hacia la barrera arrecifal aumentan su cobertura, diversidad y complejidad.

Entre las especies dominantes o representativas documentadas para Puerto Morelos se encuentran *Acropora palmata*, *Acropora cervicornis*, *Orbicella annularis*, *Porites astreoides*, *Siderastrea siderea*, *Agaricia agaricites* y *Pseudodiploria strigosa*.

Tabla 41. Cnidarios de presencia potencial en la RE y el AI.

Grupo	Familia	Especie o género	Nombre común o tipo
Coral escleractíneo	Acroporidae	*Acropora palmata*	Coral cuerno de alce
Coral escleractíneo	Acroporidae	*Acropora cervicornis*	Coral cuerno de ciervo
Coral escleractíneo	Acroporidae	*Acropora prolifera*	Coral híbrido
Coral escleractíneo	Agariciidae	*Agaricia agaricites*	Coral hoja o lechuga
Coral escleractíneo	Agariciidae	*Agaricia tenuifolia*	Coral lechuga
Coral escleractíneo	Faviidae	*Colpophyllia natans*	Coral cerebro gigante
Coral escleractíneo	Faviidae	*Diploria labyrinthiformis*	Coral cerebro acanalado
Coral escleractíneo	Faviidae	*Pseudodiploria strigosa*	Coral cerebro simétrico
Coral escleractíneo	Faviidae	*Manicina areolata*	Coral rosa o coral de vida libre
Coral escleractíneo	Meandrinidae	*Dendrogyra cylindrus*	Coral pilar u organillo
Coral escleractíneo	Merulinidae	*Orbicella annularis*	Coral estrella lobulado
Coral escleractíneo	Merulinidae	*Orbicella faveolata*	Coral estrella montañoso
Coral escleractíneo	Poritidae	*Porites astreoides*	Coral mostaza
Coral escleractíneo	Poritidae	*Porites porites*	Coral de dedos
Coral escleractíneo	Siderastreidae	*Siderastrea siderea*	Coral estrella masivo
Hidrocoral	Milleporidae	*Millepora alcicornis*	Coral de fuego ramificado
Hidrocoral	Milleporidae	*Millepora complanata*	Coral de fuego laminar
Octocoral	Gorgoniidae	*Antillogorgia americana*	Pluma de mar
Octocoral	Gorgoniidae	*Antillogorgia bipinnata*	Pluma de mar bipinnada
Octocoral	Plexauridae	*Eunicea* spp.	Gorgonias ramificadas
Octocoral	Plexauridae	*Plexaura homomalla*	Abanico o coral organillo
Octocoral	Plexauridae	*Pseudoplexaura* spp.	Gorgonias
Zoántido	Sphenopidae	*Palythoa caribaeorum*	Zoántido colonial
Anémona	Stichodactylidae	*Stichodactyla helianthus*	Anémona sol
Anémona	Actiniidae	*Condylactis gigantea*	Anémona gigante del Caribe

La tabla representa especies potenciales para la RE y el AI. La presencia de estructuras coralinas y octocorales en la cartografía regional respalda su posible ocurrencia dentro de estas unidades, pero no permite establecer la localización de cada especie.

Las comunidades coralinas de Puerto Morelos presentan una elevada variación espacial y temporal. Su cobertura y condición se relacionan con el tipo de sustrato, energía hidrodinámica, enfermedades, blanqueamiento, huracanes, sedimentación, disponibilidad de herbívoros y calidad del agua. Estudios realizados en el Parque Nacional han documentado diferencias importantes entre sitios y cambios en su estado ecológico a través del tiempo.

Esponjas y otros organismos sésiles

Las esponjas se desarrollan sobre laja, pedacería coralina, estructuras arrecifales, raíces de manglar y otros sustratos consolidados. Algunas especies presentan formas incrustantes, mientras que otras forman tubos, masas o ramas.

Estos organismos participan en la filtración del agua, procesamiento de materia orgánica, reciclaje de nutrientes y generación de microhábitats. También pueden mantener asociaciones con crustáceos, anélidos y otros invertebrados.

Tabla 42. Esponjas y organismos sésiles de presencia potencial.

Grupo	Especie o género potencial	Tipo o función
Porifera	*Aplysina* spp.	Esponjas tubulares o ramificadas
Porifera	*Ircinia* spp.	Esponjas masivas
Porifera	*Cliona* spp.	Esponjas perforadoras
Porifera	*Niphates* spp.	Esponjas tubulares
Porifera	*Xestospongia muta*	Esponja barril gigante
Porifera	*Callyspongia* spp.	Esponjas tubulares
Bryozoa	Diversos taxones coloniales	Organismos incrustantes y filtradores
Ascidiacea	Ascidias solitarias y coloniales	Filtradores asociados con fondos consolidados
Polychaeta	Sabélidos y serpúlidos	Gusanos tubícolas asociados con roca, coral y pastos

El Programa de Manejo reportó históricamente 20 especies de esponjas y 10 especies de anélidos. Estas cifras representan una aproximación inicial, debido a que los organismos pequeños, crípticos o infaunales suelen encontrarse subrepresentados en inventarios generales.

Crustáceos

Los crustáceos constituyen uno de los grupos más diversos de la fauna marina regional. El Programa de Manejo registró 172 especies, incluyendo organismos planctónicos, bentónicos, excavadores, epibiontes y habitantes de praderas y arrecifes.

Los estudios sobre tanaidáceos y otros peracáridos efectuados en la laguna arrecifal han demostrado que las praderas de *Thalassia testudinum*, los fondos arenosos y los sustratos con macroalgas sostienen comunidades diversas de pequeños crustáceos.

Tabla 43. Crustáceos de presencia potencial en la RE y el AI.

Familia o grupo	Especie o taxón	Nombre común	Ambiente potencial
Palinuridae	*Panulirus argus*	Langosta espinosa del Caribe	Pastos, laja, pedacería coralina y arrecife
Palinuridae	*Panulirus guttatus*	Langosta pinta	Formaciones arrecifales
Portunidae	*Callinectes* spp.	Jaibas	Arena, pastos y ambientes lagunares
Palaemonidae	*Periclimenes* spp.	Camarones asociados	Anémonas, gorgonáceos y arrecife
Stenopodidae	*Stenopus hispidus*	Camarón limpiador bandeado	Oquedades y sustratos arrecifales
Alpheidae	*Alpheus* spp.	Camarones pistola	Arena, pastos y cavidades
Diogenidae	*Calcinus* spp.	Cangrejos ermitaños	Laja, pedacería coralina y arrecife
Majidae y Epialtidae	Diversos géneros	Cangrejos araña	Macroalgas, gorgonáceos y arrecife
Amphipoda	Diversos taxones	Anfípodos	Pastos, macroalgas y sedimentos
Tanaidacea	Diversos taxones	Tanaidáceos	Pastos marinos, algas y fondos arenosos
Isopoda	Diversos taxones	Isópodos marinos	Sedimentos, vegetación y organismos sésiles

La laguna arrecifal funciona como área de crianza para la langosta espinosa del Caribe (*Panulirus argus*), cuyos juveniles utilizan praderas, macroalgas y refugios antes de desplazarse hacia ambientes arrecifales de mayor profundidad.

Moluscos

Los moluscos habitan sobre la vegetación, dentro de los sedimentos, en superficies consolidadas y en cavidades arrecifales. Incluyen gasterópodos herbívoros o carnívoros, bivalvos filtradores, quitones, cefalópodos y especies excavadoras.

Tabla 44. Moluscos de presencia potencial en la RE y el AI.

Familia o grupo	Especie	Nombre común	Ambiente potencial
Strombidae	*Aliger gigas*[1]	Caracol rosado	Pastos marinos, arena y fondos mixtos

Familia o grupo	Especie	Nombre común	Ambiente potencial
Cassidae	*Cassis tuberosa*	Casco real o caracol casco	Arena y praderas
Fasciolariidae	*Triplofusus giganteus*[2]	Caracol tulipán gigante	Arena, pastos y fondos mixtos
Fasciolariidae	*Fasciolaria tulipa*	Caracol tulipán	Arena, pastos y sustratos lagunares
Tegulidae	*Cittarium pica*	Burgao o caracol cigua	Laja y sustratos rocosos
Pteriidae	*Pinctada imbricata*	Ostra perlera	Sustratos consolidados
Lucinidae	*Codakia orbicularis*	Almeja blanca	Sedimentos de praderas
Arcidae	*Arca* spp.	Arcas	Roca, coral y sustratos duros
Octopodidae	*Octopus* spp.	Pulpos	Cavidades, laja y arrecife
Polyplacophora	Diversos taxones	Quitones	Sustratos rocosos

[1] La especie ha sido registrada históricamente como *Strombus gigas* y posteriormente como *Lobatus gigas*. La nomenclatura taxonómica reciente reconoce *Aliger gigas*.
[2] Parte de la literatura histórica utiliza el nombre *Pleuroploca gigantea*.

El Programa de Manejo registró 33 especies de moluscos y señaló que *Cassis tuberosa* y *Fasciolaria tulipa* podían ser localmente abundantes. También reconoció la reducción histórica de la abundancia del caracol rosado en la laguna arrecifal.

Los estudios posteriores han incrementado el número de especies documentadas para Puerto Morelos, especialmente entre los gasterópodos y bivalvos, lo que confirma que el inventario original representaba solamente una parte de la diversidad regional.

Equinodermos

Los equinodermos intervienen en procesos de herbivoría, bioturbación, remoción de materia orgánica y reciclaje de nutrientes. Se distribuyen sobre arena, pastos marinos, laja y arrecifes.

Tabla 45. Equinodermos de presencia potencial en la RE y el AI.

Grupo	Especie	Nombre común	Ambiente potencial
Asteroidea	*Oreaster reticulatus*	Estrella cojín	Arena y praderas de pastos
Asteroidea	*Linckia guildingii*	Estrella de mar	Laja y arrecife
Echinoidea	*Diadema antillarum*	Erizo negro de espinas largas	Laja y arrecife
Echinoidea	*Echinometra viridis*	Erizo perforador	Sustratos consolidados y arrecife
Echinoidea	*Echinometra lucunter*	Erizo de roca	Laja y arrecife somero
Echinoidea	*Tripneustes ventricosus*	Erizo blanco	Pastos marinos y arena
Echinoidea	*Lytechinus variegatus*	Erizo verde	Praderas y fondos arenosos
Holothuroidea	*Holothuria mexicana*	Pepino de mar	Arena, pastos y arrecife

Grupo	Especie	Nombre común	Ambiente potencial
Holothuroidea	*Isostichopus badionotus*	Pepino de mar café	Arena y fondos arrecifales
Ophiuroidea	Diversos taxones	Estrellas frágiles	Esponjas, laja, pastos y arrecife

El Programa de Manejo registró 31 especies de equinodermos y destacó la presencia de *Oreaster reticulatus* en la laguna arrecifal. La estrella cojín, los erizos y los pepinos de mar pueden ser particularmente sensibles a la extracción, manipulación y alteración del fondo.

El erizo *Diadema antillarum* posee especial importancia ecológica por su función herbívora. La especie sufrió mortalidades masivas en el Caribe durante 1983-1984 y nuevamente se han documentado episodios regionales de mortalidad, lo que ha reducido su función en el control de macroalgas.

Ictiofauna

Los peces constituyen el grupo de vertebrados marinos con mayor riqueza documentada en el Programa de Manejo, con 226 especies registradas históricamente. Su distribución se encuentra fuertemente relacionada con la conectividad entre manglar, pastos marinos, fondos arenosos y arrecifes.

La laguna arrecifal funciona como área de alimentación, protección y crianza para numerosas especies. El Programa de Manejo señala como frecuentes o abundantes a góbidos, mojarras, sardinas, peces cofre, pargos, jureles y roncos.

Los estudios ictiofaunísticos posteriores han confirmado una elevada diversidad de peces en praderas, fondos rocosos, áreas próximas a la costa y estructuras arrecifales de Puerto Morelos.

Tabla 46. Peces de presencia potencial en la RE y el AI.

Familia	Especie o género	Nombre común	Ambiente potencial
Acanthuridae	*Acanthurus coeruleus*	Cirujano azul	Laja, macroalgas y arrecife
Acanthuridae	*Acanthurus chirurgus*	Cirujano rayado	Pastos, laja y arrecife
Balistidae	*Balistes vetula*	Pez ballesta reina	Arrecife y fondos consolidados
Carangidae	*Caranx bartholomaei*	Jurel amarillo	Laguna y borde arrecifal
Carangidae	*Caranx crysos*	Cojinuda o jurel azul	Laguna y aguas abiertas
Carangidae	*Caranx ruber*	Jurel bar jack	Arrecife y columna de agua
Gerreidae	*Gerres cinereus*	Mojarra blanca	Arena, pastos y laguna
Gerreidae	*Eucinostomus* spp.	Mojarras	Fondos arenosos y praderas
Gobiidae	Diversas especies	Gobios	Arena, pastos, laja y refugios
Haemulidae	*Haemulon flavolineatum*	Ronco francés	Pastos y arrecife

Familia	Especie o género	Nombre común	Ambiente potencial
Haemulidae	*Haemulon sciurus*	Ronco boquidorado	Pastos, laja y arrecife
Holocentridae	*Holocentrus rufus*	Candil rojo	Cavidades arrecifales
Labridae	*Halichoeres bivittatus*	Doncella rayada	Arena, pastos y arrecife
Labridae	*Thalassoma bifasciatum*	Cabeza azul	Arrecife
Lutjanidae	*Lutjanus analis*	Pargo criollo	Pastos, laguna y arrecife
Lutjanidae	*Lutjanus apodus*	Pargo escolar	Manglar, pastos y arrecife
Lutjanidae	*Lutjanus griseus*	Pargo gris	Manglar, laguna y arrecife
Monacanthidae	*Cantherhines* spp.	Lijas	Pastos, algas y arrecife
Ostraciidae	*Lactophrys* spp.	Vaquitas o peces cofre	Pastos, arena y arrecife
Pomacanthidae	*Holacanthus ciliaris*	Pez ángel reina	Arrecife
Pomacanthidae	*Pomacanthus paru*	Pez ángel francés	Laja y arrecife
Pomacentridae	*Abudefduf saxatilis*	Sargento mayor	Laja y arrecife
Pomacentridae	*Stegastes* spp.	Damiselas	Sustrato consolidado y arrecife
Scaridae	*Scarus iseri*	Loro listado	Pastos y arrecife
Scaridae	*Sparisoma aurofrenatum*	Loro manchado	Pastos, algas y arrecife
Scaridae	*Sparisoma viride*	Loro semáforo	Arrecife
Serranidae	*Cephalopholis fulva*	Cabrilla mantequilla	Arrecife
Serranidae	*Epinephelus striatus*	Mero o cherna criolla	Formaciones arrecifales
Sphyraenidae	*Sphyraena barracuda*	Barracuda	Laguna, pastos y borde arrecifal
Tetraodontidae	*Canthigaster rostrata*	Pez globo nariz afilada	Pastos y arrecife

Los peces herbívoros de las familias Scaridae, Acanthuridae y Pomacentridae participan en el control de macroalgas y en la dinámica de los sustratos arrecifales. Los pargos, roncos y jureles pueden desplazarse entre la laguna y el arrecife, mientras que mojarras, gobios y peces pequeños utilizan los fondos arenosos y las praderas.

Especies exóticas invasoras

En Puerto Morelos se ha documentado la presencia del pez león, principalmente *Pterois volitans*. Esta especie invasora utiliza arrecifes, laja, cuevas, estructuras artificiales y otros fondos consolidados, donde consume peces y crustáceos nativos.

Tabla 47. Especie marina invasora de presencia potencial.

Familia	Especie	Nombre común	Condición
Scorpaenidae	*Pterois volitans*	Pez león	Especie exótica invasora establecida en el Caribe mexicano

Su inclusión en la lista no implica que se encuentre en el AP, pero sí reconoce su presencia regional y la posibilidad de detectarla durante los recorridos marinos.

Reptiles marinos

Las tortugas marinas pueden utilizar diferentes componentes de la RE y del AI. La tortuga verde se alimenta principalmente en praderas de pastos marinos; la tortuga carey mantiene una relación más estrecha con arrecifes y esponjas; y la tortuga caguama consume moluscos, crustáceos y otros organismos bentónicos.

Tabla 48. Tortugas marinas de presencia potencial en la RE y el AI.

Familia	Especie	Nombre común	Uso potencial del sistema	NOM-059
Cheloniidae	*Chelonia mydas*	Tortuga verde o blanca	Alimentación en pastos, tránsito y posible anidación	P
Cheloniidae	*Caretta caretta*	Tortuga caguama	Alimentación bentónica, tránsito y posible anidación	P
Cheloniidae	*Eretmochelys imbricata*	Tortuga carey	Alimentación y refugio en ambientes arrecifales	P

Las tres especies se encuentran en la categoría "en peligro de extinción" de la NOM-059-SEMARNAT-2010. No se cuenta con avistamientos recientes de tortugas o nidos frente al predio; sin embargo, su ausencia no puede asumirse de manera definitiva debido a la movilidad de estos organismos y a la variación temporal de su presencia.

Condrictios

Los tiburones y rayas pueden transitar por la RE y el AI o utilizar fondos arenosos, praderas y áreas arrecifales. Debido a su movilidad, la mayor parte de los registros tendría carácter ocasional.

Tabla 49. Condrictios de presencia potencial en la RE y el AI.

Familia	Especie	Nombre común	Ambiente potencial
Dasyatidae	*Hypanus americanus*	Raya látigo americana	Arena y praderas
Aetobatidae	*Aetobatus narinari*	Raya águila moteada	Laguna, borde arrecifal y aguas abiertas

Familia	Especie	Nombre común	Ambiente potencial
Ginglymostomatidae	*Ginglymostoma cirratum*	Tiburón nodriza o gata	Arrecife, cuevas y fondos consolidados
Carcharhinidae	*Carcharhinus perezi*	Tiburón arrecifal del Caribe	Arrecifes y aguas abiertas
Carcharhinidae	*Carcharhinus leucas*	Tiburón toro	Presencia regional ocasional

Mamíferos marinos

El Programa de Manejo incluyó históricamente 21 especies de mamíferos marinos para la zona del Parque Nacional. La mayoría posee amplios ámbitos de desplazamiento y su presencia en la laguna somera sería temporal u ocasional.

Tabla 50. Mamíferos marinos de presencia potencial regional.

Familia	Especie	Nombre común	Condición potencial
Delphinidae	*Tursiops truncatus*	Delfín nariz de botella o tonina	Tránsito en aguas costeras y sectores profundos
Delphinidae	*Stenella frontalis*	Delfín moteado del Atlántico	Aguas abiertas de la RE
Delphinidae	*Stenella attenuata*	Delfín moteado pantropical	Presencia ocasional en aguas abiertas
Trichechidae	*Trichechus manatus*	Manatí del Caribe	Presencia regional excepcional; asociado con humedales, canales y praderas

El manatí del Caribe debe considerarse de presencia potencial regional precautoria, no como residente confirmado dentro del AI. Sus movimientos se relacionan principalmente con humedales, lagunas, desembocaduras y áreas con vegetación acuática.

Plancton y organismos microscópicos

El zooplancton y el ictioplancton forman parte esencial de la trama trófica del sistema. Incluyen copépodos, larvas de crustáceos, huevos y larvas de peces, medusas, quetognatos y otros organismos transportados por las corrientes. Los estudios realizados en el norte de Quintana Roo y Puerto Morelos han documentado una comunidad zooplanctónica diversa, influida por el intercambio entre la laguna arrecifal y el mar abierto. Las larvas de peces y crustáceos utilizan las corrientes para dispersarse y reclutar en praderas, fondos lagunares y arrecifes. Debido a su pequeño tamaño y movilidad pasiva, estos organismos no son representados por la cartografía bentónica, pero forman parte de la fauna presente en la columna de agua de la RE y del AI.

Especies en categoría de riesgo

La revisión regional identifica especies marinas potenciales incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010. La presencia real de cada una dependerá del ambiente y temporalidad.

Tabla 51. Especies marinas potenciales de especial interés para la conservación.

Grupo	Especie	Nombre común	Categoría
Coral	*Acropora palmata*	Coral cuerno de alce	Pr
Coral	*Acropora cervicornis*	Coral cuerno de ciervo	Pr
Coral	*Acropora prolifera*	Coral híbrido	Pr
Octocoral	*Plexaura homomalla*	Coral organillo	Pr
Reptil	*Chelonia mydas*	Tortuga verde o blanca	P
Reptil	*Caretta caretta*	Tortuga caguama	P
Reptil	*Eretmochelys imbricata*	Tortuga carey	P
Mamífero	*Trichechus manatus*	Manatí del Caribe	P
Mamífero	*Tursiops truncatus*	Delfín nariz de botella	Pr

P = en peligro de extinción; Pr = sujeta a protección especial.

Las categorías se presentan conforme a la NOM-059-SEMARNAT-2010 y deben interpretarse considerando las actualizaciones taxonómicas. El Programa de Manejo utilizó la NOM-059-ECOL-1994 vigente al momento de su elaboración; por ello, sus categorías históricas no se trasladaron directamente y fueron contrastadas con el instrumento normativo posterior.

III.2.2.3.4 Fauna marina en el Área del Proyecto

Con la finalidad de caracterizar la fauna marina presente en el Área del Proyecto (AP), se realizó un levantamiento mediante observación directa subacuática, con un diseño orientado a representar los principales ambientes bentónicos identificados en el sitio, entre ellos fondos arenosos, laja con cobertura de algas, arena con algas, parches de pastos marinos y sectores de laja con gorgonáceas.

III.2.2.3.4.1 Metodología

El muestreo consistió en el establecimiento de seis transectos lineales, denominados T1 a T6, distribuidos dentro del Área del Proyecto. Cada transecto presentó una longitud aproximada de 65 m, con un esfuerzo lineal acumulado de 390.82 m. Los transectos fueron recorridos mediante observación directa subacuática. Durante cada recorrido se registraron los organismos detectados sobre el fondo, asociados con la vegetación sumergida o presentes en la columna de agua inmediata. Para cada observación se anotó el grupo faunístico, la identidad taxonómica hasta el nivel que permitió su reconocimiento visual, el nombre común, el microhábitat, el intervalo de profundidad y el número de individuos observados. El levantamiento fue de carácter no extractivo, por lo que no se realizaron actividades de captura, colecta, manipulación, marcaje o remoción de organismos. Este procedimiento permitió documentar la fauna presente sin ocasionar alteraciones adicionales sobre los organismos o sus hábitats. Debido a que el muestreo no consideró un ancho fijo de observación a ambos lados de la línea central, los recorridos corresponden a transectos lineales de encuentro visual. En consecuencia, los resultados se expresan como número de individuos observados y abundancia relativa respecto del total registrado, sin considerarse estimaciones de densidad por unidad de superficie.

Las coordenadas de los extremos de cada transecto y sus longitudes calculadas se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 52. Coordenadas y longitud de los transectos utilizados para la caracterización de fauna marina en el Área del Proyecto

Transecto	X inicial	Y inicial	X final	Y final	Longitud aproximada (m)
T1	514729	2310363	514790	2310385	64.84
T2	514758	2310311	514817	2310339	65.29
T3	514905	2310434	514948	2310483	65.19
T4	514891	2310365	514941	2310407	65.30
T5	514866	2310208	514905	2310260	65.00
T6	514993	2310383	515031	2310436	65.22
Total					**390.84**

Nota: coordenadas UTM, zona 16.

La distribución espacial de los transectos permitió abarcar el mosaico de hábitats bentónicos presente en el AP. Los transectos T1, T3 y T4 se ubicaron principalmente sobre fondos de laja con cobertura algal y superficies arenosas adyacentes; T2 atravesó un parche de pastos marinos; mientras que T5 y T6 incluyeron fondos de laja con gorgonáceas y áreas de laja y algas. Esta disposición permitió registrar tanto fauna asociada con sustratos blandos como organismos relacionados con vegetación marina y fondos consolidados.

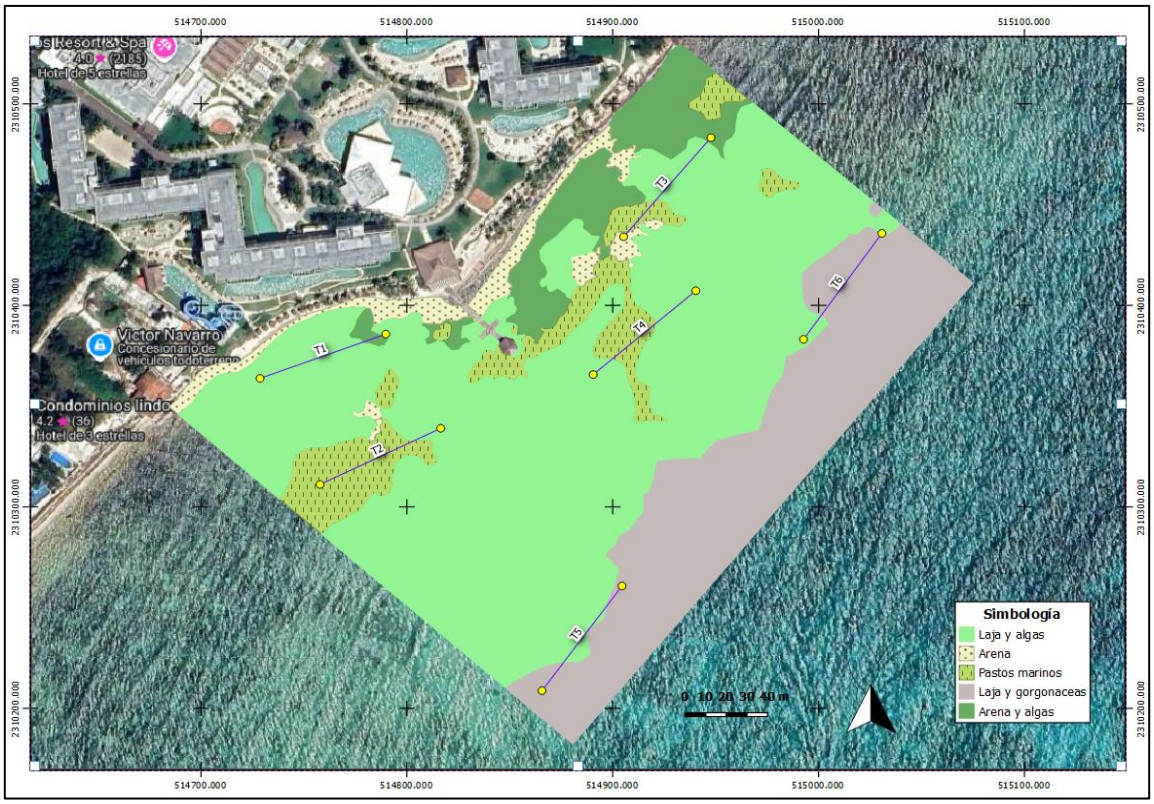


Figura 35. Ubicación de los transectos de observación de fauna marina y unidades bentónicas presentes en el Área del Proyecto.

III.2.2.3.4.2 Composición de la fauna marina

Durante los seis transectos se registraron 18 individuos pertenecientes a 13 taxones, de los cuales 11 fueron determinados a nivel de especie, uno a nivel de género y uno a nivel de familia. Los organismos se distribuyeron en cinco grupos faunísticos: equinodermos, moluscos, crustáceos, elasmobranquios y peces óseos.

Tabla 53. Fauna marina registrada mediante observación directa en el Área del Proyecto.

Grupo faunístico	Especie o taxón	Nombre común	Microhábitat de observación	Profundidad (m)	Individuos	Abundancia relativa (%)	NOM-059
Equinodermos	*Oreaster reticulatus*	Estrella cojín	Fondos arenosos y bordes de pastos marinos	0.5–2.5	3	16.67	No enlistada
Equinodermos	*Tripneustes ventricosus*	Erizo blanco	Entre tallos de *Thalassia testudinum*	0.8–3.0	2	11.11	No enlistada
Equinodermos	*Eucidaris tribuloides*	Erizo lápiz	Rocas sueltas, conchas y restos calcáreos	1.0–3.0	1	5.56	No enlistada
Moluscos	*Aliger gigas*	Caracol rosado o caracol reina	Praderas someras de pastos marinos	1.0–3.0	1	5.56	No enlistada
Moluscos	*Aplysia dactylomela*	Liebre de mar manchada	Zonas con macroalgas y pastos marinos	0.5–2.0	1	5.56	No enlistada
Crustáceos	*Callinectes* sp.	Jaiba	Arena y bordes de pastos marinos	0.3–2.0	2	11.11	No enlistada
Crustáceos	Diogenidae	Cangrejo ermitaño	Conchas vacías sobre arena y rocas	0.2–2.0	1	5.56	No enlistada
Elasmobranquios	*Hypanus americanus*	Raya látigo americana	Enterrada en parches de arena limpia	0.8–3.0	2	11.11	No enlistada
Elasmobranquios	*Urobatis jamaicensis*	Raya amarilla	Fondos blandos y arenosos	0.5–2.5	1	5.56	No enlistada
Peces óseos	*Sparisoma radians*	Loro de pastizal	Praderas de pastos marinos	0.5–3.0	1	5.56	No enlistada
Peces óseos	*Lutjanus synagris*	Pargo biajaiba o pargo rayado	Pastos marinos; ejemplares juveniles o reclutas	1.0–3.0	2	11.11	No enlistada
Peces óseos	*Sphyraena barracuda*	Barracuda común	Columna de agua; ejemplar juvenil solitario	0.8–3.0	1	5.56	No enlistada
Peces óseos	*Haemulon plumierii*	Ronco blanco	Parches de pastos marinos y piedras sueltas	1.0–3.0	1	5.56	No enlistada
Total	**13 taxones**				**18**	**100.00**	

La estrella cojín (*Oreaster reticulatus*) presentó la mayor abundancia observada, con tres individuos, equivalentes al 16.67 % del total. Le siguieron el erizo blanco (*Tripneustes ventricosus*), las jaibas del género *Callinectes*, la raya látigo americana (*Hypanus americanus*) y el pargo biajaiba (*Lutjanus synagris*), con dos individuos cada uno y una representación individual del 11.11 %. Los demás taxones estuvieron representados por un individuo.

Por grupos faunísticos, los equinodermos constituyeron el grupo con mayor abundancia, al concentrar seis individuos y el 33.33 % del total. Los peces óseos representaron el 22.22 %, mientras que los crustáceos y elasmobranquios aportaron, cada uno, el 16.67 %. Finalmente, los moluscos representaron el 11.11 % de los organismos observados.

Tabla 54. Composición de la fauna observada por grupo faunístico

Grupo faunístico	Número de taxones	Individuos observados	Proporción del total (%)
Equinodermos	3	6	33.33
Moluscos	2	2	11.11
Crustáceos	2	3	16.67
Elasmobranquios	2	3	16.67
Peces óseos	4	4	22.22
Total	**13**	**18**	**100.00**

III.2.2.3.4.4 Especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010

Los nombres científicos de las especies registradas fueron contrastados con el Anexo Normativo III de la NOM-059-SEMARNAT-2010 y con su modificación publicada el 14 de noviembre de 2019. También se revisaron los sinónimos taxonómicos relevantes para evitar omisiones derivadas de cambios nomenclaturales.

Como resultado de esta revisión, se determinó que **ninguna de las 11 especies identificadas de manera inequívoca durante los transectos se encuentra incluida en alguna categoría de riesgo de la NOM-059-SEMARNAT-2010**. En el caso de *Callinectes* sp. y de los cangrejos ermitaños de la familia Diogenidae, la determinación visual solo alcanzó los niveles de género y familia, respectivamente, por lo que su condición normativa no puede asignarse de manera definitiva a nivel específico.

La denominación aceptada del caracol rosado es *Aliger gigas*, especie originalmente descrita como *Strombus gigas* y citada también como *Lobatus gigas*. Estos nombres fueron considerados durante la consulta normativa. De acuerdo con el World Register of Marine Species, *Aliger gigas* es el nombre actualmente aceptado. Aunque esta especie no se encuentra enlistada en la NOM-059-SEMARNAT-2010, está sujeta a disposiciones específicas para su conservación, manejo, aprovechamiento y comercio, por lo que su observación dentro del AP deberá considerarse ambientalmente relevante.

III.2.3 Medio socioeconómico

III.2.3.1 Población

La caracterización de la población permite conocer la estructura demográfica y social del territorio en el que se inserta el Proyecto. Debido a que la Región Ecológica y el Área de Influencia comprenden parcialmente el territorio costero del municipio de Puerto Morelos, se tomaron como referencia los resultados del Censo de Población y Vivienda 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), así como la información sociodemográfica disponible para el municipio.

En 2020, el municipio de Puerto Morelos registró una población total de 26,921 habitantes, integrada por 13,090 mujeres y 13,831 hombres. En términos porcentuales, las mujeres representaron el 48.6 % de la población municipal y los hombres el 51.4 %, observándose una distribución relativamente equilibrada entre ambos grupos, con una diferencia de 741 habitantes.

Tabla 55. Composición de la población del municipio de Puerto Morelos, 2020

Indicador	Población	Porcentaje
Población total	26,921	100.0 %
Mujeres	13,090	48.6 %
Hombres	13,831	51.4 %
Población urbana	26,233	97.4 %
Población rural	688	2.6 %
Población indígena	5,731	21.3 %
Población afromexicana o afrodescendiente	800	3.0 %
Población con discapacidad	890	3.3 %

La distribución espacial muestra un municipio predominantemente urbano, debido a que 26,233 habitantes, equivalentes al 97.4 % de la población, residían en localidades urbanas, mientras que únicamente 688 habitantes, correspondientes al 2.6 %, se encontraban en localidades rurales. Esta concentración se relaciona con el crecimiento del centro de población de Puerto Morelos, el desarrollo de infraestructura habitacional y turística y la consolidación del corredor urbano y de servicios asociado con la carretera federal 307.

La densidad de población municipal fue de aproximadamente 25.9 habitantes por kilómetro cuadrado. Aunque este valor puede considerarse relativamente bajo a escala municipal, debe tomarse en cuenta que la población y la infraestructura no se distribuyen uniformemente, sino que se concentran principalmente en la cabecera municipal, las localidades urbanas y el corredor costero, mientras que amplias superficies interiores mantienen coberturas naturales o una ocupación humana reducida.

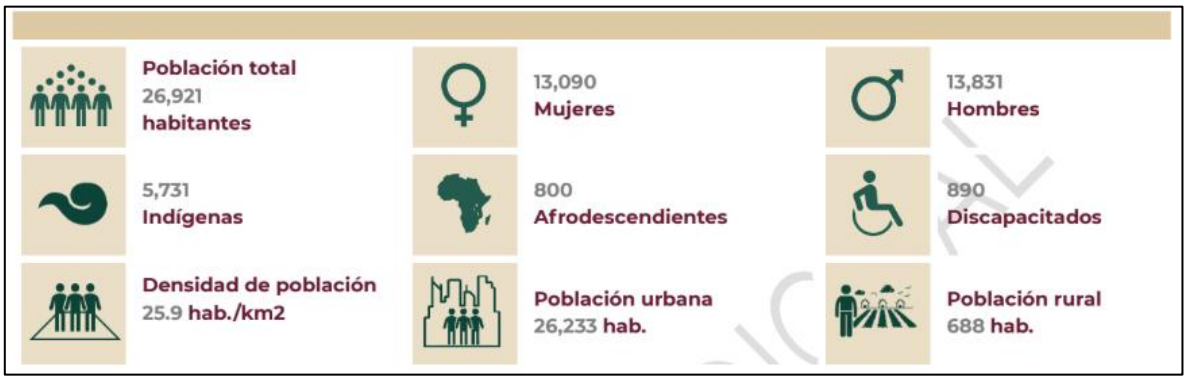


Figura 36. Composición de la población por sexo en el municipio de Puerto Morelos, 2020.

En cuanto a la estructura por edades, los grupos con mayor población fueron los de 30 a 34 años, con 2,715 habitantes; 25 a 29 años, con 2,681 habitantes; y 35 a 39 años, con 2,427 habitantes. En conjunto, estos tres grupos sumaron 7,823 personas, equivalentes al 29.1 % de la población municipal. Esta composición muestra una presencia importante de habitantes en edades económicamente activas, relacionada con la oferta laboral generada por los sectores turístico, hotelero, comercial, de servicios y construcción.

El comportamiento demográfico registrado entre 1990 y 2020 muestra una tendencia sostenida de crecimiento tanto en la población municipal como en la localidad de Puerto Morelos. Este proceso se asocia con la expansión urbana, el desarrollo turístico del corredor norte de Quintana Roo, la generación de empleos y la llegada de población procedente de otras entidades y regiones del país.

La dinámica de crecimiento poblacional incrementa la demanda de vivienda, servicios públicos, movilidad, agua potable, drenaje, recolección de residuos y espacios recreativos. También intensifica la presión sobre los ecosistemas costeros, manglares, humedales, playas, dunas y ambientes marinos. Por esta razón, el crecimiento urbano y turístico debe acompañarse de medidas de ordenamiento territorial, prevención de riesgos y conservación de los servicios ambientales.

Respecto de la composición sociocultural, se reportó una población indígena de 5,731 habitantes, equivalente aproximadamente al 21.3 % de la población municipal. Asimismo, 800 habitantes, correspondientes al 3.0 %, se reconocieron como afromexicanos o afrodescendientes. Estos datos reflejan la diversidad cultural del municipio, influida por la población originaria de la península de Yucatán y por los procesos migratorios asociados con el crecimiento urbano y turístico.

La población con discapacidad ascendió a 890 personas, equivalente aproximadamente al 3.3 % del total municipal. Este grupo debe considerarse en la planeación de infraestructura y espacios de uso público, procurando condiciones de seguridad, accesibilidad y movilidad.

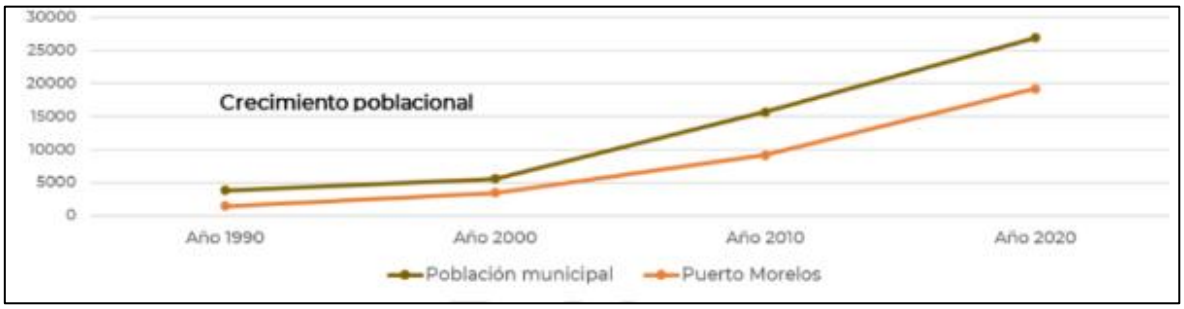


Figura 37. Indicadores sociodemográficos y crecimiento de la población del municipio de Puerto Morelos.

III.2.3.2 Vivienda

La caracterización de la vivienda permite conocer las condiciones de ocupación, disponibilidad de servicios básicos, distribución de espacios y acceso a tecnologías de la población asentada dentro del contexto municipal en el que se encuentra el Proyecto. Para este apartado se utilizaron los resultados del Censo de Población y Vivienda 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), así como la información sociodemográfica disponible para el municipio de Puerto Morelos.
En 2020 se registraron en el municipio 13,757 viviendas particulares, de las cuales 8,735 se encontraban habitadas, equivalentes al 63.5 % del total, mientras que 5,022 viviendas estaban desocupadas, correspondientes al 36.5 %.

La proporción de viviendas desocupadas puede relacionarse con la dinámica inmobiliaria y turística del municipio, caracterizada por la presencia de viviendas de uso temporal, segundas residencias, desarrollos vacacionales e inmuebles en proceso de ocupación o comercialización. No obstante, la información censal disponible no permite atribuir la totalidad de las viviendas desocupadas a una sola causa. El promedio de ocupación fue de 3.08 habitantes por vivienda particular habitada y de 1.12 ocupantes por cuarto, lo cual refleja, en términos generales, una ocupación moderada de los espacios habitacionales.

Tabla 56. Indicadores generales de vivienda en el municipio de Puerto Morelos, 2020

Indicador	Valor
Viviendas particulares totales	13,757
Viviendas particulares habitadas	8,735
Viviendas desocupadas	5,022
Viviendas habitadas respecto del total	63.5 %
Viviendas desocupadas respecto del total	36.5 %
Promedio de ocupantes por vivienda	3.08
Promedio de ocupantes por cuarto	1.12

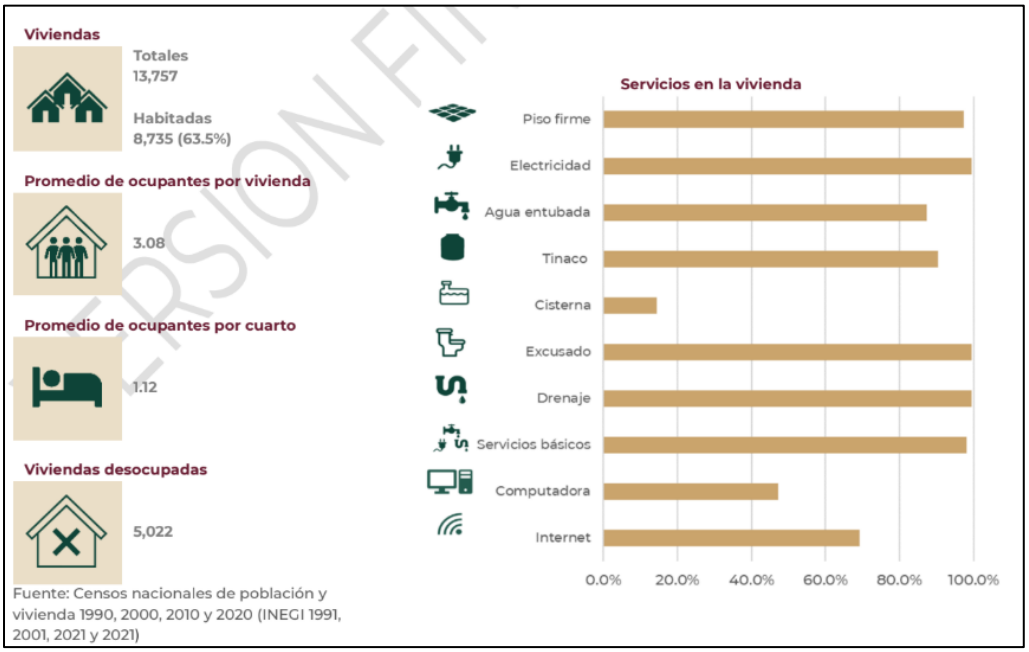


Figura 38. Condiciones de ocupación y disponibilidad de servicios en las viviendas del municipio de Puerto Morelos.

III.2.3.2.1 Cuartos y dormitorios

La distribución de las viviendas particulares habitadas según el número de cuartos muestra que en 2020 predominaron las viviendas con tres cuartos, las cuales representaron el 34.9 % del total. En segundo lugar se encontraron las viviendas con dos cuartos, con una participación del 29.6 %. En conjunto, ambas categorías concentraron aproximadamente el 64.5 % de las viviendas particulares habitadas.

Las viviendas con un cuarto representaron cerca del 14 %; las de cuatro cuartos, aproximadamente el 14 %; mientras que las viviendas con cinco, seis o más cuartos presentaron proporciones menores. Esta distribución muestra el predominio de unidades habitacionales pequeñas y medianas.

Respecto del número de dormitorios, el 51.2 % de las viviendas particulares habitadas contaba con dos dormitorios, mientras que el 37.3 % disponía de un dormitorio. Ambas categorías concentraron el 88.5 % de las viviendas, lo que corresponde con el tamaño promedio de los hogares y con la presencia de unidades habitacionales compactas.

Los porcentajes presentados pueden no sumar exactamente 100 %, debido a la existencia de registros no especificados y al procedimiento de estimación utilizado en el cuestionario ampliado del Censo de Población y Vivienda.

Tabla 57. Principales características de cuartos y dormitorios en las viviendas, 2020.

Característica	Porcentaje
Viviendas con tres cuartos	34.9 %
Viviendas con dos cuartos	29.6 %
Viviendas con dos dormitorios	51.2 %
Viviendas con un dormitorio	37.3 %

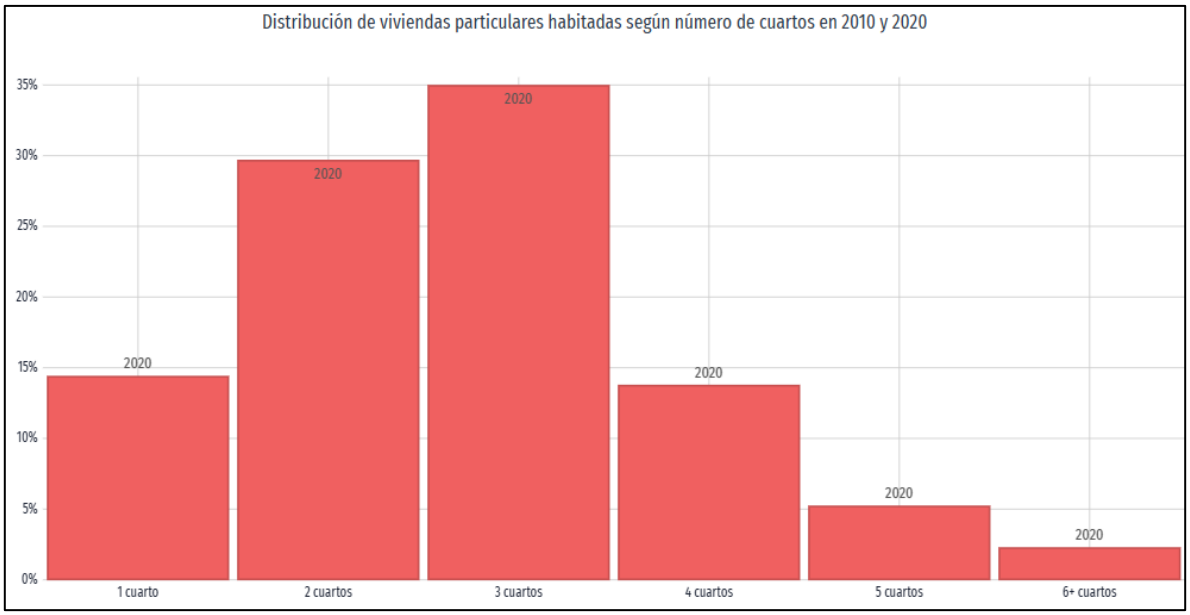


Figura 39. Distribución de las viviendas particulares habitadas según número de cuartos y dormitorios en Puerto Morelos, 2020.

III.2.3.2.2 Servicios básicos en la vivienda

Las viviendas particulares habitadas del municipio presentan, en términos generales, una cobertura elevada de servicios básicos. La información disponible muestra que la mayor parte cuenta con piso firme, energía eléctrica, agua entubada, excusado, drenaje y equipamiento para el almacenamiento de agua.

La cobertura de energía eléctrica, excusado y drenaje se aproxima a la totalidad de las viviendas habitadas. El acceso al agua entubada también presenta una cobertura elevada, aunque comparativamente menor que la electricidad y el drenaje. Asimismo, una proporción importante de las viviendas dispone de tinaco, mientras que la presencia de cisterna es considerablemente menor.

Estas condiciones reflejan la consolidación urbana de la cabecera municipal y de las principales localidades; sin embargo, la disponibilidad formal de un servicio no necesariamente representa continuidad, suficiencia o calidad homogénea. En un municipio con crecimiento poblacional y

turístico acelerado, la capacidad de las redes de agua potable, drenaje, saneamiento, energía eléctrica y recolección de residuos constituye un elemento relevante para la planeación territorial.

La disponibilidad de drenaje y saneamiento reviste especial importancia ambiental, debido a la naturaleza kárstica de la península de Yucatán y a la conexión existente entre el acuífero, los humedales y el medio marino. El manejo inadecuado de aguas residuales puede favorecer la transferencia de nutrientes, microorganismos y contaminantes hacia los ecosistemas costeros y arrecifales.

III.2.3.2.3 Acceso a tecnologías de información y comunicación

En materia de conectividad, el 91.8 % de las viviendas disponía de teléfono celular, lo que representa el medio de comunicación con mayor cobertura. Por otra parte, el 52.5 % contaba con acceso a internet y el 39.2 % disponía de computadora.

Estos resultados muestran que, aunque existe una alta disponibilidad de telefonía móvil, persiste una diferencia respecto del acceso a internet y equipo de cómputo. Esta condición puede influir en el acceso a información, educación, empleo, trámites, servicios y sistemas de comunicación durante contingencias.

Tabla 58. Acceso a tecnologías en las viviendas del municipio de Puerto Morelos, 2020

Tecnología disponible	Porcentaje de viviendas
Teléfono celular	91.8 %
Acceso a internet	52.5 %
Computadora	39.2 %

III.2.3.3 Empleo

El análisis del empleo permite conocer las condiciones generales de participación económica, ocupación, desocupación, formalidad laboral y remuneración de la población dentro del contexto estatal en el que se encuentra el Proyecto. Debido a que la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) no presenta representatividad estadística para el municipio de Puerto Morelos, se utilizaron como referencia los resultados correspondientes al estado de Quintana Roo durante el primer trimestre de 2026.

La economía de Quintana Roo se encuentra estrechamente relacionada con las actividades turísticas y los servicios asociados, incluyendo alojamiento, preparación de alimentos, comercio, transporte, construcción, mantenimiento y servicios recreativos. Esta estructura económica también se refleja en el municipio de Puerto Morelos, donde la actividad hotelera y turística constituye una fuente relevante de empleos directos e indirectos.

III.2.3.3.1 Población económicamente activa y desocupación

Durante el primer trimestre de 2026, la tasa de participación laboral en Quintana Roo fue de 66.7 %, lo que significa que aproximadamente dos terceras partes de la población en edad de trabajar se encontraban ocupadas o disponibles para incorporarse al mercado laboral. La participación laboral aumentó 0.31 puntos porcentuales respecto del trimestre inmediato anterior, cuando se registró una tasa de 66.4 %. Este comportamiento muestra una recuperación y estabilidad relativa del mercado de trabajo después de la disminución registrada durante 2020, periodo en el que las actividades económicas vinculadas con el turismo y los servicios resultaron particularmente afectadas. La tasa de desocupación durante el primer trimestre de 2026 fue de 2.63 %, equivalente a aproximadamente 27,300 personas. Este valor representó una disminución de 0.35 puntos porcentuales respecto del trimestre anterior, cuando la desocupación alcanzó 2.98 %.

Tabla 59. Principales indicadores laborales de Quintana Roo, primer trimestre de 2026

Indicador	Valor
Tasa de participación laboral	66.7 %
Tasa de desocupación	2.63 %
Personas desocupadas	Aproximadamente 27,300
Población ocupada	Aproximadamente 1.01 millones
Trabajadores formales	57.6 %
Trabajadores informales	42.4 %
Mujeres dentro de la población ocupada	39.8 %
Hombres dentro de la población ocupada	60.2 %

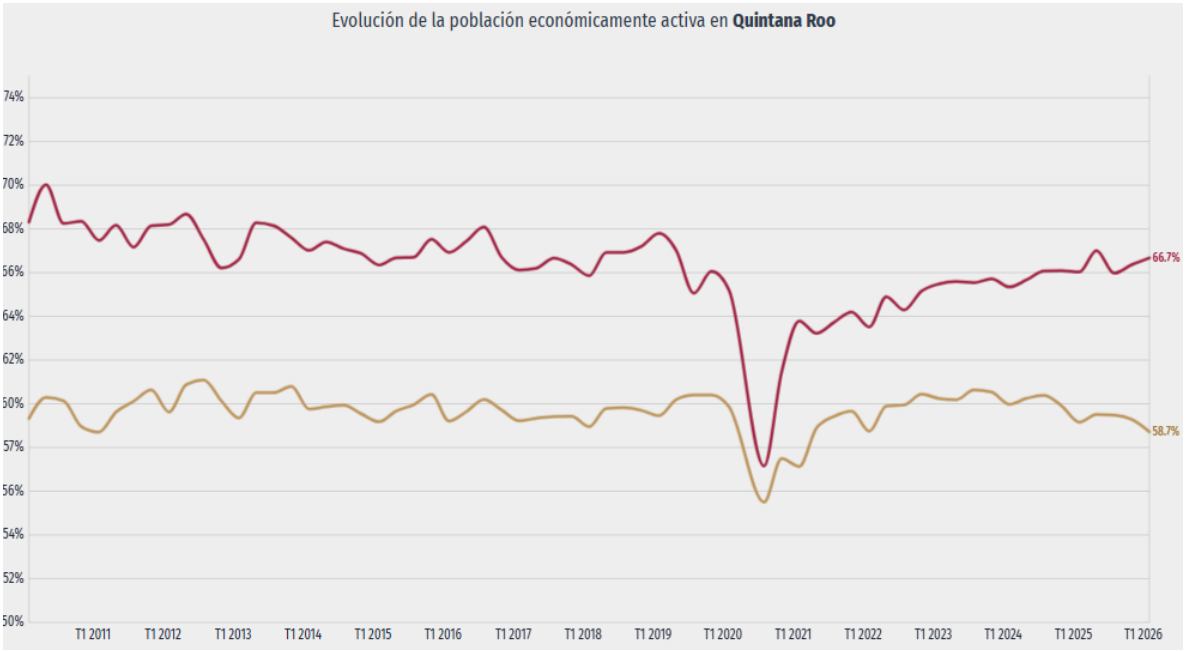


Figura 40. Evolución de la población económicamente activa y tasa de desocupación en Quintana Roo.

Es importante señalar que los datos anteriores corresponden al ámbito estatal y se utilizan como contexto de referencia, debido a que la ENOE no genera estimaciones estadísticamente representativas para el municipio de Puerto Morelos.

III.2.3.3.2 Población ocupada y condición de formalidad

Durante el primer trimestre de 2026, la población ocupada de Quintana Roo ascendió a aproximadamente 1.01 millones de personas, cifra 3.02 % superior a la registrada en el trimestre inmediato anterior, cuando se contabilizaron alrededor de 981,000 personas ocupadas. Del total de la población ocupada, el 57.6 % se desempeñaba en empleos formales y el 42.4 % en actividades informales. Aunque el empleo formal representó la proporción mayoritaria, la informalidad continuó siendo significativa, al concentrar a más de cuatro de cada diez personas ocupadas.

La elevada proporción de empleo informal puede relacionarse con la presencia de actividades temporales, trabajo por cuenta propia, pequeños comercios, servicios personales, construcción y ocupaciones vinculadas con la demanda estacional del turismo. Esta condición puede implicar diferencias en estabilidad laboral, acceso a seguridad social, prestaciones, capacitación y protección de los trabajadores.

En cuanto a la distribución por sexo, los hombres representaron el 60.2 % de la población ocupada, mientras que las mujeres concentraron el 39.8 %. Esta diferencia refleja una participación laboral masculina comparativamente mayor y evidencia la necesidad de continuar promoviendo oportunidades de empleo con igualdad de acceso y remuneración.

III.2.3.3.3 Salarios

El salario promedio mensual registrado en Quintana Roo durante el primer trimestre de 2026 fue de aproximadamente $9,210.00 pesos mensuales, lo que representó un incremento de $419.00 respecto del trimestre anterior, cuando el promedio fue de $8,790.00.

Al diferenciar por condición laboral, los trabajadores formales percibieron un ingreso promedio mensual aproximado de $10,700.00, mientras que los trabajadores informales registraron un promedio de $7,190.00 mensuales.

Tabla 60. Salario promedio mensual por condición laboral en Quintana Roo, primer trimestre de 2026

Condición laboral	Salario promedio mensual
Total de trabajadores	$9,210.00
Trabajadores formales	$10,700.00
Trabajadores informales	$7,190.00

La diferencia entre ambos grupos fue de aproximadamente $3,510.00 mensuales, lo que muestra la importancia del empleo formal como mecanismo para mejorar las condiciones de ingreso, acceso a prestaciones y seguridad social. Los valores corresponden a promedios estatales y no representan necesariamente los salarios específicos del municipio de Puerto Morelos ni las remuneraciones que serán pagadas durante la ejecución del Proyecto.

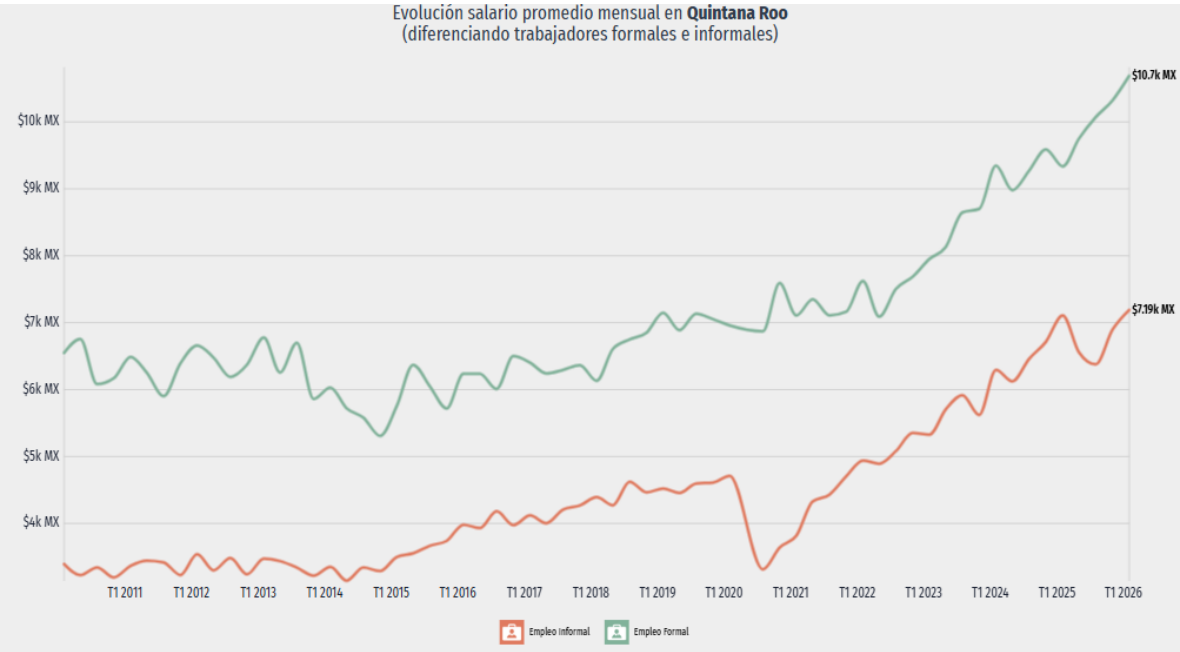


Figura 41. Evolución del salario promedio mensual de los trabajadores formales e informales en Quintana Roo.

III.2.3.3.4 Principales ocupaciones

La estructura de la población ocupada de Quintana Roo refleja la importancia de los sectores comercio, turismo, transporte, servicios y construcción. Durante el primer trimestre de 2026, las ocupaciones con mayor número de trabajadores fueron:

- Empleados de ventas, despachadores y dependientes de comercios, con aproximadamente 55,400 personas.
- Conductores de autobuses, camiones, camionetas, taxis y automóviles de pasajeros, con aproximadamente 43,400 personas.
- Meseros, con aproximadamente 34,000 personas.

Asimismo, se registró una participación relevante de cocineros, trabajadores de hoteles y restaurantes, recamaristas, camaristas, barrenderos, personal de limpieza, vigilantes, guardias, trabajadores de apoyo a la construcción, albañiles, mamposteros, plomeros, fontaneros, electricistas y personal de mantenimiento.

Esta composición es congruente con la especialización turística del estado y con la demanda de servicios generada por hoteles, restaurantes, comercios, infraestructura urbana y desarrollos inmobiliarios.

Tabla 61. Ocupaciones de particular relación con el contexto del Proyecto.

Grupo ocupacional	Participación aproximada en la población ocupada estatal
Empleados de ventas, despachadores y dependientes de comercios	5.52 %
Conductores de autobuses, camiones, camionetas, taxis y automóviles de pasajeros	4.32 %
Meseros	3.39 %
Albañiles, mamposteros y afines	3.12 %
Barrenderos y trabajadores de limpieza en hoteles y restaurantes	2.59 %
Cocineros	2.31 %
Vigilantes y guardias en establecimientos	2.00 %
Trabajadores de apoyo a la construcción	1.71 %
Recamaristas y camaristas	1.61 %
Mozos de hotel y restaurante	1.50 %
Plomeros, fontaneros e instaladores de tubería	1.50 %
Electricistas y linieros	0.75 %

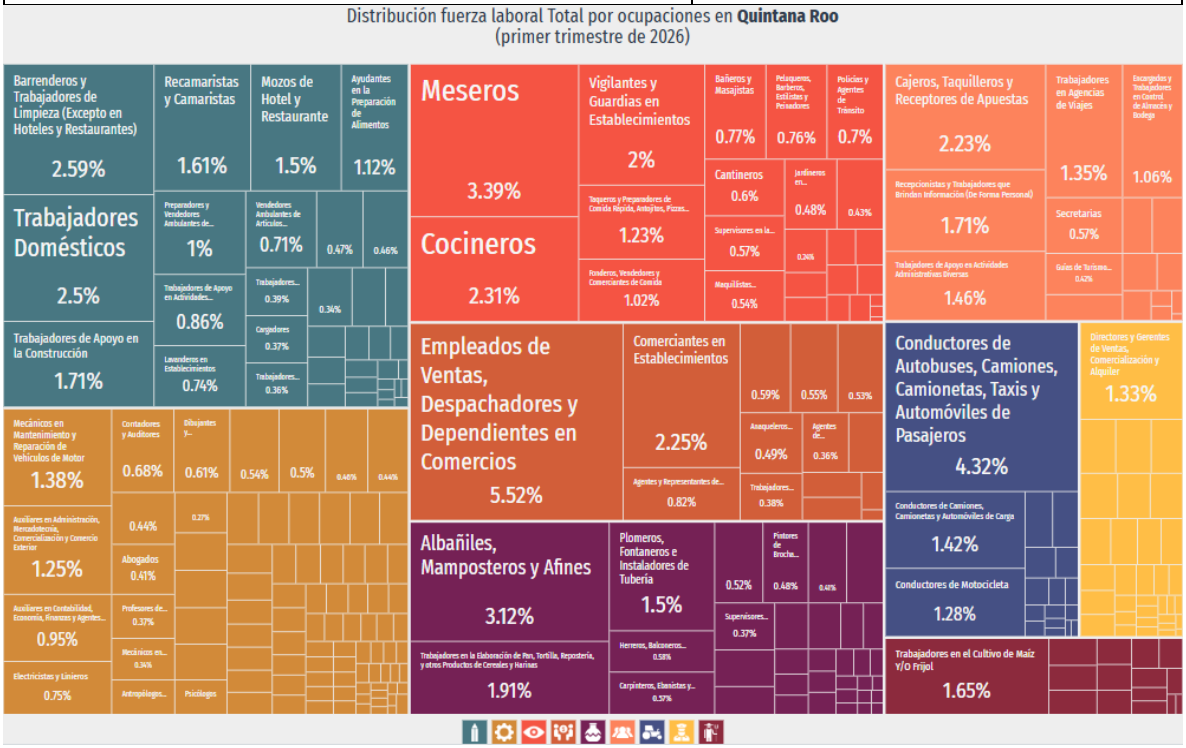


Figura 42. Distribución de la población ocupada por grupos de ocupación en Quintana Roo durante el primer trimestre de 2026.

III.2.3.4 Educación

El análisis del perfil educativo de la población en la RE y AI del proyecto permite diagnosticar el capital humano disponible, evaluar el grado de desarrollo social y estimar la aptitud de la mano de obra local para integrarse a las distintas etapas del proyecto (preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento). Para la caracterización del componente educativo en el municipio de **Puerto Morelos, Quintana Roo**, se tomó como base la información oficial del *Censo de Población y Vivienda 2020* elaborado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y procesado a través de la plataforma Data México.

a) Niveles de Escolaridad de la Población de 15 Años y Más

De acuerdo con los resultados del cuestionario ampliado del Censo de Población y Vivienda 2020, la estructura de los niveles de escolaridad aprobados por la población de 15 años y más en el municipio de Puerto Morelos se distribuye de la siguiente manera:

- **Educación Secundaria:** Representa el nivel con mayor concentración en el municipio, alcanzando el **26.7%** del total (aproximadamente 5.17 mil personas).
- **Educación Media Superior (Preparatoria o Bachillerato General):** Constituye el **23.9%** de la población (4.63 mil personas), a lo que se suma un **3.68%** correspondiente a Bachillerato Tecnológico o Normal Básica.
- **Educación Superior y Posgrado:** La población con grado de **Licenciatura** asciende al **23.2%** (4.49 mil personas). En cuanto a estudios de posgrado y formación técnica especializada, se registra un **1.79%** con Maestría, **1.26%** con Estudios Técnicos o Comerciales terminados, **1.02%** con Normal de Licenciatura y un **0.60%** con Especialidad.
- **Educación Primaria:** Concentra el **16.5%** de la población adulta.

Tabla 62. Distribución porcentual del nivel de escolaridad en la población de 15 años y más en Puerto Morelos (2020).

Nivel Académico Aprobado	Población Estimada (miles)	Porcentaje (%)
Secundaria	5.17	26.7%
Preparatoria / Bachillerato General	4.63	23.9%
Licenciatura	4.49	23.2%
Primaria	—	16.5%
Bachillerato Tecnológico / Normal Básica	—	3.68%
Maestría	—	1.79%
Estudios Técnicos o Comerciales	—	1.26%
Normal de Licenciatura	—	1.02%
Especialidad	—	0.60%
Otros / No especificado	—	1.25%
Total	—	**100.0%**

b) Tasa y Estructura de Analfabetismo

La tasa de analfabetismo es un indicador clave de vulnerabilidad social y rezago educativo en el Sistema Ambiental Regional (SAR). En el municipio de Puerto Morelos:

- La **tasa promedio de analfabetismo** en 2020 se situó en **3.5%** de la población de 15 años y más, colocándose por debajo del promedio nacional, lo que refleja condiciones favorables de acceso a la educación básica en la demarcación.
- Al desagregar a la población analfabeta por sexo, se identifica una brecha de género: el **55.1% corresponde a mujeres** y el **44.9% a hombres**, observándose una mayor concentración del rezago en los grupos de edad adulta y adultos mayores.

Tabla 63. Distribución de la población analfabeta por sexo en Puerto Morelos (2020).

Indicador	Hombres (%)	Mujeres (%)	Total Municipal (%)
Tasa de analfabetismo promedio	—	—	**3.5%**
Distribución porcentual por sexo	44.9%	55.1%	**100.0%**

III.2.3.5 Turismo

La actividad turística constituye el principal motor económico y dinamizador del Sistema Ambiental Regional (SAR) en el municipio de Puerto Morelos. La caracterización de la infraestructura hotelera, los prestadores de servicios y el perfil del visitante permite dimensionar la relevancia del sector y la interacción del proyecto con el entorno socioeconómico y de servicios turísticos.

La información presentada se basa en los registros oficiales de la Secretaría de Turismo del Estado de Quintana Roo (SEDETUR) a través del Registro Estatal de Turismo (RETUR-Q) y en los estudios del perfil del visitante correspondientes al primer trimestre de 2026 (Q1 2026), en comparación con el periodo homólogo de 2025 (Q1 2025) y el comparativo regional del Caribe Mexicano (CBEMX Q1 2026).

a) Infraestructura y Servicios Turísticos

De acuerdo con las cifras del Registro Estatal de Turismo de Quintana Roo (RETUR-Q), la oferta turística formalmente establecida en el destino se compone de:

- **150 prestadores de Servicios Turísticos** debidamente inscritos en el padrón oficial del estado.
- **74 establecimientos de Hospedaje (Hoteles)** distribuidos en la franja costera y zona urbana.
- **8,450 habitaciones de Hospedaje Disponibles**, que representan la capacidad de alojamiento de la demarcación.

Tabla 64. Capacidad e infraestructura turística en Puerto Morelos

Categoría / Indicador	Cantidad Registrada	Fuente Oficial
Prestadores de servicios turísticos inscritos	150	RETUR-Q (SEDETUR)
Total de hoteles / establecimientos	74	RETUR-Q (SEDETUR)
Habitaciones disponibles	8,450	RETUR-Q (SEDETUR)

b) Procedencia del Turismo (Mercados Emisores)

El destino se caracteriza por una marcada orientación hacia el mercado internacional:

- **Mercado Internacional:** Estados Unidos de América (EUA) representa el principal emisor de visitantes hacia Puerto Morelos con un **65.1%** en Q1 2026 (frente a 63.2% en Q1 2025). Le sigue Canadá con un **16.7%** (mostrando un incremento respecto al 11.3% de Q1 2025) y Europa con un **7.2%** (6.5% en Q1 2025). Latinoamérica y el Resto del Mundo registraron el **1.3%** y **0.0%** respectivamente en Q1 2026.
- **Mercado Nacional:** El turismo doméstico concentró el **9.7%** de los visitantes en Q1 2026 (15.1% en Q1 2025).

Tabla 65. Distribución de visitantes según región y país de procedencia.

Región / País de Origen	Q1 2025 (%)	Q1 2026 (%)	Caribe Mexicano (CBEMX Q1 2026) (%)
Estados Unidos (EUA)	63.2%	**65.1%**	35.9%
Canadá	11.3%	**16.7%**	8.8%
México (Nacional)	15.1%	**9.7%**	35.4%
Europa	6.5%	**7.2%**	7.3%
Latinoamérica	3.4%	**1.3%**	12.5%
Resto del Mundo	0.4%	**0.0%**	0.1%
Total	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**

c) Procedencia del Turismo Nacional

Al desglosar el flujo de visitantes procedentes de la República Mexicana hacia Puerto Morelos durante el primer trimestre de 2026:

- La **Ciudad de México** representa el principal mercado emisor nacional con un **30.4%** de participación (29.2% en Q1 2025).
- **Nuevo León** ocupa la segunda posición con **13.0%** (22.2% en Q1 2025).
- **Querétaro** mostró un crecimiento representativo al registrar **10.9%** (frente a 2.8% en Q1 2025).
- Otros estados con afluencia destacada incluyen Guanajuato (**8.7%**), Chihuahua (**6.5%**), Jalisco (**6.5%**) y Puebla (**4.3%**). Estado de México, Veracruz y Michoacán aportan un **2.2%** cada uno.

Tabla 66. Principales entidades federativas emisoras de turismo nacional a Puerto Morelos.

Posición	Entidad Federativa	Q1 2025 (%)	Q1 2026 (%)	CBEMX Q1 2026 (%)
1	Ciudad de México	29.2%	30.4%	27.7%
2	Nuevo León	22.2%	13.0%	9.8%
3	Querétaro	2.8%	10.9%	4.5%
4	Guanajuato	4.2%	8.7%	6.8%
5	Chihuahua	5.6%	6.5%	7.6%
6	Jalisco	9.7%	6.5%	6.6%
7	Puebla	5.6%	4.3%	3.7%
8	Estado de México	11.1%	2.2%	9.1%
9	Veracruz	0.0%	2.2%	2.1%
10	Michoacán	0.0%	2.2%	1.7%
—	**Total de casos analizados**	**72**	**46**	**3,264**

d) Estructura Demográfica del Turista (Grupos de Edad)

El perfil generacional del visitante en el destino refleja una marcada preferencia por parte de viajeros adultos y adultos maduros con capacidad de gasto:

- **Generación X (40 a 59 años):** Constituye el segmento predominante, abarcando el **44.0%** del total de turistas en Q1 2026 (40.5% en Q1 2025), cifra significativamente superior al promedio estatal (36.5%).
- **Baby Boomers (60 y más años):** Representan el **20.7%** de los visitantes en Q1 2026 (19.1% en Q1 2025), posicionando a Puerto Morelos como un destino de descanso preferido para turismo senior en comparación con el Caribe Mexicano en general (13.2%).
- **Generación Y / Millennials (30 a 39 años):** Conforman el **17.4%** en Q1 2026 (18.8% en Q1 2025).
- **Generación Z (13 a 29 años) y Generación ALFA (0 a 12 años):** Registraron **11.8%** y **6.1%** respectivamente en Q1 2026.

Tabla 67. Distribución por grupos de edad / generaciones de turistas en Puerto Morelos.

Rango de Edad / Generación	Q1 2025 (%)	Q1 2026 (%)	CBEMX Q1 2026 (%)
Baby Boomers (60 años y más)	19.1%	20.7%	13.2%
Generación X (40 a 59 años)	40.5%	44.0%	36.5%
Generación Y (30 a 39 años)	18.8%	17.4%	23.8%
Generación Z (13 a 29 años)	14.6%	11.8%	19.6%
Generación ALFA (0 a 12 años)	7.0%	6.1%	7.0%
Total	**100.0%**	**100.0%**	**100.0%**

III.2.4 Paisaje

El proyecto denominado **"Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa"** (en lo sucesivo, el **Proyecto**), se pretende desarrollar en la franja costera y zona marina somera localizada frente al citado complejo turístico, en el municipio de Puerto Morelos, estado de Quintana Roo.

El paisaje se define como la *"extensión de terreno que se percibe o se hace visible desde un sitio determinado"*. Desde la perspectiva del análisis ambiental, se determinan tres componentes básicos del paisaje:

- El terreno o la cuenca visual.
- Su extensión espacial y profundidad de campo.
- El punto o puntos de observación.

Considerando lo anterior, el diagnóstico del paisaje del sitio de estudio se estructuró a partir de las siguientes tres cualidades fundamentales:

Tabla 68. Conceptos fundamentales para la evaluación del paisaje.

Concepto	Descripción
Visibilidad	Conjunto de elementos del paisaje que pueden observarse desde un punto o cuenca visual determinada. Es medible en función de la posición del observador, la amplitud del campo visual (cuánto se percibe) y las condiciones de nitidez o contraste (cómo se percibe).
Calidad paisajística	Grado de excelencia y valor estético intrínseco del paisaje. Integra tres factores perceptuales: características biofísicas del sitio (morfología, vegetación, cuerpos de agua), calidad del entorno inmediato y el valor escénico del fondo visual donde se emplazará el Proyecto.
Fragilidad visual	Capacidad intrínseca del paisaje para absorber o disimular las modificaciones introducidas por la actividad antrópica sin perder su carácter visual. Está determinada por factores biofísicos (tipo de suelo, cobertura vegetal, contraste cromático) y morfológicos (pendiente, escala y forma de la cuenca visual).

IV.2.1.4.1 Análisis de la Visibilidad y Delimitación de Unidades de Paisaje (UP)

La visibilidad o accesibilidad visual mantiene una relación directa con los componentes físicos (relieve) y bióticos (estructura vegetal), los cuales actúan como barreras o aperturas visuales para los observadores (turistas, prestadores de servicios y comunidad local). A esto se suman los rangos de distancia y accesibilidad física desde los principales puntos de observación (zona de playa, áreas comunes del hotel y zona marina).

A partir del análisis espacial de la cuenca visual y los criterios de:

- **Áreas de interés escénico** (zonas costeras y marinas con alto valor perceptivo),
- **Hitos visuales** (accesos monumentales, elementos arquitectónicos y estructuras hoteleras),
- **Cuerpos de agua** (mar Caribe y zona intermareal), e
- **Intervención humana** (infraestructura turística e inmobiliaria),

se delimitaron **cuatro Unidades de Paisaje (UP)** en el Sistema Ambiental:

Tabla 69. Unidades de Paisaje (UP) identificadas en el Sistema Ambiental.

Unidad de Paisaje	Denominación	Características Principales
UP-1	Asentamientos humanos y área turística	Comprende la franja costera antropizada donde se emplazan hoteles, restaurantes, clubes de playa, accesos viales y desarrollos inmobiliarios del corredor Puerto Morelos. Predominan estructuras construidas y áreas ajardinadas.
UP-2	Zona de playa (frente costero)	Franja litoral y frente de playa sujeto a dinámica de oleaje y erosión costera. Es el área directa de interacción turística y donde se proyectan las obras de restauración y estabilización de arena.
UP-3	Zona marina somera	Porción marina correspondiente a las aguas someras del Mar Caribe frente al predio. Presenta tonalidades turquesas, alta transparencia y visibilidad directa hacia el horizonte marino y formaciones arrecifales.
UP-4	Zonas con vegetación natural	Remanentes de ecosistemas costeros compuestos por vegetación de manglar y vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia en las inmediaciones del SAR.

IV.2.1.4.2 Calidad Visual del Paisaje

Para la evaluación de la calidad escénica se aplicó el método indirecto del *Bureau of Land Management* (**BLM, 1980**), el cual asigna valores ponderados a siete componentes clave del entorno perceptual:

Tabla 70. Evaluación de la calidad visual del sitio mediante el Método BLM (1980).

COMPONENTE	CRITERIOS		
MORFOLOGÍA	Relieve con pendiente muy marcada (acantilados, agujas, grandes formaciones rocosas); o bien relieve de gran variedad superficial o muy erosionado, o sistemas de dunas, o bien presencia de algún rasgo muy singular y dominante.	Formas erosivas interesantes o relieve variado en tamaño y forma. Presencia de formas y detalles interesantes, pero no dominantes o excepcionales.	Colinas suaves, pendiente plana, pocos o ningún detalle singular.
	5	3	**1**
VEGETACIÓN	Gran variedad de tipos de vegetación, con formas, texturas y distribución.	Cierta variedad, pero solo uno o dos tipos.	Escasa o ninguna variedad o contraste en la vegetación.
	5	3	1
AGUA	Factor dominante del paisaje, limpia y clara, aguas cristalinas o espejos de agua en reposo.	Agua en movimiento o reposo, pero no dominante en el paisaje.	Ausente o inapreciable.
	5	3	1
VARIABILIDAD CROMÁTICA	Combinaciones de color intensas y variadas o contrastes agradables.	Alguna variedad e intensidad en los colores y contrastes, pero no actúa como elemento dominante.	Muy poca variación de color o contraste, colores apagados.
	5	**3**	1
FONDO ESCÉNICO	El paisaje circundante potencia mucho la calidad visual.	El paisaje circundante incrementa moderadamente la calidad visual en el conjunto.	El paisaje adyacente no ejerce influencia en la calidad del conjunto.
	5	3	**1**
SINGULARIDAD Y RAREZA	Único o poco corriente o muy raro en la región, posibilidad de contemplar fauna y vegetación excepcional.	Característico, aunque similar a otros en la región.	Bastante común en la región.
	5	3	**1**
ACCIÓN ANTRÓPICA	Libre de actuaciones estéticamente no deseadas o con modificaciones que inciden favorablemente en la calidad visual.	La calidad escénica está afectada por modificaciones poco armoniosas, aunque no en su totalidad, o las actuaciones no añaden calidad visual.	Modificaciones intensas y extensas, que reducen o anulan la calidad escénica.
	5	3	**1**

Tabla 71. Escala de clasificación de calidad escénica (BLM).

Clase	Rango de Puntuación	Descripción
Clase A	22 a 35	Calidad Alta. Áreas con rasgos visuales sobresalientes o excepcionales.
Clase B	**8 a 21**	**Calidad Media.** Rasgos escénicos variados y atractivos, característicos de la región.
Clase C	1 a 7	Calidad Baja. Paisajes degradados o con mínima variedad visual.

Resultado: Con un puntaje acumulado de **21 puntos**, el área de estudio clasifica en el límite superior de **Clase B (Calidad Media)**, consolidándose como un paisaje atractivo, armónico y de alta representatividad del litoral quintanarroense.

IV.2.1.4.3 Fragilidad y Valoración Integral de las Unidades de Paisaje

La fragilidad visual representa la susceptibilidad del paisaje al deterioro perceptual ante una intervención física; guarda una relación inversamente proporcional con la **capacidad de absorción visual (CAV)** (Muñoz-Pedreros, 2004). Paisajes abiertos y planos poseen menor CAV y, por ende, mayor fragilidad visual.

A continuación, se presenta la síntesis valorativa de las Unidades de Paisaje identificadas:

Tabla 72. Valoración integral de las Unidades de Paisaje (UP).

Unidad de Paisaje	Nombre	Visibilidad	Calidad Visual (BLM)	Fragilidad Visual	Capacidad de Absorción Visual (CAV)
UP-1	Asentamientos humanos y área turística	Media	Media (Clase B)	**Baja**	Alta (La infraestructura existente absorbe nuevas obras)
UP-2	Zona de playa (frente costero)	Alta	Media - Alta (Clase B)	**Alta**	Baja (Espacio abierto, altamente visible para turistas)
UP-3	Zona marina	Alta	Alta (Clase A)	**Media - Alta**	Media (La superficie marina expone estructuras superficiales)
UP-4	Zonas con vegetación natural	Baja - Media	Media (Clase B)	**Media**	Media - Alta (La densidad vegetal atenúa el impacto visual)

III.3 Diagnóstico Ambiental de la RE, AI y AP

El diagnóstico ambiental integra los resultados de la caracterización de los componentes abióticos, bióticos, paisajísticos y socioeconómicos de la Región Ecológica (RE), el Área de Influencia (AI) y el Área del Proyecto (AP). Su finalidad es establecer una interpretación conjunta del estado actual del sistema litoral, reconocer sus principales procesos de transformación, identificar los componentes de mayor sensibilidad y definir la tendencia ambiental que podría presentarse en ausencia del Proyecto.

El sistema analizado presenta una condición ambiental heterogénea. En la porción continental de la RE coexisten coberturas naturales de manglar y vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia con áreas urbanizadas y desarrollos turísticos. En la porción marina se mantienen fondos arenosos, laja calcárea, macroalgas, pastos marinos, gorgonáceos y ambientes arrecifales. El AP se encuentra en un frente costero previamente transformado por infraestructura turística y afectado por el retroceso de la línea de costa, pero conserva componentes marinos funcionales y sensibles que deberán considerarse durante cualquier intervención.

III.3.1 Síntesis funcional del sistema ambiental

La RE forma parte de la plataforma carbonatada de la península de Yucatán y presenta relieve predominantemente plano, elevada permeabilidad del sustrato y escaso desarrollo de corrientes superficiales continentales. La infiltración constituye el proceso hidrológico dominante y alimenta un acuífero regional kárstico, libre y costero, cuyo flujo general se orienta desde el interior de la península hacia el mar Caribe.

En la franja costera, el funcionamiento ambiental depende de la interacción entre la playa, los depósitos arenosos, la laguna arrecifal, el oleaje, las corrientes, el viento y la barrera arrecifal. La playa constituye un depósito móvil que intercambia sedimentos longitudinal y transversalmente, por lo que su posición y volumen varían en respuesta a condiciones ordinarias, frentes fríos, tormentas tropicales y huracanes.

La barrera arrecifal modifica y disipa una parte de la energía del oleaje antes de que éste alcance la costa. Sin embargo, su configuración no es continua y presenta canales o discontinuidades que permiten el intercambio de agua y pueden favorecer una mayor propagación de energía hacia determinados sectores del litoral. En el frente del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, estas condiciones se combinan con una playa estrecha, una pendiente reducida y la presencia de infraestructura cercana a la línea de costa.

La microcelda adoptada como AI permite representar los procesos locales responsables de la redistribución de sedimentos. Las mediciones disponibles muestran corrientes bidireccionales, con componentes hacia el nor-noreste y sur-suroeste, mientras que el oleaje regional procede predominantemente del este-sureste. Durante otoño e invierno aumenta la participación de oleaje del norte asociado con frentes fríos, y entre junio y noviembre pueden presentarse condiciones extraordinarias relacionadas con ciclones tropicales.

En consecuencia, el funcionamiento del sistema no depende de una dirección única y permanente de transporte litoral. La arena puede movilizarse entre distintos sectores de la playa emergida y sumergida, particularmente durante eventos de alta energía.

III.3.2 Calidad ambiental de la RE, AI y AP

III.3.2.1 Calidad del aire y ambiente acústico

La RE se localiza en una planicie costera abierta, donde la circulación de los vientos y la proximidad del mar favorecen la dispersión de contaminantes atmosféricos. No se identificaron fuentes industriales dentro del AP; las emisiones existentes se relacionan principalmente con el tránsito vehicular, la operación de desarrollos turísticos, embarcaciones menores, maquinaria, equipos de mantenimiento y actividades urbanas.

Con la información disponible no es posible asignar una categoría cuantitativa de calidad del aire, debido a que no se cuenta con mediciones específicas de concentraciones atmosféricas en el AP. No obstante, por las condiciones de ventilación y ausencia de fuentes industriales inmediatas, se considera que el aire mantiene una calidad ambiental presumiblemente favorable, con alteraciones puntuales y temporales vinculadas con fuentes móviles.

El ambiente acústico presenta diferencias entre las unidades analizadas. En las áreas interiores con manglar y vegetación secundaria predominan sonidos naturales, mientras que en la franja costera urbanizada se registra influencia del tránsito, actividades hoteleras, mantenimiento, recreación y navegación. Por tanto, su calidad se considera variable: mayor en las coberturas naturales y moderadamente modificada en la zona turística.

III.3.2.2 Calidad del suelo y los sedimentos

En la porción terrestre de la RE se distribuyen Leptosoles, Solonchaks y Arenosoles. Los Leptosoles se asocian con superficies calcáreas interiores; los Solonchaks con terrenos bajos sujetos a salinidad; y los Arenosoles con la franja litoral.

El AP no interviene Leptosoles ni Solonchaks. Su porción terrestre se concentra en la playa arenosa, donde el sustrato presenta débil desarrollo edáfico, escasa materia orgánica y elevada susceptibilidad a la movilización por viento y oleaje. En la zona marina no existen suelos en sentido edafológico, sino sedimentos y sustratos bentónicos.

La condición del Arenosol y de los depósitos de playa se encuentra determinada por el proceso erosivo. El retroceso de la línea de costa ha reducido el volumen y ancho de la playa, mientras que el tránsito y la ocupación turística han modificado parcialmente su condición natural. Aunque no se documentaron sitios contaminados dentro del AP, la naturaleza permeable de la arena y del sustrato kárstico incrementa su vulnerabilidad frente a derrames, disposición inadecuada de residuos y descargas.

Los resultados granulométricos muestran que la playa receptora presenta variaciones naturales entre el sector superior y la zona de lavado. La muestra del sector de duna registró un diámetro medio aproximado de 0.16 mm y la muestra de la zona de lavado un diámetro medio cercano a 0.36 mm.

La arena del Banco IRRM presentó un D50 aproximado de 0.39 mm, semejante al material de la zona de lavado. Esta correspondencia indica compatibilidad general de tamaño entre la arena del banco y la fracción activa de la playa, sin que ello elimine la necesidad de controlar su extracción, conducción y colocación.

III.3.2.3 Calidad del agua y ambiente marino

El cuerpo de agua directamente relacionado con el Proyecto es la laguna arrecifal. Su funcionamiento se encuentra condicionado por la barrera arrecifal, la batimetría, las mareas, las corrientes, el oleaje, el viento y el intercambio con el mar Caribe.

La batimetría muestra una plataforma somera que desciende gradualmente desde la línea de costa, con profundidades generales de entre 0 y aproximadamente -4 m en el ámbito de las obras. Esta condición favorece la interacción frecuente del oleaje con el fondo y la resuspensión natural de sedimentos durante eventos de alta energía.

No se cuenta con una serie específica de parámetros fisicoquímicos que permita asignar una clasificación cuantitativa a la calidad del agua dentro del AP. Por ello, el diagnóstico no presupone el cumplimiento de límites de calidad ni la ausencia absoluta de contaminantes. Sin embargo, no se identificaron evidencias de descargas directas vinculadas con las actividades propuestas, y el Proyecto no contempla descargar aguas residuales, combustibles, lubricantes o sustancias químicas al medio marino.

El ambiente marino presenta una sensibilidad elevada frente al incremento de turbidez, aportación de nutrientes, derrames y acumulación de residuos. Los pastos marinos y las comunidades bentónicas dependen de la disponibilidad de luz, estabilidad del sustrato y calidad del agua; mientras que los arrecifes pueden resultar afectados por sedimentación, contaminación y contacto físico.

III.3.2.4 Vegetación terrestre

De acuerdo con la cartografía de Uso del Suelo y Vegetación, Serie VII del INEGI, la RE presenta la siguiente composición general:

Tabla 73. **Uso del suelo y vegetación dentro de la Región Ecológica**

Cobertura	Superficie (m^2)	Proporción de la RE (%)	Condición general
Manglar	11,168,785.17	49.93	Cobertura natural de alta importancia ecológica
Vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia	1,773,355.07	7.93	Vegetación en proceso de recuperación o transformación
Asentamientos humanos	2,762,759.31	12.35	Superficie transformada por urbanización e infraestructura

Desprovisto de vegetación	54,382.75	0.24	Superficie con cobertura vegetal reducida o ausente
Zona marina	6,610,631.36	29.55	Laguna arrecifal y medio marino
Total	**22,369,913.66**	**100.00**	

El manglar representa la cobertura de mayor superficie en la RE y constituye un componente de alta importancia por sus funciones de refugio, productividad, regulación hídrica, almacenamiento de carbono y protección costera. No obstante, su presencia dentro de la RE no significa que forme parte del AP.

Las obras terrestres y marinas se ubican en superficies cartografiadas como asentamientos humanos, playa y ambiente marino. Los análisis espaciales efectuados no identificaron superposición entre las obras y la vegetación de manglar. Tampoco se reconoció un cauce superficial que atraviese los polígonos del Proyecto y alimente directamente los manglares ubicados en otros predios.

La vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia se encuentra en la porción continental de la RE, fuera de las superficies de intervención. Por tanto, el Proyecto no contempla desmontarla ni realizar cambio de uso de suelo en terrenos forestales.

En el frente costero no se reconoce actualmente un cordón dunar natural continuo. Las imágenes históricas de 2005 y 2006 muestran acumulaciones arenosas elevadas y parcialmente cubiertas por vegetación, compatibles con la presencia previa de formas dunares. La pérdida de estas estructuras representa una disminución de la capacidad natural de retención de arena y amortiguamiento costero.

III.3.2.5 Vegetación marina y hábitat bentónico

La cartografía regional muestra que la laguna arrecifal contiene comunidades de pastos marinos, macroalgas, fondos arenosos, laja y ambientes coralinos. Estas coberturas conforman un mosaico dinámico cuya distribución puede variar por oleaje, sedimentación, tormentas, herbivoría, disponibilidad de luz y cambios en la calidad del agua.

La caracterización de campo del AP identificó cinco unidades bentónicas:

- Laja y algas.
- Arena.
- Pastos marinos.
- Laja y gorgonáceas.
- Arena y algas.

La mayor parte de las obras se distribuye sobre fondos de laja y algas, arena o arena con algas. El análisis espacial identificó una interacción directa puntual con parches de pastos marinos en los geotubos 11 y 14, con superficies aproximadas de 3.76 y 6.75 m², respectivamente, para una superficie conjunta de 10.51 m².

Aunque esta superficie representa una interacción localizada, los pastos marinos son un componente ambiental sensible por su función como hábitat, área de crianza, productor primario, retenedor de sedimentos y elemento de conectividad entre la costa y el arrecife. En consecuencia, su presencia constituye una restricción ambiental importante para la microlocalización y ejecución de las obras.

III.3.2.6 Fauna

La RE y el AI presentan fauna terrestre asociada con manglares, vegetación secundaria, ambientes urbanizados y cuerpos de agua. Debido a la transformación de la franja turística, en las áreas urbanizadas predominan especies tolerantes a la presencia humana, mientras que las coberturas naturales conservan mayor capacidad para mantener aves, reptiles, mamíferos pequeños y otros grupos.

En el AP, la fauna terrestre puede presentarse de manera ocasional en la playa y áreas ajardinadas próximas al hotel. Aunque no se registraron tortugas marinas durante los recorridos, la playa forma parte de una región en la que puede ocurrir su tránsito o anidación, por lo que su presencia no debe descartarse.

La fauna marina observada mediante seis transectos estuvo integrada por 18 individuos pertenecientes a 13 taxones operativos: 11 determinados a nivel de especie, uno a nivel de género y uno a nivel de familia. Se registraron equinodermos, moluscos, crustáceos, elasmobranquios y peces óseos.

Los organismos observados mostraron asociación con fondos arenosos, pastos marinos, macroalgas, laja y materiales calcáreos. La presencia de peces juveniles, rayas bentónicas, moluscos y equinodermos confirma que el AP mantiene funciones de alimentación, refugio, tránsito y desarrollo temprano.

Ninguna de las especies identificadas inequívocamente durante los transectos se encuentra incluida en la NOM-059-SEMARNAT-2010. Sin embargo, este resultado representa únicamente las condiciones observadas durante la campaña y no excluye la presencia ocasional de tortugas marinas u otras especies protegidas y de amplia movilidad.

III.3.2.7 Paisaje y medio socioeconómico

La RE presenta un paisaje costero mixto en el que coexisten coberturas naturales, desarrollos turísticos, playa y medio marino. En el AP predomina un paisaje abierto, con amplia visibilidad desde la playa, las áreas comunes del hotel y la zona marina.

La calidad paisajística fue clasificada como media, en el límite superior de la Clase B conforme al método del Bureau of Land Management, con un valor acumulado de 21 puntos. Aunque el escenario conserva elementos de alto atractivo —mar Caribe, playa, laguna arrecifal y vegetación—, su naturalidad se encuentra reducida por la presencia de infraestructura hotelera y urbanización.

La fragilidad visual es elevada debido a la planicie del terreno, la apertura de la cuenca visual y la poca capacidad del paisaje para ocultar elementos nuevos. Por ello, las modificaciones sobre la playa y el medio marino pueden ser perceptibles desde distintos puntos de observación.

En el medio socioeconómico, Puerto Morelos presenta una economía estrechamente vinculada con el turismo, la hotelería, los servicios, el comercio, el transporte y la construcción. La playa y el paisaje marino constituyen activos ambientales y económicos relevantes, por lo que el deterioro de la franja costera puede afectar tanto servicios ecosistémicos como actividades recreativas y turísticas.

III.3.3 Estado de conservación por unidad de análisis

La condición ambiental no es uniforme. Cada unidad presenta distintos grados de transformación, integridad y sensibilidad.

Tabla 74. **Diagnóstico ambiental comparativo de la RE, AI y AP**

Unidad	Estado de conservación	Componentes relevantes	Presiones principales	Sensibilidad
Región Ecológica	Heterogéneo, de medio a alto en coberturas naturales y bajo en sectores urbanizados	Manglar, vegetación secundaria, acuífero kárstico, laguna y arrecife	Urbanización, turismo, contaminación difusa, fragmentación y cambio climático	Alta en manglar, acuífero y ecosistemas marinos
Área de Influencia	Medio, con procesos costeros todavía funcionales pero sujetos a presión	Playa, microcelda litoral, pastos marinos, laguna y barrera arrecifal	Erosión, infraestructura costera, navegación, eventos extremos y redistribución sedimentaria	Alta por la dinámica litoral y presencia de hábitats marinos
Área del Proyecto	Modificado en la franja terrestre y de conservación intermedia en el fondo marino	Playa erosionada, fondos arenosos, laja, algas, pastos y fauna bentónica	Retroceso de la costa, uso turístico, ocupación física y exposición al oleaje	Parches de pastos y fauna de movilidad reducida
Banco IRRM	Ambiente marino con depósito sedimentario aprovechable y componentes bentónicos asociados	Arena, fondo marino y organismos potencialmente asociados	Extracción, turbidez, modificación puntual del relieve y tránsito de equipos	Dependiente de la cobertura bentónica y del control de extracción

La RE conserva una proporción importante de coberturas naturales; sin embargo, la franja costera presenta una transformación acumulada derivada de desarrollos turísticos, vialidades, asentamientos e infraestructura. En consecuencia, no puede calificarse integralmente como conservada o degradada: se trata de un sistema fragmentado en el que subsisten componentes naturales de alta importancia ecológica.

El AI mantiene procesos funcionales de circulación, transporte de sedimentos, intercambio de agua y conectividad entre la playa, la laguna y el arrecife. Su integridad se encuentra condicionada por la transformación de la línea de costa, la erosión, la infraestructura turística y la exposición a fenómenos hidrometeorológicos.

El AP presenta la condición más modificada en su porción terrestre. La playa ha perdido anchura y volumen, el cordón dunar histórico no se conserva de forma continua y la infraestructura hotelera se encuentra próxima al frente marino. En contraste, el fondo marino conserva un mosaico de sustratos y comunidades biológicas, por lo que su calidad ecológica no debe equipararse con la condición transformada de la playa.

III.3.4 Problemática ambiental existente

El principal proceso de deterioro identificado en el AP es el retroceso de la línea de costa. El análisis de imágenes correspondientes a 2005, 2006, 2009, 2014, 2015, 2019 y 2023 muestra una pérdida aproximada de 25 m en el frente del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, aunque la magnitud varía espacialmente a lo largo del litoral.

Este proceso tiene consecuencias ambientales y funcionales:

- Reducción del ancho de playa emergida.
- Disminución del volumen sedimentario disponible.
- Pérdida del relieve dunar histórico.
- Mayor exposición de la infraestructura al oleaje.
- Reducción de la capacidad de amortiguamiento frente a tormentas.
- Mayor frecuencia de inundación y sobrelavado.
- Pérdida o reducción del hábitat potencial para fauna de playa.
- Deterioro de la calidad escénica y recreativa del frente costero.

La erosión no responde a una causa única. Se relaciona con la interacción entre el oleaje, corrientes, disponibilidad de sedimentos, discontinuidades arrecifales, eventos hidrometeorológicos extremos, variaciones del nivel del mar y transformación acumulada de la franja costera.

La problemática regional también comprende la presión urbana y turística, la vulnerabilidad del acuífero kárstico, la posible introducción de contaminantes al ambiente marino, la fragmentación de coberturas terrestres, el tránsito sobre playas y la sensibilidad de los pastos marinos frente al incremento de turbidez y la ocupación física del fondo.

III.3.5 Fragilidad y capacidad de recuperación

La fragilidad ambiental del sistema se considera alta debido a que la costa presenta baja elevación, pendiente reducida, sustratos móviles y exposición recurrente a frentes fríos, tormentas y huracanes. Los ecosistemas presentes muestran diferentes capacidades de recuperación.

Tabla 75.**Fragilidad y capacidad de recuperación de los componentes relevantes**

Componente	Fragilidad	Capacidad de recuperación	Diagnóstico
Playa arenosa	Alta	Media cuando existe disponibilidad de sedimentos	Sistema dinámico actualmente afectado por déficit y pérdida de arena
Relieve dunar	Alta	Media con aporte de arena, revegetación y control del tránsito	El cordón histórico no se conserva de forma continua
Pastos marinos	Alta frente a enterramiento, turbidez y remoción	Variable según especie, extensión y condiciones del sitio	Requieren prevención, microlocalización y manejo especializado
Fondos de arena y algas	Media	Relativamente alta ante alteraciones puntuales y controladas	Presentan distribución dinámica, pero pueden sufrir cambios por deposición
Laja y gorgonáceas	Alta frente a contacto o sedimentación	Baja a media	Debe evitarse la ocupación y daño físico
Arrecife coralino	Muy alta	Baja y lenta	Componente regional esencial para la disipación del oleaje
Manglar	Muy alta	Baja ante modificaciones hidrológicas o remoción	Se encuentra fuera del AP y sin conexión superficial directa identificada
Fauna móvil	Media	Alta si conserva rutas de escape	Puede desplazarse ante perturbaciones graduales
Fauna bentónica de movilidad reducida	Alta	Media o baja	Requiere inspección previa y protección durante las maniobras
Paisaje costero	Alta	Media	Las modificaciones son visibles, pero pueden integrarse mediante

Componente	Fragilidad	Capacidad de recuperación	Diagnóstico
			materiales y formas compatibles

III.3.6 Tendencia ambiental sin Proyecto

En ausencia del Proyecto, la tendencia más probable es la continuidad de la variabilidad natural del litoral, superpuesta al proceso de erosión documentado. Esto no significa que la línea de costa retrocederá a una tasa constante, pues pueden presentarse periodos temporales de acumulación; sin embargo, no se identifican elementos que permitan asumir la recuperación espontánea y permanente del volumen de playa o del cordón dunar histórico.

La reducción progresiva del ancho de playa incrementaría la exposición de la infraestructura existente al oleaje, la inundación y la socavación. También disminuiría el espacio disponible para la recreación, la formación natural de depósitos arenosos y el tránsito o anidación potencial de tortugas marinas.

En el AI continuaría la redistribución de sedimentos por oleaje y corrientes, con respuestas estacionales y cambios abruptos durante eventos extremos. El aumento del nivel medio del mar, el calentamiento oceánico y una mayor proporción de ciclones intensos pueden incrementar la presión de largo plazo sobre la playa, la vegetación marina y el sistema arrecifal.

La vegetación de manglar y la selva secundaria dentro de la RE mantendrían su funcionamiento fuera del AP, aunque continuarían sujetas a las presiones regionales derivadas del crecimiento urbano, fragmentación, contaminación y modificación del territorio. El fondo marino conservaría su dinámica natural, pero seguiría expuesto a navegación, actividades recreativas, sedimentación, eventos hidrometeorológicos y deterioro regional de la calidad del agua.

III.3.7 Diagnóstico ambiental integrado

La Región Ecológica constituye un sistema costero de alta importancia ambiental, pero con una condición heterogénea derivada de la coexistencia de ecosistemas naturales y superficies urbanizadas. Los manglares, la vegetación secundaria, el acuífero kárstico, los pastos marinos, la laguna arrecifal y el arrecife mantienen funciones ecológicas relevantes, aunque se encuentran sujetos a presiones urbanas, turísticas y climáticas.

El Área de Influencia conserva procesos funcionales de oleaje, circulación y transporte sedimentario, pero presenta una sensibilidad elevada debido a la interacción entre la baja elevación del terreno, la exposición hidrometeorológica, la infraestructura costera y la presencia de comunidades marinas. Su problemática dominante es la erosión y la pérdida progresiva de capacidad de amortiguamiento del sistema playa-duna.

El Área del Proyecto se encuentra en un frente costero previamente modificado y con retroceso documentado de la línea de costa. Su porción terrestre presenta un grado de conservación bajo por la pérdida de playa y del relieve dunar histórico, mientras que su porción marina mantiene una

condición de conservación intermedia y una sensibilidad alta por la presencia de pastos marinos, fauna bentónica y fondos heterogéneos.

En conjunto, el sistema conserva funciones ecológicas esenciales, pero presenta signos evidentes de deterioro en el componente sedimentario y una elevada vulnerabilidad frente a eventos hidrometeorológicos y cambio climático. Por ello, cualquier intervención deberá mantener la circulación marina, evitar afectaciones al arrecife y a los fondos sensibles, controlar la dispersión de sedimentos, prevenir la contaminación, proteger la fauna y dar seguimiento a la evolución de la playa y de las comunidades bentónicas.

Finalmente, el diagnóstico muestra que la problemática ambiental del sitio no se limita a la reducción física del ancho de playa, sino que comprende la pérdida gradual de funciones de protección, almacenamiento sedimentario, amortiguamiento del oleaje, conservación del paisaje y disponibilidad de hábitat costero. Esta condición constituye la línea base sobre la cual deberán identificarse y valorarse los impactos ambientales del Proyecto.

CAPÍTULO IV.

IDENTIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN, COMPENSACIÓN Y RESTAURACIÓN

ÍNDICE DE CONTENIDO

IV. IDENTIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN, COMPENSACIÓN Y RESTAURACIÓN 8

IV.1 Metodología empleada para la identificación, análisis y evaluación de los impactos ambientales..... 8

IV.1.1 Enfoque espacial y temporal de la evaluación 10

IV.1.1.1 Región Ecológica 10

IV.1.1.2 Área de Influencia 10

IV.1.1.3 Área del Proyecto 10

IV.1.1.4 Dimensión temporal 11

IV.1.2 Identificación de los impactos ambientales existentes 11

IV.1.3 Desagregación de las obras y actividades del Proyecto 12

IV.1.4 Selección de componentes y subcomponentes ambientales 13

IV.1.5 Lista de verificación 14

IV.1.6 Matrices de interacción causa–efecto 14

IV.1.6.1 Matriz del medio abiótico 15

IV.1.6.2 Matriz del medio biótico, ecosistémico, perceptual y socioeconómico 16

IV.1.7 Definición de los impactos ambientales 17

IV.1.8 Caracterización de los impactos ambientales 17

IV.1.9 Valoración cuantitativa de los impactos 19

IV.1.10 Clasificación de la importancia 20

IV.1.11 Determinación de impactos negativos significativos 20

IV.1.12 Análisis de impactos acumulativos 21

IV.1.13 Análisis de impactos sinérgicos 21

IV.1.14 Evaluación de impactos residuales 22

IV.1.15 Selección y jerarquización de medidas ambientales 23

IV.1.16 Indicadores de cumplimiento y eficacia 23

IV.1.17 Programas ambientales considerados 24

IV.1.18 Verificación del Área de Influencia 24

IV.1.19 Justificación de la metodología seleccionada 25

IV.2 Impactos ambientales existentes en la Región Ecológica para el posterior análisis de impactos negativos significativos, sinérgicos, acumulativos y residuales del Proyecto 25

IV.2.1 Procedimiento para la identificación de los impactos existentes 26

IV.2.2 Desarrollo turístico y urbano de la franja costera 26

IV.2.3 Uso turístico y recreativo de la playa 27

IV.2.4 Navegación y tránsito de embarcaciones 27

IV.2.5 Erosión y retroceso de la línea de costa 28

IV.2.6 Disminución y discontinuidad de la función dunar 29

IV.2.7 Modificación histórica de la vegetación terrestre 29

IV.2.8 Presiones sobre el manglar regional 30

IV.2.9 Variabilidad y presión sobre la vegetación marina 30

IV.2.10 Perturbación de la fauna marina 31

IV.2.11 Presión potencial sobre tortugas marinas 31

IV.2.12 Generación y acumulación de residuos 32

IV.2.13 Arribazón de sargazo y materia orgánica 32

IV.2.14 Calidad del agua marina y riesgo de contaminación 33

IV.2.15 Transformación del paisaje costero 33

IV.2.16 Fenómenos hidrometeorológicos extremos 33

IV.2.17 Cambio climático 34

IV.2.18 Matriz de impactos ambientales existentes 34

IV.2.19 Jerarquización de los impactos existentes 36

IV.2.20 Relación con el análisis de impactos del Proyecto 37

IV.3 Impactos ambientales del Proyecto y medidas de prevención, mitigación, compensación y restauración 38

IV.3.1 Identificación, caracterización y valoración de los impactos ambientales del Proyecto 38

IV.3.1.1 Consideraciones para la identificación de los impactos 38

IV.3.1.2 Identificación y codificación de los impactos 39

IV.3.1.3 Caracterización de los impactos de la preparación del sitio 41

IV.3.1.4 Caracterización de los impactos de la construcción 41

IV.3.1.5 Impactos durante la operación y mantenimiento 46

IV.3.1.6 Matriz de valoración cuantitativa 47

IV.3.1.8 Síntesis de la valoración inicial 48
IV.3.2 Medidas de prevención, mitigación, restauración y compensación 49
IV.3.2.1 Catálogo de medidas ambientales 50
IV.3.2.2 Aplicación de medidas por impacto 51
IV.3.2.3 Descripción, periodicidad e indicadores 53
IV.3.2.4 Valoración residual 61
IV.3.3 Análisis integrado de impactos significativos, acumulativos, sinérgicos y residuales 62
IV.3.3.1 Impactos significativos después de las medidas 62
IV.3.3.2 Impactos acumulativos 63
IV.3.3.3 Impactos sinérgicos 63
IV.3.3.4 Impactos residuales 64
IV.4 Delimitación del Área de Influencia de acuerdo con la extensión e intensidad de los impactos ambientales significativos, sinérgicos, acumulativos y residuales 64
IV.4.1 Criterios de delimitación 65
IV.4.2 Relación entre la RE, AI y AP 66
IV.4.3 Alcance de los impactos significativos 66
IV.4.4 Calidad del agua 67
IV.4.5 Fondo y vegetación marina 67
IV.4.6 Fauna 68
IV.4.7 Línea de costa 68
IV.4.8 Gradiente espacial 68
IV.4.9 Conclusión de la delimitación 68
IV.5 Medidas de compensación y restauración ambiental 69
IV.5.1 Principios de aplicación 69
IV.5.2 Restauración de vegetación marina 69
IV.5.3 Restauración del sistema playa–duna 70
IV.5.4 Restauración de superficies temporales 70
IV.5.5 Restauración del fondo 70
IV.5.6 Restauración adaptativa de la línea de costa 71
IV.5.7 Compensación condicionada 71
IV.5.8 Programas relacionados 71

IV.5.9 Matriz de restauración y compensación 72
IV.5.10 Indicadores integrados 73
IV.6 Conclusión 73
IV.6.1 Impactos significativos 74
IV.6.2 Impactos acumulativos 74
IV.6.3 Impactos sinérgicos 75
IV.6.4 Impactos residuales 75
IV.6.5 Balance final 75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Secuencia metodológica para la identificación, caracterización y evaluación de los impactos ambientales del Proyecto. 9

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Obras y actividades consideradas para la identificación de impactos ambientales. 12
Tabla 2. Componentes y subcomponentes ambientales evaluados. 13
Tabla 3. Matriz preliminar de interacción entre las actividades del Proyecto y los componentes del medio abiótico. 15
Tabla 4.Matriz preliminar de interacción entre las actividades del Proyecto y los componentes bióticos, ecosistémicos y socioeconómicos. 16
Tabla 5. Atributos empleados para caracterizar los impactos ambientales. 17
Tabla 6. Escala de valoración cuantitativa. 19
Tabla 7. Categorías de importancia de los impactos negativos. 20
Tabla 8. Tipos de indicadores para el seguimiento de las medidas ambientales. 23
Tabla 9. Programas ambientales considerados en la evaluación. 24
Tabla 10. Impactos ambientales existentes en la Región Ecológica y su caracterización. 34
Tabla 11. Impactos existentes prioritarios para el análisis acumulativo y sinérgico. 36
Tabla 12. Impactos ambientales identificados por etapa del Proyecto. 39
Tabla 13. Caracterización de los impactos durante la preparación del sitio. 41
Tabla 14. Caracterización de los impactos derivados del aprovechamiento del Banco IRRM y conducción de arena. 41
Tabla 15. Caracterización de los impactos derivados de la instalación de geotubos. 42
Tabla 16. Caracterización de los impactos derivados del vertimiento de arena en V1 y V2. 43
Tabla 17. Caracterización de los impactos relacionados con las dunas y pasos elevados. 45
Tabla 18. Impactos contingentes relacionados con residuos y sustancias. 45
Tabla 19. Caracterización de los impactos durante la operación y mantenimiento. 46
Tabla 20. Matriz de valoración cuantitativa de los impactos ambientales del Proyecto. 47
Tabla 21. Distribución de los impactos por naturaleza y categoría. 48
Tabla 22. Medidas ambientales aplicables al Proyecto. 50
Tabla 23. Impactos ambientales y medidas a implementar durante las etapas del Proyecto. 51
Tabla 24. Matriz de valoración residual de los impactos negativos. 61
Tabla 25. Distribución de los impactos negativos después de aplicar las medidas. 62
Tabla 26. Análisis integrado de impactos acumulativos. 63
Tabla 27. Análisis integrado de impactos sinérgicos. 63
Tabla 28. Impactos residuales después de aplicar las medidas. 64
Tabla 29. Criterios empleados para verificar la delimitación del Área de Influencia. 65

Tabla 30. Extensión de los impactos significativos y relación con el AI. 66
Tabla 31. Gradiente espacial de intensidad de los impactos. 68
Tabla 32. Programas relacionados con las medidas de restauración y compensación. 71
Tabla 33. Medidas de restauración y compensación ambiental. 72
Tabla 34. Indicadores de cumplimiento y eficacia. 73
Tabla 35. Balance ambiental integrado del Proyecto. 75

IV. IDENTIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN, COMPENSACIÓN Y RESTAURACIÓN

IV.1 Metodología empleada para la identificación, análisis y evaluación de los impactos ambientales

La identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales del Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa se realizó mediante una metodología mixta que integra herramientas cualitativas, cuantitativas, cartográficas y de juicio técnico.

La metodología permite reconocer las relaciones causa–efecto entre las obras y actividades del Proyecto y los componentes ambientales susceptibles de modificación, así como distinguir los impactos directos, indirectos, positivos, negativos, temporales, permanentes, acumulativos, sinérgicos y residuales.

El análisis considera las características particulares del sistema litoral en el que se inserta el Proyecto, entre ellas:

- El proceso documentado de erosión y retroceso de la línea de costa.
- La dinámica de transporte litoral de sedimentos.
- La exposición a oleaje, nortes, ciclones tropicales y mareas de tormenta.
- La presencia de fondos arenosos, laja, macroalgas, pastos marinos y gorgonáceos.
- La localización del Proyecto dentro del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos.
- La posible presencia de especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010.
- La ocupación turística y urbana preexistente del frente costero.
- La sensibilidad ambiental de la playa, el fondo marino y las comunidades bentónicas.
- La dimensión espacial de la Región Ecológica (RE), el Área de Influencia (AI) y el Área del Proyecto (AP).

La evaluación se sustenta en la información técnica contenida en los capítulos anteriores de la presente Manifestación de Impacto Ambiental, particularmente en la descripción de las obras y actividades del Capítulo I y en la caracterización y diagnóstico ambiental de la RE, AI y AP desarrollados en el Capítulo III.

La secuencia metodológica empleada se presenta en la siguiente figura.

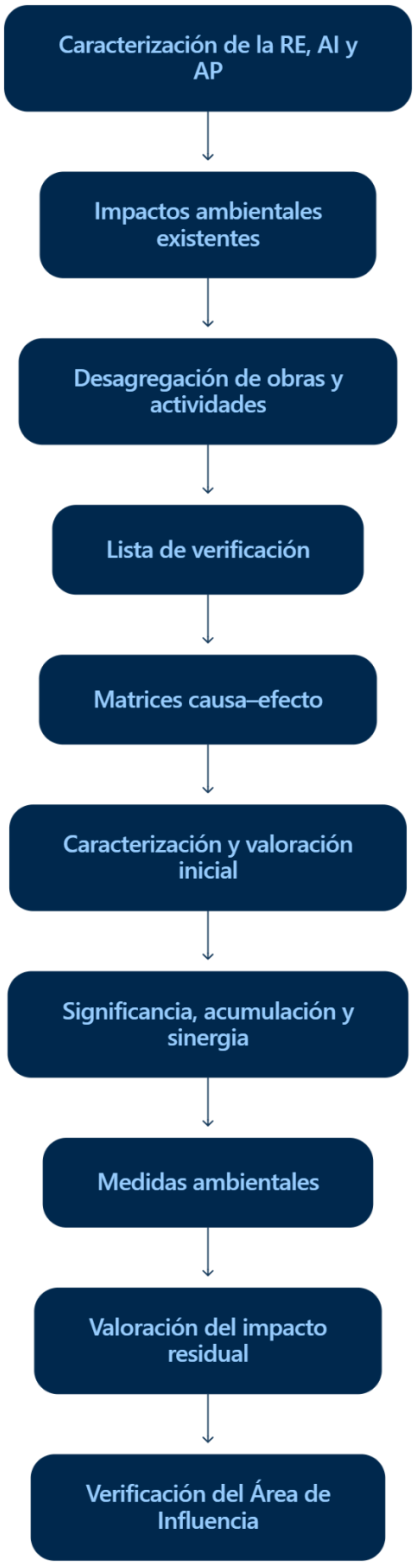


Figura 1. Secuencia metodológica para la identificación, caracterización y evaluación de los impactos ambientales del Proyecto.

IV.1.1 Enfoque espacial y temporal de la evaluación

La evaluación ambiental se desarrolló bajo un enfoque multiescalar, debido a que los efectos potenciales del Proyecto pueden manifestarse en diferentes ámbitos espaciales.

IV.1.1.1 Región Ecológica

La Región Ecológica representa la unidad territorial de análisis integral en la que se reconocen los procesos físicos, biológicos y antrópicos regionales relacionados con el Proyecto. Su delimitación considera la mesocelda litoral, el contexto territorial definido por los instrumentos de ordenamiento ecológico, la batimetría, los usos del suelo y vegetación, la Región Marina Prioritaria Punta Maroma–Nizuc y la continuidad del sistema costero-marino.

La RE tiene una superficie de 22,369,913.66 m².

En esta escala se analizarán principalmente:

- Las tendencias regionales de erosión y transformación de la costa.
- El desarrollo turístico y urbano.
- La conectividad entre ambientes terrestres, costeros y marinos.
- Las presiones acumulativas sobre la calidad ambiental.
- Los efectos del cambio climático y los eventos hidrometeorológicos extremos.
- La condición regional de las comunidades marinas y costeras.

IV.1.1.2 Área de Influencia

El Área de Influencia corresponde a la microcelda litoral dentro de la cual pueden manifestarse los efectos directos e indirectos de las obras, particularmente los relacionados con el oleaje, las corrientes costeras, el transporte de sedimentos, la evolución de la línea de costa y la continuidad de los hábitats marinos.

El AI tiene una superficie de **4,847,500.90 m²**.

Esta delimitación será verificada posteriormente con base en la extensión e intensidad de los impactos ambientales significativos, acumulativos, sinérgicos y residuales identificados en el presente capítulo.

IV.1.1.3 Área del Proyecto

El Área del Proyecto comprende las superficies ocupadas por:

- Las barreras de contención C1 y C2.
- Las barreras rompeolas.
- Los polígonos de vertimiento de arena V1 y V2.
- Las seis secciones de dunas artificiales.

- Los seis pasos elevados de duna.
- El Banco IRRM.

En esta escala se analizarán las modificaciones directas derivadas de la ocupación física, preparación del fondo, extracción y colocación de arena, instalación de geotubos, conformación de dunas y operación de maquinaria y equipo.

IV.1.1.4 Dimensión temporal

La evaluación comprende las etapas siguientes:

1. Preparación del sitio.
2. Construcción de las etapas 1, 2 y 3.
3. Conformación y revegetación de dunas artificiales.
4. Instalación de pasos elevados.
5. Operación y mantenimiento.
6. Cierre, desmantelamiento, abandono y restauración, cuando corresponda.

También se consideró si los efectos se manifiestan inmediatamente, en el corto o mediano plazo, de manera periódica o durante toda la vida útil de las obras.

IV.1.2 Identificación de los impactos ambientales existentes

Antes de evaluar los efectos atribuibles al Proyecto se identificaron las actividades, presiones y procesos que actualmente inciden sobre la Región Ecológica. Esta etapa permite establecer la condición de referencia y reconocer los procesos con los cuales podrían acumularse o interactuar los impactos del Proyecto.

Entre los principales procesos y actividades existentes se encuentran:

- Desarrollo hotelero, turístico y urbano en la franja costera.
- Uso recreativo de la playa y las aguas marinas someras.
- Navegación y tránsito de embarcaciones.
- Erosión y retroceso histórico de la línea de costa.
- Pérdida, reducción o discontinuidad histórica de formaciones dunares.
- Exposición a nortes, ciclones tropicales, oleaje extremo y mareas de tormenta.
- Cambios naturales y estacionales en la distribución de pastos marinos y macroalgas.
- Arribazón de sargazo.
- Generación y transporte de residuos en el ambiente costero.
- Cambio climático y ascenso progresivo del nivel medio del mar.

Los impactos asociados con estas condiciones serán caracterizados por separado en el apartado IV.2 y posteriormente se contrastarán con los impactos del Proyecto para identificar posibles procesos acumulativos o sinérgicos.

IV.1.3 Desagregación de las obras y actividades del Proyecto

Las obras y actividades fueron desagregadas hasta un nivel que permite identificar su mecanismo particular de interacción con el ambiente.

Tabla 1. Obras y actividades consideradas para la identificación de impactos ambientales.

Clave	Etapa	Obra o actividad
A1	Preparación del sitio	Delimitación y señalización de frentes de trabajo y zonas de seguridad
A2	Preparación del sitio	Movilización de personal, equipos, embarcaciones, bombas y materiales
A3	Preparación del sitio	Reconocimiento y microlocalización de estructuras y componentes sensibles
A4	Construcción	Extracción controlada de arena del Banco IRRM
A5	Construcción	Bombeo y conducción hidráulica de arena y agua marina
A6	Construcción	Preparación puntual del fondo y colocación de tapetes antisocavación y tubos de anclaje
A7	Construcción, etapa 1	Instalación e hidrollenado de 14 geotubos en las barreras de contención C1 y C2
A8	Construcción, etapa 2	Instalación e hidrollenado de 18 geotubos rompeolas
A9	Construcción, etapa 3	Vertimiento, distribución y conformación de arena en V1 y V2
A10	Restauración dunar	Conformación de seis dunas artificiales mediante núcleos de geotextil y cobertura arenosa
A11	Restauración dunar	Revegetación de 540 m² con aproximadamente 1,350 ejemplares de especies costeras nativas
A12	Construcción	Instalación de seis pasos elevados de duna
A13	Construcción	Manejo de materiales, residuos y servicios para el personal
A14	Operación y mantenimiento	Inspección de geotubos, tapetes antisocavación, anclajes y puertos de llenado
A15	Operación y mantenimiento	Mantenimiento del perfil arenoso y reposición controlada de arena, cuando resulte necesario
A16	Operación y mantenimiento	Mantenimiento de dunas, vegetación y pasos elevados
A17	Operación y mantenimiento	Monitoreo ambiental, topográfico, batimétrico, sedimentológico y biológico
A18	Cierre o desmantelamiento	Retiro de instalaciones temporales y recuperación de materiales y residuos
A19	Cierre o desmantelamiento	Retiro controlado de componentes deteriorados y restauración del fondo o superficies temporalmente ocupadas

El abastecimiento de combustibles se realizará exclusivamente fuera del área marina. Para el hidrollenado se utilizará agua marina sin aditivos, la cual retornará filtrada a través del geotextil.

IV.1.4 Selección de componentes y subcomponentes ambientales

Los componentes ambientales fueron seleccionados considerando:

- Su presencia dentro de la RE, AI o AP.
- Su posible interacción con las obras.
- Su sensibilidad ecológica.
- Su importancia funcional en el sistema litoral.
- Su protección jurídica.
- Su utilidad como indicador de cambio ambiental.
- La posibilidad de evaluar objetivamente sus modificaciones.

Tabla 2. Componentes y subcomponentes ambientales evaluados.

Medio	Componente	Subcomponente o factor ambiental
Abiótico	Agua marina	Calidad, transparencia, turbidez, sólidos suspendidos y riesgo de contaminación
Abiótico	Fondo marino	Relieve, profundidad, estabilidad y características del sustrato
Abiótico	Sedimentos	Granulometría, compatibilidad, movilidad y dispersión
Abiótico	Dinámica litoral	Oleaje, corrientes, transporte sedimentario, erosión y acreción
Abiótico	Playa y suelo costero	Perfil de playa, estabilidad, compactación y susceptibilidad a la erosión
Abiótico	Atmósfera	Emisiones de combustión y partículas
Abiótico	Ambiente sonoro	Ruido y vibraciones producidos por maquinaria y embarcaciones
Biótico	Vegetación marina	Pastos marinos, macroalgas y comunidades bentónicas fotosintéticas
Biótico	Fauna marina	Peces, crustáceos, moluscos, equinodermos, elasmobranquios y fauna bentónica móvil
Biótico	Tortugas marinas	Individuos en tránsito, alimentación, descanso o posible anidación
Biótico	Vegetación terrestre	Vegetación costera y especies empleadas en la revegetación
Biótico	Fauna terrestre	Aves, reptiles y mamíferos asociados con la franja costera
Ecosistémico	Hábitat	Refugio, alimentación, reproducción, conectividad y crianza

Medio	Componente	Subcomponente o factor ambiental
Ecosistémico	Servicios ambientales	Protección costera, regulación de la erosión, retención de sedimentos y calidad paisajística
Perceptual	Paisaje	Calidad visual, fragilidad, visibilidad e integración de las obras
Socioeconómico	Economía y empleo	Empleo temporal y contratación de servicios
Socioeconómico	Turismo y recreación	Uso de playa, seguridad y continuidad de actividades recreativas
Territorial	Área Natural Protegida	Objetos de conservación, zonificación y usos permitidos
Territorial	Zona costera	Ocupación de ZOFEMAT y área marina

IV.1.5 Lista de verificación

Se elaboró una lista de verificación para relacionar preliminarmente las obras y actividades con los componentes susceptibles de modificación.

Esta herramienta se utiliza como un primer filtro y no asigna todavía magnitud o significancia. Su función consiste en:

- Detectar las interacciones potenciales.
- Identificar efectos positivos y negativos.
- Reconocer los componentes que requieren un análisis detallado.
- Evitar que alguna actividad o factor ambiental relevante quede excluido.
- Identificar preliminarmente impactos directos, indirectos, acumulativos, sinérgicos o potencialmente residuales.

Las interacciones sin una relación causal técnicamente razonable no se trasladarán a la etapa de valoración.

IV.1.6 Matrices de interacción causa–efecto

Las matrices causa–efecto relacionan cada actividad con los componentes ambientales que podrían experimentar alguna modificación.

El símbolo ● representa una interacción potencial. Su presencia no significa necesariamente que el impacto sea negativo o significativo; indica que la relación deberá analizarse y caracterizarse posteriormente.

IV.1.6.1 Matriz del medio abiótico

Tabla 3. Matriz preliminar de interacción entre las actividades del Proyecto y los componentes del medio abiótico.

Actividad	Agua marina	Fondo marino	Sedimentos	Dinámica litoral	Playa y suelo costero	Atmósfera	Ambiente sonoro
A1. Delimitación y señalización	●				●		
A2. Movilización de equipos y materiales	●				●	●	●
A3. Reconocimiento y microlocalización		●			●		●
A4. Extracción del Banco IRRM	●	●	●	●		●	●
A5. Bombeo y conducción hidráulica	●	●	●		●	●	●
A6. Colocación de tapetes antisocavación y anclajes	●	●	●	●			●
A7. Barreras de contención	●	●	●	●	●	●	●
A8. Barreras rompeolas	●	●	●	●		●	●
A9. Vertimiento en V1 y V2	●	●	●	●	●	●	●
A10. Conformación de dunas			●	●	●	●	●
A11. Revegetación				●	●		
A12. Pasos elevados					●	●	●
A13. Manejo de materiales y residuos	●	●	●		●	●	●
A14. Inspección de estructuras	●	●			●	●	●
A15. Mantenimiento del perfil arenoso	●	●	●	●	●	●	●
A16. Mantenimiento de dunas y pasos			●	●	●	●	●
A17. Monitoreo ambiental	●	●	●	●	●		●
A18. Retiro de instalaciones temporales	●	●	●		●	●	●
A19. Desmantelamiento y restauración	●	●	●	●	●	●	●

IV.1.6.2 Matriz del medio biótico, ecosistémico, perceptual y socioeconómico

Tabla 4.Matriz preliminar de interacción entre las actividades del Proyecto y los componentes bióticos, ecosistémicos y socioeconómicos.

Actividad	Vegetación marina	Fauna marina	Tortugas marinas	Vegetación terrestre	Fauna terrestre	Hábitat y servicios	Paisaje	Turismo y economía	ANP
A1. Delimitación y señalización		•	•	•	•		•	•	•
A2. Movilización de equipos y materiales	•	•	•		•	•	•	•	•
A3. Reconocimiento y microlocalización	•	•	•	•	•	•		•	•
A4. Extracción del Banco IRRM	•	•	•			•	•	•	•
A5. Bombeo y conducción hidráulica	•	•	•			•	•	•	•
A6. Colocación de Tapetes antisocavación y anclajes	•	•				•	•		•
A7. Barreras de contención	•	•	•			•	•	•	•
A8. Barreras rompeolas	•	•	•			•	•	•	•
A9. Vertimiento en V1 y V2	•	•	•	•	•	•	•	•	•
A10. Conformación de dunas			•	•	•	•	•	•	•
A11. Revegetación			•	•	•	•	•	•	•
A12. Pasos elevados			•	•	•	•	•	•	•
A13. Manejo de materiales y residuos	•	•	•	•	•	•	•	•	•
A14. Inspección de estructuras	•	•	•			•	•	•	•
A15. Mantenimiento del perfil arenoso	•	•	•	•	•	•	•	•	•
A16. Mantenimiento de dunas y pasos			•	•	•	•	•	•	•
A17. Monitoreo ambiental	•	•	•	•	•	•		•	•
A18. Retiro de instalaciones temporales	•	•	•	•	•	•	•	•	•
A19. Desmantelamiento y restauración	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Las matrices tienen carácter preliminar. Cada interacción será examinada para determinar si efectivamente produce una modificación ambiental, evitando contabilizar como impacto una actividad que únicamente represente presencia física sin efecto medible o una medida ambiental ejecutada para prevenir afectaciones.

IV.1.7 Definición de los impactos ambientales

Cada impacto se formulará mediante una secuencia causal. Este procedimiento permite evitar denominaciones generales como "afectación al agua" o "daño a la fauna" y proporciona una descripción precisa del origen, mecanismo, receptor y manifestación del impacto.

La identificación distinguirá entre:

- **Aspecto ambiental:** elemento de una actividad que puede interactuar con el ambiente, como generación de ruido, ocupación del fondo o manejo de combustibles.
- **Impacto ambiental:** modificación efectiva o previsible del ambiente, como desplazamiento temporal de fauna, incremento de turbidez o cambio localizado en la cobertura bentónica.
- **Riesgo ambiental:** posibilidad de que ocurra un evento no programado, como una fuga de combustible o ruptura de un geotubo.

Los riesgos no se considerarán impactos consumados; se evaluarán de acuerdo con su probabilidad y consecuencias y se asociarán con medidas preventivas y de respuesta.

IV.1.8 Caracterización de los impactos ambientales

Cada impacto será caracterizado mediante los atributos presentados en la Tabla IV.5.

Tabla 5. Atributos empleados para caracterizar los impactos ambientales.

Atributo	Descripción
Naturaleza	Determina si la modificación es beneficiosa o perjudicial.
Relación causal	Distingue entre efectos directos e indirectos.
Acumulación	Determina si el impacto actúa de forma simple o aumenta por la concurrencia de acciones o presiones sucesivas.
Sinergia	Identifica si la interacción entre dos o más efectos produce una modificación superior a la suma de sus efectos individuales.
Extensión	Representa el ámbito espacial de manifestación: puntual, parcial o extenso.
Intensidad	Expresa el grado de modificación del componente: bajo, medio o alto.
Duración o persistencia	Determina si el efecto es temporal o permanente.
Momento	Indica si la manifestación es inmediata, de corto, mediano o largo plazo.
Periodicidad	Distingue efectos continuos, periódicos, recurrentes o irregulares.
Reversibilidad	Posibilidad de recuperación mediante procesos naturales.
Recuperabilidad	Posibilidad de restitución mediante intervención o medidas ambientales.

Atributo	Descripción
Probabilidad	Posibilidad razonable de que ocurra el impacto.
Residualidad	Permanencia de una modificación después de aplicar las medidas ambientales.
Contexto ecológico	Sensibilidad, representatividad y función del componente afectado.
Contexto normativo	Protección jurídica, restricciones de uso y límites ambientales aplicables.

Naturaleza

- **Positivo (+):** produce una mejora de la calidad, función o estabilidad ambiental o socioeconómica.
- **Negativo (–):** ocasiona pérdida, deterioro, perturbación o disminución de la calidad ambiental.

Efecto directo o indirecto

- **Directo:** ocurre en el mismo sitio y periodo en que se ejecuta la actividad.
- **Indirecto:** se manifiesta posteriormente o en un espacio distinto mediante una cadena de relaciones ambientales.

Extensión

- **Puntual:** se limita al frente de trabajo o huella inmediata de la actividad.
- **Parcial:** rebasa la huella directa, pero permanece dentro del AP o AI.
- **Extensa:** se manifiesta en una porción amplia del AI o alcanza la RE.

Intensidad

- **Baja:** modificación ligera, detectable pero sin afectar sustancialmente la estructura o función del componente.
- **Media:** modificación medible que altera parcialmente la condición o función del componente.
- **Alta:** modificación sustancial, pérdida de cobertura, función, integridad o calidad ambiental.

Persistencia

- **Temporal:** desaparece al concluir la actividad o dentro de un periodo ambientalmente corto.
- **Permanente:** permanece durante la vida útil del Proyecto o no desaparece espontáneamente en un plazo razonable.

Reversibilidad

- **Reversible:** el componente puede recuperar sus condiciones mediante procesos naturales.

- **Irreversible:** no puede recuperar por sí mismo las condiciones previas.

Recuperabilidad

- **Recuperable:** puede restituirse mediante medidas técnicamente viables.
- **Irrecuperable:** la restitución no es viable o no puede alcanzarse en una escala temporal ambientalmente razonable.

IV.1.9 Valoración cuantitativa de los impactos

La importancia de cada impacto se estimará mediante la suma ponderada de seis atributos principales.

Tabla 6. Escala de valoración cuantitativa.

Atributo	Condición	Valor
Forma de interacción (A)	Simple	1
	Acumulativa	3
	Sinérgica	5
Extensión (E)	Puntual	1
	Parcial	2
	Extensa	3
Intensidad (In)	Baja	1
	Media	4
	Alta	8
Persistencia (P)	Temporal	1
	Permanente	3
Reversibilidad (Rv)	Reversible	1
	Irreversible	3
Recuperabilidad (Rc)	Recuperable	1
	Irrecuperable	3

La importancia se calculará mediante la expresión:

$$Im = \pm (A + E + In + P + Rv + Rc)$$

Donde:

- **Im:** importancia del impacto.
- **A:** acumulación o interacción.
- **E:** extensión.
- **In:** intensidad.
- **P:** persistencia.
- **Rv:** reversibilidad.
- **Rc:** recuperabilidad.

- **±:** naturaleza positiva o negativa.

El valor absoluto mínimo será de 6 y el máximo de 25. El signo se asignará después de evaluar los atributos: positivo para efectos beneficiosos y negativo para efectos perjudiciales.

La acumulación y la sinergia se documentarán adicionalmente como propiedades independientes en la ficha descriptiva. Cuando un impacto presente ambas características, se asignará el valor 5 en la fórmula y se registrará expresamente como acumulativo y sinérgico.

IV.1.10 Clasificación de la importancia

Tabla 7. Categorías de importancia de los impactos negativos.

Valor absoluto	Categoría	Interpretación
6–9	Compatible	Alteración de baja intensidad, localizada y de recuperación inmediata o de corto plazo.
10–14	Moderado	Alteración que requiere medidas de manejo y un periodo determinado para alcanzar condiciones aceptables.
15–19	Severo	Alteración relevante cuya recuperación exige medidas específicas y seguimiento prolongado.
20–25	Crítico	Alteración superior al umbral ambiental aceptable o que implica pérdida permanente o irrecuperable del componente.

Para los impactos positivos se utilizarán los mismos intervalos absolutos, clasificados como de importancia baja, media, alta o muy alta. Estas categorías expresarán el nivel de beneficio esperado y no la severidad de una afectación.

IV.1.11 Determinación de impactos negativos significativos

La significancia no dependerá exclusivamente del resultado numérico. La puntuación se complementará con juicio técnico basado en la sensibilidad ambiental, la función ecológica del componente y las disposiciones normativas aplicables.

Un impacto se considerará negativo significativo cuando se presente uno o varios de los siguientes supuestos:

1. Alcance una categoría severa o crítica.
2. Afecte sustancialmente la estructura, composición o función de un ecosistema.
3. Incida sobre especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010.
4. Comprometa hábitats relevantes u objetos de conservación del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos.
5. Produzca pérdida relevante de pastos marinos, formaciones coralinas u otras comunidades bentónicas sensibles.

6. Modifique de manera sustancial el transporte sedimentario, oleaje, corrientes o estabilidad de la línea de costa.
7. Genere erosión inducida o acumulación no prevista en sectores colindantes.
8. Produzca contaminación o incumplimiento de una disposición normativa.
9. Sea irreversible, irrecuperable o de larga duración.
10. Presente acumulación o sinergia con presiones ambientales existentes.
11. Permanezca como impacto residual relevante después de aplicar las medidas.
12. Reduzca la integridad, conectividad o resiliencia del sistema litoral.

Por lo anterior, un impacto moderado podrá considerarse significativo cuando recaiga sobre un receptor de alta sensibilidad ecológica o jurídica. Asimismo, una puntuación numérica baja no podrá utilizarse para justificar una actividad expresamente prohibida.

IV.1.12 Análisis de impactos acumulativos

Un impacto será considerado acumulativo cuando su efecto se incremente progresivamente por la concurrencia espacial o temporal con otros impactos derivados de actividades pasadas, presentes o razonablemente previsibles.

Para determinar su existencia se analizarán:

- El componente ambiental receptor.
- La coincidencia espacial de las presiones.
- Su simultaneidad o continuidad temporal.
- La existencia de una vía común de exposición.
- La capacidad de recuperación entre eventos.
- La tendencia previa de deterioro o recuperación.
- La contribución incremental del Proyecto.

En el Proyecto se prestará especial atención a la acumulación relacionada con:

- La erosión histórica y el retroceso de la línea de costa.
- La ocupación turística del litoral.
- La perturbación recurrente de fauna por presencia humana y navegación.
- La pérdida fragmentaria de vegetación marina.
- La turbidez y sedimentación temporal.
- La generación y dispersión de residuos.
- La exposición a huracanes, nortes y ascenso del nivel medio del mar.

El análisis distinguirá entre la condición preexistente y la contribución adicional atribuible al Proyecto.

IV.1.13 Análisis de impactos sinérgicos

Un impacto será considerado sinérgico cuando su interacción con otra presión produzca un efecto conjunto superior al que se obtendría mediante la suma independiente de sus efectos.

Para reconocerlo se evaluará:

- La concurrencia de dos o más mecanismos de alteración.
- La sensibilidad del receptor común.
- La existencia de retroalimentaciones ambientales.
- El aumento de intensidad, extensión o duración.
- La reducción de la capacidad de recuperación.
- La generación de nuevas vías de afectación.

Entre las interacciones que requieren atención se encuentran:

- Turbidez más sedimentación sobre comunidades bentónicas.
- Ocupación del fondo más fragmentación de parches de vegetación marina.
- Oleaje extremo más erosión preexistente.
- Ascenso del nivel del mar más reducción del ancho de playa.
- Presencia de estructuras más cambios en el transporte sedimentario.
- Iluminación, ruido y tránsito humano durante una eventual presencia de tortugas marinas.
- Daño de geotextiles más liberación y dispersión de fragmentos sintéticos.

IV.1.14 Evaluación de impactos residuales

Los impactos residuales se determinarán después de incorporar las medidas de prevención, mitigación, restauración o compensación.

La evaluación se realizará en dos momentos:

1. **Impacto potencial:** modificación esperada sin considerar las medidas ambientales.
2. **Impacto residual:** modificación remanente después de considerar la aplicación y eficacia técnicamente razonable de las medidas.

Se reconocerá un impacto residual cuando permanezca una modificación medible, aun después de ejecutar correctamente las medidas previstas.

La eficacia de las medidas no se asumirá como absoluta. Se analizará en función de:

- Viabilidad técnica.
- Cobertura espacial.
- Oportunidad de aplicación.
- Duración.
- Capacidad de control.
- Posibilidad de verificación.
- Necesidad de mantenimiento.
- Incertidumbre asociada.

Entre los efectos que deberán analizarse por su posible carácter residual se encuentran la ocupación física del fondo por los geotubos y sus elementos de soporte, el cambio paisajístico asociado con las

estructuras, la modificación localizada del sustrato y cualquier pérdida de vegetación marina que no pueda evitarse mediante la microlocalización.

IV.1.15 Selección y jerarquización de medidas ambientales

Las medidas serán seleccionadas conforme a la siguiente jerarquía:

1. **Prevención:** evita que el impacto ocurra.
2. **Mitigación:** reduce su magnitud, extensión, intensidad o duración.
3. **Restauración:** restablece las condiciones o procesos ambientales afectados.
4. **Compensación:** genera beneficios ambientales equivalentes o superiores respecto de impactos residuales que no puedan prevenirse o restaurarse.

Cada medida se identificará con una clave consecutiva:

Tipo	Clave
Prevención	P1, P2, P3…
Mitigación	M1, M2, M3…
Compensación	C1, C2, C3…
Restauración	R1, R2, R3…

IV.1.16 Indicadores de cumplimiento y eficacia

Cada medida contará con indicadores objetivos, verificables, medibles y reproducibles.

Tabla 8. Tipos de indicadores para el seguimiento de las medidas ambientales.

Indicador	Finalidad	Ejemplos aplicables
Cumplimiento	Acreditar que la medida fue ejecutada	Metros de malla antidispersión instalados; número de recorridos; volumen de residuos retirado
Eficacia	Determinar si se alcanzó el resultado ambiental	Ausencia de pluma fuera del área delimitada; supervivencia de vegetación; estabilidad de la línea de costa
Tendencia	Identificar cambios en el tiempo	Variación del perfil de playa; cobertura de pastos marinos; transparencia del agua
Respuesta	Activar acciones correctivas	Suspensión temporal; reparación de mallas; reubicación de estructuras; reposición de plantas

Los indicadores deberán especificar:

- Unidad de medida.
- Método de obtención.
- Frecuencia.
- Condición inicial o línea base.

- Meta.
- Umbral de alerta.
- Acción correctiva.
- Medio de verificación.
- Responsable de su registro.

IV.1.17 Programas ambientales considerados

Los programas funcionarán como instrumentos para agrupar medidas relacionadas, sin sustituir la identificación individual de cada acción dentro de la tabla de impactos.

Tabla 9. Programas ambientales considerados en la evaluación.

Programa	Propósito general
Programa de Vigilancia Ambiental	Supervisar el cumplimiento y eficacia de las medidas y condicionantes
Programa de Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos	Prevenir la dispersión y disposición inadecuada de residuos
Programa de Monitoreo de la Línea de Costa y la Calidad del Agua Marina	Evaluar la evolución del perfil costero y detectar erosión o acumulación no prevista/ Evaluar turbidez, transparencia y otras condiciones relacionadas con las obras
Programa de Protección, Rescate y Reubicación de Fauna Marina	Evitar lesiones o mortalidad de fauna durante las maniobras
Programa de Protección y Monitoreo de Tortugas Marinas	Prevenir perturbaciones durante la temporada de anidación y atender eventuales registros
Programa de Conservación, Manejo y Restauración de Vegetación Marina	Prevenir, minimizar y restaurar la afectación de pastos marinos y comunidades bentónicas

IV.1.18 Verificación del Área de Influencia

Una vez evaluados los impactos, se comprobará que la microcelda litoral delimitada como Área de Influencia contenga el alcance máximo razonablemente previsible de los efectos directos, indirectos, significativos, acumulativos, sinérgicos y residuales.

La verificación considerará:

- Dispersión de sedimentos y turbidez.
- Transporte y redistribución de arena.
- Cambios locales en oleaje y corrientes.
- Evolución de la línea de costa.

- Posibles efectos sobre tramos colindantes.
- Continuidad de las comunidades bentónicas.
- Desplazamiento temporal de fauna.
- Extensión de la ocupación del fondo.
- Alcance de las medidas de restauración y seguimiento.

Si un impacto significativo rebasa la microcelda delimitada, el AI deberá ajustarse para incluir su ámbito de manifestación. Si los resultados confirman que los efectos permanecen contenidos dentro de ella, se conservará la delimitación de **4,847,500.90 m²**.

IV.1.19 Justificación de la metodología seleccionada

La metodología fue seleccionada porque combina la identificación sistemática mediante listas y matrices con una valoración cuantitativa y una interpretación técnica contextualizada.

Resulta apropiada para el Proyecto porque:

- Permite analizar separadamente obras costeras, marinas y de restauración dunar.
- Distingue los efectos de la extracción, conducción y colocación de arena.
- Identifica las interacciones particulares de las barreras de contención y rompeolas.
- Incorpora la sensibilidad de pastos marinos, fauna y hábitats bentónicos.
- Considera la posible presencia de tortugas marinas.
- Integra las restricciones derivadas del Área Natural Protegida.
- Distingue los efectos del Proyecto de los procesos erosivos preexistentes.
- Examina las escalas del AP, AI y RE.
- Permite valorar los impactos antes y después de las medidas.
- Analiza expresamente acumulación, sinergia y residualidad.
- Vincula cada impacto con medidas e indicadores verificables.
- Permite revisar objetivamente la delimitación del Área de Influencia.

En consecuencia, el procedimiento proporciona una base técnica sistemática, trazable y precautoria para identificar, describir, jerarquizar y manejar los impactos ambientales asociados con el Proyecto, sin depender exclusivamente de una puntuación matemática y prestando especial atención a la dinámica litoral, la calidad del ambiente marino, la vegetación sumergida, la fauna silvestre y los objetos de conservación del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos.

IV.2 Impactos ambientales existentes en la Región Ecológica para el posterior análisis de impactos negativos significativos, sinérgicos, acumulativos y residuales del Proyecto

La evaluación de los impactos ambientales del Proyecto requiere partir del reconocimiento de las condiciones y modificaciones que actualmente se presentan en la Región Ecológica (RE), debido a que el sistema costero-marino no constituye un ambiente aislado ni carente de intervenciones previas. En él confluyen procesos naturales, actividades turísticas y urbanas, navegación, recreación, fenómenos hidrometeorológicos y transformaciones históricas del litoral.

El análisis de los impactos existentes permite establecer la condición ambiental de referencia, diferenciar las modificaciones previas de aquellas atribuibles al Proyecto e identificar los componentes que actualmente se encuentran sometidos a presión. Asimismo, constituye la base para determinar si los impactos del Proyecto pueden sumarse a otros efectos, interactuar sinérgicamente con ellos o permanecer como modificaciones residuales.

La Región Ecológica comprende una superficie de 22,369,913.66 m² e integra ambientes terrestres, costeros y marinos. Conforme a la cartografía de uso del suelo y vegetación y a la caracterización ambiental desarrollada en el Capítulo III, en esta unidad se encuentran asentamientos humanos, áreas de vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia, manglar y una superficie marina que incluye fondos arenosos, comunidades de pastos marinos, macroalgas, sedimentos, laja, gorgonáceos y formaciones arrecifales.

La presencia de manglar dentro de la RE no significa que las obras del Proyecto se desarrollen sobre este ecosistema. El manglar se encuentra en la porción continental y en predios distintos, sin superposición con el Área del Proyecto. No obstante, se conserva como componente regional por su importancia ecológica y por su relación funcional general con el sistema costero de Puerto Morelos.

IV.2.1 Procedimiento para la identificación de los impactos existentes

Los impactos ambientales existentes fueron identificados mediante la integración de:

- Cartografía de uso del suelo y vegetación.
- Caracterización física y biológica de la RE, AI y AP.
- Análisis multitemporal de la línea de costa.
- Distribución regional y local de las comunidades bentónicas.
- Caracterización de la dinámica litoral.
- Contexto urbano y turístico.
- Zonificación del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos.
- Información relativa a fenómenos hidrometeorológicos y cambio climático.
- Evidencias cartográficas e históricas de transformación del frente costero.

Para cada presión se identificó el componente receptor, la modificación ambiental existente y sus características en términos de naturaleza, relación causal, duración, extensión, intensidad, acumulación y sinergia.

Los procesos naturales, como huracanes y nortes, no constituyen impactos ambientales de origen antrópico; sin embargo, se incorporan como factores de presión porque modifican la playa, el fondo marino y los hábitats costeros, además de que pueden interactuar con las alteraciones derivadas de las actividades humanas.

IV.2.2 Desarrollo turístico y urbano de la franja costera

La Región Ecológica comprende un sector de Puerto Morelos en el que existe infraestructura turística, hotelera, vial y de servicios. Esta ocupación ha transformado parcialmente la configuración original del territorio y ha incrementado la presencia humana en la franja costera.

Entre las principales modificaciones asociadas con este proceso se encuentran:

- Sustitución de coberturas naturales por edificaciones, vialidades y áreas de servicio.
- Fragmentación y discontinuidad de la vegetación costera.
- Incremento de superficies impermeables.
- Modificación de la calidad visual del paisaje.
- Aumento del tránsito de personas y vehículos.
- Incremento en la demanda de agua, energía y servicios.
- Generación continua de residuos sólidos urbanos.
- Mayor presión recreativa sobre la playa y el medio marino.

La transformación no es uniforme en toda la RE. Se concentra principalmente en la franja turística y en los asentamientos humanos, mientras que otras superficies conservan manglar, vegetación secundaria y ambientes marinos.

Por su permanencia y extensión, la urbanización constituye una presión acumulativa. Su importancia para la evaluación radica en que los impactos temporales del Proyecto, como ruido, tránsito de personal o generación de residuos, se manifestarán en un entorno donde estas presiones ya existen.

IV.2.3 Uso turístico y recreativo de la playa

La playa y las aguas marinas someras son utilizadas para recreación, natación, tránsito peatonal y actividades turísticas. Esta utilización es congruente con la vocación turística del sector y con la Subzona de Uso Recreativo Intensivo del Parque Nacional; no obstante, la concentración de usuarios puede generar modificaciones localizadas.

Los efectos existentes o potenciales asociados con el uso recreativo comprenden:

- Compactación superficial de la arena.
- Tránsito disperso sobre la franja costera.
- Perturbación temporal de aves y fauna de playa.
- Riesgo de interferencia con tortugas marinas durante la temporada de anidación.
- Generación o abandono accidental de residuos.
- Incremento de ruido y presencia humana.
- Alteración temporal de la tranquilidad y naturalidad del paisaje.

Estas modificaciones son generalmente localizadas, recurrentes y de intensidad baja a media. Pueden adquirir un carácter acumulativo cuando se presentan diariamente o durante temporadas de alta ocupación turística.

IV.2.4 Navegación y tránsito de embarcaciones

En el ambiente marino de la RE se desarrollan actividades de navegación, particularmente en las zonas previstas para este uso dentro del Parque Nacional. Las embarcaciones constituyen una fuente preexistente de ruido, movimiento, emisiones atmosféricas y perturbación de la fauna.

Sus principales efectos potenciales incluyen:

- Incremento intermitente del ruido subacuático.
- Desplazamiento temporal de peces, tortugas y otros organismos móviles.
- Resuspensión localizada de sedimentos en aguas someras.
- Riesgo de colisión con fauna marina.
- Riesgo de fugas accidentales de combustibles o lubricantes.
- Daño al fondo y vegetación sumergida cuando el anclaje se realiza fuera de sitios adecuados.
- Emisiones de gases de combustión.

No se dispone de evidencia que permita afirmar que estas actividades hayan generado una contaminación permanente en el AP; por ello, los efectos se reconocen como presiones y riesgos existentes, cuya intensidad depende del número, tipo, velocidad y comportamiento de las embarcaciones.

IV.2.5 Erosión y retroceso de la línea de costa

El proceso ambiental más relevante para el Proyecto corresponde al retroceso de la línea de costa frente al Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa.

El análisis multitemporal de las posiciones de la línea de costa correspondientes a 2005, 2006, 2009, 2014, 2015, 2019 y 2023 evidencia variaciones asociadas con ciclos de erosión y acreción. No obstante, el balance observado muestra una tendencia erosiva y un retroceso del orden de 25 m en el sector analizado.

Este valor representa el desplazamiento aproximado identificado entre las posiciones históricas comparadas. La respuesta de la playa ha sido variable y se relaciona con:

- Oleaje ordinario y extraordinario.
- Corrientes costeras.
- Transporte longitudinal y transversal de sedimentos.
- Tormentas tropicales y huracanes.
- Mareas de tormenta.
- Cambios estacionales del perfil de playa.
- Discontinuidades en la protección arrecifal.
- Ocupación y transformación histórica del frente costero.
- Posible reducción en la disponibilidad local de sedimentos.

La erosión ha ocasionado una disminución del ancho de playa, reducción de su volumen sedimentario y mayor exposición de la infraestructura costera. También ha reducido la superficie disponible para que el sistema absorba los cambios estacionales y la energía asociada con eventos extremos.

Se trata de un impacto existente negativo, directo e indirecto, persistente, de intensidad alta en el tramo frente al inmueble y con carácter acumulativo. Además, puede interactuar sinérgicamente con huracanes, nortes, mareas de tormenta y ascenso del nivel medio del mar.

IV.2.6 Disminución y discontinuidad de la función dunar

Las imágenes históricas de 2005 y 2006 muestran la presencia de acumulaciones arenosas y formas dunares en el frente costero de la RE. En la condición reciente, la franja presenta una reducción o discontinuidad de estas formaciones, asociada con el retroceso de la costa y la transformación del frente turístico.

La disminución de la función dunar implica:

- Menor capacidad de almacenamiento temporal de arena.
- Reducción del intercambio natural de sedimentos entre playa y duna.
- Menor protección ante oleaje extraordinario e inundación.
- Disminución del hábitat disponible para vegetación costera.
- Mayor vulnerabilidad del frente construido.
- Pérdida parcial de la continuidad del sistema playa–duna.
- Menor resiliencia frente a eventos hidrometeorológicos.

Este impacto es negativo, persistente y acumulativo. Su intensidad se considera media a alta en el tramo directamente analizado, debido a que no solamente representa la pérdida de una forma topográfica, sino también la disminución de funciones de protección, retención de sedimentos y soporte de vegetación costera.

IV.2.7 Modificación histórica de la vegetación terrestre

La cartografía de Uso del Suelo y Vegetación Serie VII del INEGI muestra que la Región Ecológica incluye manglar, vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia, asentamientos humanos y áreas desprovistas de vegetación.

La presencia de asentamientos humanos y desarrollos turísticos evidencia una transformación histórica de parte de la cobertura terrestre. Entre sus efectos se encuentran:

- Reducción y fragmentación de la vegetación natural.
- Sustitución de comunidades originales por infraestructura y áreas manejadas.
- Disminución de refugios para fauna terrestre.
- Incremento del efecto de borde.
- Modificación del paisaje.
- Presencia potencial de especies ornamentales o introducidas.

Estas modificaciones se concentran fuera del Área del Proyecto y no implican que las obras propuestas removerán manglar o vegetación secundaria de selva mediana subperennifolia. No obstante, representan una presión regional persistente y acumulativa que debe considerarse en la evaluación de los efectos del Proyecto sobre la vegetación costera, paisaje y fauna terrestre.

IV.2.8 Presiones sobre el manglar regional

El manglar constituye la cobertura terrestre de mayor superficie dentro de la RE; sin embargo, sus polígonos cartográficos no se superponen con las obras del Proyecto ni con los buffers de 100 m trazados a partir de V1 y V2. Estos últimos fueron seleccionados por ser los polígonos de intervención más cercanos a la porción continental y por comprender el ámbito en el que se conformarán las dunas artificiales.

El desarrollo urbano, la infraestructura y la actividad turística regional pueden representar presiones generales sobre los humedales costeros, como fragmentación territorial, generación de residuos, cambios en el uso del suelo y deterioro de la calidad del agua. No obstante, con la información disponible no se atribuyen al Proyecto ni se afirma la existencia de una afectación específica sobre el manglar de la RE.

Para efectos del análisis acumulativo se considerará que:

- El Proyecto no removerá, rellenará, podará o trasplantará manglar.
- Las obras no se encuentran dentro de vegetación de manglar.
- No se identificó una conexión superficial directa entre el AP y los polígonos de manglar.
- No se prevé la interrupción de flujos hidrológicos hacia dicho ecosistema.
- La protección del manglar continuará siendo una condición regional relevante.

Por lo tanto, el manglar no se identifica como un receptor directo de los impactos ordinarios del Proyecto, aunque se mantendrá como componente precautorio frente a eventos accidentales de contaminación.

IV.2.9 Variabilidad y presión sobre la vegetación marina

La Región Ecológica y el Área de Influencia contienen un mosaico de fondos arenosos, pastos marinos, macroalgas, laja, sedimentos, gorgonáceos y formaciones arrecifales.

Las comunidades sumergidas son dinámicas. Su distribución puede variar como respuesta a:

- Estacionalidad.
- Oleaje y tormentas.
- Movilidad de sedimentos.
- Disponibilidad de luz.
- Turbidez.
- Enterramiento o exposición del sustrato.
- Temperatura del agua.
- Arribazón y descomposición de macroalgas.
- Actividades náuticas.
- Alteraciones físicas localizadas.

La cartografía bentónica regional representa las condiciones registradas durante las campañas e imágenes empleadas para su elaboración y no implica que los límites de cada comunidad permanezcan invariables.

En el Área del Proyecto se identificaron parches de pastos marinos y otras unidades bentónicas. Antes de la ejecución del Proyecto existe, por tanto, una condición heterogénea y variable, susceptible de cambios naturales y antrópicos.

Las principales presiones preexistentes sobre estas comunidades son la movilidad del sedimento, los eventos extremos, la navegación, el posible anclaje, la turbidez localizada y las variaciones estacionales. No se atribuye a estas presiones una pérdida cuantificada de vegetación marina, debido a que no se cuenta con una serie temporal específica de cobertura para el AP.

IV.2.10 Perturbación de la fauna marina

La fauna marina regional se relaciona con fondos arenosos, pastos marinos, macroalgas, laja y ambientes arrecifales. En el AP se registraron peces, moluscos, crustáceos, equinodermos y elasmobranquios mediante transectos visuales sin captura.

La presencia de actividades turísticas, navegación y tránsito humano representa una fuente preexistente de perturbación. Los principales efectos potenciales consisten en:

- Desplazamiento temporal de organismos.
- Interrupción momentánea de actividades de alimentación.
- Incremento del ruido subacuático.
- Riesgo de colisiones.
- Alteración localizada del fondo por anclaje.
- Presión sobre sitios de refugio y alimentación.
- Exposición a residuos o contaminantes accidentales.

La mayoría de estos efectos son intermitentes y localizados; sin embargo, pueden acumularse cuando las actividades se realizan de manera recurrente.

IV.2.11 Presión potencial sobre tortugas marinas

Durante los recorridos realizados en el AP no se registraron tortugas marinas ni evidencias de anidación. Sin embargo, esta ausencia de observaciones no permite descartar su tránsito, alimentación, descanso o eventual aproximación a la playa, debido a que el litoral de Quintana Roo forma parte de su ámbito de distribución.

Las presiones existentes que podrían afectar a las tortugas comprenden:

- Iluminación artificial dirigida hacia la playa o el mar.
- Tránsito nocturno de personas.
- Ruido y actividades recreativas.
- Navegación.

- Presencia de mobiliario u obstáculos.
- Compactación de arena.
- Residuos sólidos.
- Pérdida o reducción del ancho de playa.
- Erosión del perfil costero.

Aunque no se comprobó anidación en el AP, las tortugas serán tratadas como un receptor ambiental potencial y de alta sensibilidad jurídica. La evaluación posterior analizará si las actividades del Proyecto pueden acumularse con estas presiones y establecerá medidas preventivas durante la temporada correspondiente.

IV.2.12 Generación y acumulación de residuos

La ocupación turística y urbana de la costa produce residuos sólidos urbanos de manera continua. A ello se suma la posibilidad de que las corrientes transporten residuos desde sectores diferentes al AP.

La disposición inadecuada o dispersión de residuos puede ocasionar:

- Deterioro de la calidad visual.
- Presencia de plásticos en playa y mar.
- Ingestión o enredo de fauna.
- Contaminación localizada del suelo y agua.
- Obstrucción o alteración de microhábitats.
- Incremento de la presión sobre el Área Natural Protegida.

No se afirma la existencia de una acumulación permanente de residuos dentro del AP; el impacto se reconoce como una presión regional recurrente y prevenible. Esta condición será relevante para evaluar la generación temporal de residuos de construcción, embalajes y restos de geotextil.

IV.2.13 Arribazón de sargazo y materia orgánica

La llegada estacional de sargazo constituye un proceso regional que puede modificar temporalmente las condiciones de la playa y las aguas someras.

Cuando se acumula y descompone puede producir:

- Modificación del paisaje.
- Olores.
- Disminución localizada del oxígeno disuelto.
- Cambios en las condiciones del agua y sedimento.
- Alteración temporal del uso recreativo.
- Necesidad de retiro y manejo del material acumulado.
- Presencia de residuos mezclados con la biomasa.

La arribazón de sargazo no constituye un impacto atribuible al Proyecto. No obstante, representa una condición estacional que puede interferir con las actividades de construcción y monitoreo, por lo que

no deberá mezclarse con la arena utilizada para el hidrollenado, vertimiento o conformación de dunas.

IV.2.14 Calidad del agua marina y riesgo de contaminación

El ambiente marino de la RE se encuentra sujeto a presiones asociadas con el desarrollo urbano y turístico, la navegación, la generación de residuos y las descargas regionales.

Los principales riesgos existentes comprenden:

- Descarga o arrastre de contaminantes desde zonas urbanizadas.
- Fugas accidentales de combustibles o lubricantes.
- Disposición inadecuada de residuos.
- Descomposición de materia orgánica.
- Incrementos temporales de turbidez por oleaje, tormentas o actividades náuticas.

La calidad del agua será un componente prioritario durante la evaluación del bombeo, hidrollenado, extracción y vertimiento de arena.

IV.2.15 Transformación del paisaje costero

El paisaje de la RE presenta una combinación de elementos naturales y antrópicos. En la porción marina se conservan valores visuales asociados con el mar Caribe, la laguna arrecifal, los fondos someros y el arrecife; en la porción terrestre existe una presencia considerable de hoteles, infraestructura, vialidades y servicios.

La transformación paisajística existente comprende:

- Artificialización parcial del frente costero.
- Reducción de la naturalidad visual en sectores urbanizados.
- Presencia permanente de infraestructura turística.
- Uso intensivo de la playa.
- Contraste entre áreas construidas y remanentes de vegetación.
- Reducción del ancho de playa por erosión.

La condición paisajística es acumulativa, debido a que deriva de intervenciones sucesivas. La evaluación del Proyecto considerará si los geotubos, señalización y actividades de construcción incrementarán temporal o permanentemente esta modificación y si la restauración de la playa y las dunas producirá beneficios paisajísticos y funcionales.

IV.2.16 Fenómenos hidrometeorológicos extremos

Puerto Morelos se encuentra expuesto a nortes, tormentas tropicales y huracanes capaces de producir:

- Oleaje elevado.

- Vientos intensos.
- Marea de tormenta.
- Inundación costera.
- Erosión rápida de la playa.
- Transporte de grandes volúmenes de sedimento.
- Daños en vegetación e infraestructura.
- Modificación de las comunidades bentónicas.

Estos fenómenos no constituyen impactos antrópicos, pero representan factores de perturbación natural que controlan la evolución del litoral. Sus efectos pueden ser directos, intensos y temporalmente breves, aunque las modificaciones resultantes pueden permanecer durante periodos prolongados.

También presentan sinergia con la pérdida de playa, la discontinuidad dunar y la ocupación de la franja costera, debido a que dichos procesos reducen la capacidad del sistema para amortiguar el oleaje y la inundación.

IV.2.17 Cambio climático

El cambio climático constituye una presión de largo plazo que puede incrementar la vulnerabilidad del litoral mediante:

- Ascenso del nivel medio del mar.
- Aumento de la frecuencia de inundación costera.
- Cambios en la temperatura del océano.
- Mayor estrés sobre formaciones coralinas.
- Posibles modificaciones en el régimen de tormentas y oleaje extremo.
- Alteraciones en pastos marinos y comunidades bentónicas.
- Incremento de la erosión y el retroceso de la costa.

No constituye la única causa de la erosión observada frente al hotel, pero puede amplificar sus efectos y reducir la capacidad natural de recuperación del sistema. Por su extensión regional, duración prolongada y relación con otros procesos, se clasifica como una presión acumulativa y potencialmente sinérgica.

IV.2.18 Matriz de impactos ambientales existentes

Tabla 10. Impactos ambientales existentes en la Región Ecológica y su caracterización.

Obra, actividad o proceso existente	Componente ambiental impactado	Impacto ambiental existente	Caracterización
Desarrollo hotelero, turístico y urbano	Vegetación terrestre, fauna, suelo, paisaje y servicios ambientales	Transformación y ocupación parcial de la franja costera	Negativo; directo e indirecto; permanente; extensión parcial en la RE; intensidad media; acumulativo

Obra, actividad o proceso existente	Componente ambiental impactado	Impacto ambiental existente	Caracterización
Vialidades e infraestructura urbana	Suelo, hidrología local, vegetación y paisaje	Impermeabilización, fragmentación y modificación del paisaje	Negativo; directo; permanente; extensión parcial; intensidad media; acumulativo
Uso turístico y recreativo de la playa	Playa, fauna costera y paisaje	Compactación de arena, perturbación de fauna y presión sobre el uso de playa	Negativo; directo; recurrente; puntual a parcial; intensidad baja a media; acumulativo
Navegación y tránsito de embarcaciones	Agua marina y fauna	Ruido subacuático, desplazamiento temporal y riesgo de contaminación o colisión	Negativo; directo e indirecto; intermitente; extensión parcial; intensidad baja a media; acumulativo
Anclaje eventual	Fondo marino y vegetación sumergida	Alteración física localizada del fondo y posible daño a vegetación	Negativo; directo; temporal o persistente; puntual; intensidad variable; acumulativo cuando es recurrente
Erosión y retroceso de la línea de costa	Playa, perfil costero, paisaje y servicios ambientales	Pérdida de playa y disminución de la protección costera	Negativo; directo e indirecto; persistente; extensión parcial; intensidad alta; acumulativo y sinérgico
Reducción o discontinuidad histórica de dunas	Sistema playa–duna, vegetación y paisaje	Pérdida de almacenamiento sedimentario y capacidad de amortiguamiento	Negativo; directo e indirecto; persistente; extensión parcial; intensidad media a alta; acumulativo
Transformación histórica de vegetación terrestre	Flora, fauna y conectividad	Reducción y fragmentación de hábitat	Negativo; directo e indirecto; permanente; extensión parcial; intensidad media; acumulativo
Presión urbana regional sobre humedales	Manglar y servicios ambientales	Riesgo de fragmentación, contaminación o alteración hidrológica	Negativo potencial; indirecto; largo plazo; extensión regional; intensidad variable; acumulativo; sin incidencia directa comprobada en el AP
Variabilidad natural de pastos marinos y macroalgas	Vegetación sumergida y fauna asociada	Cambios temporales en cobertura y distribución	Natural; directo e indirecto; estacional o recurrente; extensión variable; intensidad baja a media
Actividades náuticas y recreativas	Vegetación y fauna marina	Perturbación, resuspensión localizada y presión sobre hábitats	Negativo; directo e indirecto; intermitente; puntual a parcial; intensidad baja a media; acumulativo
Presencia humana e iluminación costera	Tortugas marinas y fauna costera	Perturbación potencial de tránsito o anidación	Negativo potencial; directo e indirecto; estacional; extensión

Obra, actividad o proceso existente	Componente ambiental impactado	Impacto ambiental existente	Caracterización
			puntual a parcial; intensidad variable
Generación y dispersión de residuos	Agua, playa, fauna y paisaje	Contaminación localizada, ingestión o enredo de fauna y deterioro visual	Negativo; directo e indirecto; recurrente; extensión variable; intensidad baja a media; acumulativo
Arribazón y descomposición de sargazo	Agua, playa, paisaje y uso recreativo	Acumulación de materia orgánica y modificación temporal de la calidad ambiental	Negativo temporal; directo e indirecto; estacional; extensión variable; intensidad media
Actividades urbanas y marítimas	Calidad del agua	Riesgo de aporte de contaminantes, residuos, combustibles o lubricantes	Negativo potencial; directo e indirecto; intermitente; extensión variable; intensidad no cuantificada
Transformación del frente turístico	Paisaje	Reducción parcial de la naturalidad y aumento de elementos construidos	Negativo; directo; permanente; extensión parcial; intensidad media; acumulativo
Nortes, tormentas y huracanes	Playa, dunas, fondo marino, vegetación y fauna	Erosión, inundación, redistribución de sedimentos y alteración de hábitats	Natural; directo; periódico; extensión regional; intensidad alta durante eventos extremos; sinérgico
Cambio climático y ascenso del nivel del mar	Sistema litoral, arrecife, pastos marinos y playa	Incremento de vulnerabilidad, erosión, inundación y estrés ecosistémico	Negativo; indirecto; progresivo; largo plazo; extensión regional; intensidad creciente; acumulativo y sinérgico

IV.2.19 Jerarquización de los impactos existentes

A partir del diagnóstico ambiental, los impactos y presiones existentes de mayor relevancia para la evaluación del Proyecto son los presentados en la Tabla IV.11.

Tabla 11. Impactos existentes prioritarios para el análisis acumulativo y sinérgico.

Prioridad	Impacto o presión existente	Componente receptor	Justificación
1	Erosión y retroceso de la línea de costa	Playa y dinámica litoral	Constituye la principal problemática ambiental documentada en el AP y fundamento de la intervención
2	Disminución o discontinuidad de la función dunar	Sistema playa–duna	Reduce la capacidad de almacenamiento de arena y protección frente a eventos extremos

Prioridad	Impacto o presión existente	Componente receptor	Justificación
3	Huracanes, nortes y mareas de tormenta	Sistema litoral	Pueden ocasionar cambios abruptos y amplificar la erosión existente
4	Cambio climático y ascenso del nivel del mar	Playa, arrecife y hábitats costeros	Presión regional de largo plazo que incrementa la vulnerabilidad
5	Transformación urbana y turística	Suelo, vegetación, fauna y paisaje	Presión permanente y acumulativa en la franja costera
6	Actividades náuticas y recreativas	Agua, fondo, vegetación y fauna marina	Coinciden espacialmente con las áreas donde se desarrollarán las obras
7	Variabilidad y sensibilidad de la vegetación marina	Pastos marinos y macroalgas	La distribución es dinámica y existen interacciones puntuales con las obras
8	Perturbación potencial de tortugas marinas	Tortugas y playa	Receptor de alta sensibilidad y protección normativa, aun sin registros durante los recorridos
9	Generación y dispersión de residuos	Playa, agua y fauna	Puede acumularse con los residuos temporales de construcción si no se controla
10	Transformación del paisaje	Paisaje costero	La infraestructura del Proyecto se incorporará a un paisaje parcialmente modificado

IV.2.20 Relación con el análisis de impactos del Proyecto

Los impactos existentes identificados constituyen la línea de referencia para evaluar la contribución incremental del Proyecto. En particular, el análisis posterior deberá determinar si las obras y actividades:

- Incrementan o reducen el proceso erosivo.
- Modifican el transporte litoral de sedimentos.
- Generan erosión o acumulación no prevista en sectores colindantes.
- Aumentan temporalmente la turbidez o sedimentación.
- Ocasionan pérdida adicional de vegetación marina.
- Incrementan la perturbación sobre fauna y tortugas marinas.
- Añaden nuevas fuentes de ruido, tránsito o residuos.
- Modifican permanentemente el fondo marino y el paisaje.
- Reducen la vulnerabilidad de la playa frente a eventos extremos.
- Restablecen parte de la función sedimentaria y protectora del sistema playa–duna.

Los impactos negativos del Proyecto serán considerados acumulativos cuando se adicionen a una presión existente sobre el mismo componente ambiental y coincidan espacial o temporalmente. Serán considerados sinérgicos cuando la interacción produzca un efecto de mayor intensidad que la suma independiente de las modificaciones.

De manera particular, la erosión histórica, la pérdida de función dunar, la presencia de comunidades bentónicas sensibles, la ocupación turística y la exposición a fenómenos hidrometeorológicos constituyen las condiciones de referencia más relevantes para evaluar la significancia del Proyecto.

En conclusión, la Región Ecológica presenta un grado de transformación asociado con el desarrollo urbano y turístico, pero conserva componentes naturales de elevada importancia ecológica. El principal proceso de deterioro directamente relacionado con el AP es el retroceso de la línea de costa, acompañado por la reducción de la función dunar y la vulnerabilidad frente a fenómenos hidrometeorológicos. En el medio marino persiste un mosaico de hábitats que incluye pastos marinos, macroalgas, fondos arenosos, laja y fauna asociada, por lo que la evaluación deberá equilibrar la finalidad restaurativa del Proyecto con la prevención de nuevas afectaciones sobre estos componentes.

IV.3 Impactos ambientales del Proyecto y medidas de prevención, mitigación, compensación y restauración

En este apartado se identifican, describen y evalúan las modificaciones ambientales que pueden derivarse de las obras y actividades del Proyecto durante las etapas de preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento y, en su caso, cierre, desmantelamiento y restauración.

El análisis se divide en dos secciones:

- Identificación, caracterización y valoración de los impactos ambientales del Proyecto.
- Medidas de prevención, mitigación, compensación y restauración.

La primera sección presenta la valoración de los impactos potenciales antes de aplicar medidas ambientales. Posteriormente, en el apartado IV.3.2, cada impacto negativo será relacionado con las medidas correspondientes y se determinará su importancia residual.

IV.3.1 Identificación, caracterización y valoración de los impactos ambientales del Proyecto

IV.3.1.1 Consideraciones para la identificación de los impactos

La identificación se realizó mediante el cruce de las obras y actividades descritas en el Capítulo I con los componentes ambientales caracterizados en el Capítulo III.

Cada impacto fue formulado mediante la secuencia:

Actividad → mecanismo de alteración → componente receptor → modificación ambiental

Los impactos fueron diferenciados de los riesgos ambientales. Un impacto corresponde a una modificación razonablemente previsible derivada de la ejecución ordinaria de una actividad; en cambio, un riesgo se refiere a un acontecimiento accidental o contingente, como una fuga de combustible, la ruptura de un geotubo o la dispersión de residuos.

No obstante, los riesgos con consecuencias ambientales relevantes fueron incorporados en la evaluación para determinar las medidas preventivas y de respuesta necesarias.

La valoración inicial se realizó sin descontar los efectos de las medidas ambientales. Por consiguiente, la clasificación obtenida representa el impacto potencial y no el efecto residual que permanecerá después de aplicar las medidas.

IV.3.1.2 Identificación y codificación de los impactos

Los impactos se codificaron de acuerdo con la etapa en la que se originan:

- **PS:** preparación del sitio.
- **CO:** construcción.
- **OM:** operación y mantenimiento.
- **CD:** cierre, desmantelamiento y restauración.

Tabla 12. Impactos ambientales identificados por etapa del Proyecto.

Clave	Etapa	Impacto ambiental
PS-01	Preparación del sitio	Emisión temporal de gases de combustión y partículas
PS-02	Preparación del sitio	Incremento temporal de ruido y perturbación de fauna
PS-03	Preparación del sitio	Restricción temporal del uso recreativo y la navegación
PS-04	Preparación del sitio	Generación temporal de empleo y contratación de servicios
CO-01	Construcción	Incremento temporal de turbidez y sólidos suspendidos durante la extracción y conducción de arena
CO-02	Construcción	Modificación localizada de la morfología y profundidad del fondo en el Banco IRRM
CO-03	Construcción	Alteración de hábitat bentónico dentro de la superficie de extracción
CO-04	Construcción	Desplazamiento temporal de fauna marina en el Banco IRRM y ruta de conducción
CO-05	Construcción	Incremento del ruido subacuático y perturbación temporal de fauna marina
CO-06	Construcción	Ocupación y modificación física del fondo por geotubos, tapetes y anclajes
CO-07	Construcción	Afectación puntual de 10.51 m^2 de cobertura cartografiada como pastos marinos

Clave	Etapa	Impacto ambiental
CO-08	Construcción	Incremento temporal de turbidez durante la preparación del fondo e hidrollenado
CO-09	Construcción	Modificación de la circulación local y del transporte litoral de sedimentos
CO-10	Construcción	Cubrimiento y modificación del sustrato en V1 y V2 por la colocación de arena
CO-11	Construcción	Incremento temporal de turbidez durante el vertimiento y distribución de arena
CO-12	Construcción y restauración	Restablecimiento parcial del volumen sedimentario y del perfil costero
CO-13	Restauración dunar	Formación de una barrera sedimentaria y recuperación de la función dunar
CO-14	Restauración dunar	Incremento de la cobertura de vegetación costera nativa
CO-15	Construcción	Perturbación temporal de fauna terrestre y posible interferencia con tortugas marinas
CO-16	Construcción	Modificación temporal de la calidad visual del paisaje
CO-17	Construcción	Ordenamiento del tránsito peatonal y reducción de la presión sobre las dunas
CO-18	Construcción	Contaminación potencial por manejo inadecuado de residuos
CO-19	Construcción	Contaminación potencial por fugas de combustibles, aceites o lubricantes
OM-01	Operación	Estabilización del perfil costero y disminución de la pérdida de sedimentos
OM-02	Operación	Posible erosión o acumulación no prevista en sectores contiguos
OM-03	Operación	Permanencia de la ocupación física y modificación del fondo marino
OM-04	Operación y mantenimiento	Liberación potencial de arena o fragmentos sintéticos por deterioro de geotubos
OM-05	Mantenimiento	Incremento temporal de turbidez, ruido y perturbación de fauna
OM-06	Operación	Consolidación de vegetación costera y hábitat dunar
OM-07	Operación	Mejoramiento de la seguridad y continuidad del uso recreativo de la playa

IV.3.1.3 Caracterización de los impactos de la preparación del sitio

Tabla 13. Caracterización de los impactos durante la preparación del sitio.

Clave	Actividad	Componente	Impacto	Caracterización	Efectos
PS-01	Movilización de personal, equipos y materiales	Atmósfera	Emisiones y partículas	Negativo; directo; temporal; inmediato; puntual; intensidad baja; reversible; recuperable; simple	Modificación temporal y localizada de la calidad del aire por motores y traslado de materiales.
PS-02	Movilización y señalización	Ambiente sonoro y fauna	Ruido y perturbación de fauna	Negativo; directo; temporal; puntual; intensidad baja; reversible; acumulativo con las actividades turísticas	Alejamiento temporal de aves y fauna marina móvil.
PS-03	Delimitación de frentes	Turismo, navegación y seguridad	Restricción temporal del uso recreativo	Negativo; directo; temporal; puntual; intensidad baja; reversible; simple	Limitación momentánea del acceso de visitantes y embarcaciones; simultáneamente reduce riesgos de accidentes.
PS-04	Contratación y organización de trabajos	Medio socioeconómico	Empleo y contratación de servicios	Positivo; directo e indirecto; temporal; local; intensidad baja; acumulativo	Demanda de mano de obra, suministros, transporte y servicios técnicos.

IV.3.1.4 Caracterización de los impactos de la construcción

Extracción y conducción de arena

Tabla 14. Caracterización de los impactos derivados del aprovechamiento del Banco IRRM y conducción de arena.

Clave	Actividad	Componente	Impacto	Caracterización	Efectos
CO-01	Extracción y bombeo	Agua marina	Incremento de turbidez y sólidos suspendidos	Negativo; directo; temporal; inmediato; parcial; intensidad media; reversible; recuperable; acumulativo	Reducción temporal de transparencia y penetración de luz.
CO-02	Extracción de arena	Fondo marino	Modificación del relieve y profundidad	Negativo; directo; prolongado; parcial dentro del banco; intensidad media; reversibilidad baja;	Formación de una depresión y modificación localizada del relieve.

Clave	Actividad	Componente	Impacto	Caracterización	Efectos
				recuperable mediante manejo	
CO-03	Remoción de sedimento	Hábitat bentónico	Alteración del hábitat en la superficie de extracción	Negativo; directo; prolongado; parcial; intensidad media; reversibilidad baja; recuperación gradual; acumulativo	Remoción de organismos de baja movilidad y modificación de las condiciones del sustrato.
CO-04	Operación de equipos	Fauna marina	Desplazamiento temporal	Negativo; directo; temporal; parcial; intensidad media; reversible; recuperable; acumulativo	Alejamiento de peces y otros organismos móviles.
CO-05	Bombas, embarcaciones e instalación de estructuras	Ambiente sonoro y fauna marina	Ruido subacuático y perturbación temporal	Negativo; directo; temporal; parcial; intensidad baja; reversible; intermitente; acumulativo	Alteración temporal del ambiente acústico y desplazamiento de organismos.

La valoración de CO-03 adopta un enfoque precautorio por tratarse de la remoción directa del sustrato. Su importancia residual dependerá de la delimitación efectiva del banco, el espesor de extracción, la condición bentónica de la superficie intervenida y la recuperación posterior del fondo.

Instalación de barreras de contención y rompeolas

Tabla 15. Caracterización de los impactos derivados de la instalación de geotubos.

Clave	Actividad	Componente	Impacto	Caracterización	Efectos
CO-06	Colocación de tapetes, anclajes y 32 geotubos	Fondo y hábitat bentónico	Ocupación física y modificación del fondo	Negativo; directo; permanente durante la vida útil; parcial; intensidad media; irreversible mientras permanezcan las estructuras; recuperable mediante retiro; residual	Sustitución de la superficie natural por geotextiles y modificación del microrelieve.
CO-07	Instalación de los geotubos 11 y 14	Vegetación marina	Afectación potencial de 10.51 m² de pastos marinos	Negativo; directo; prolongado; puntual; intensidad media; reversibilidad baja; recuperable; acumulativo; receptor sensible	Posible cubrimiento o pérdida de haces y rizomas en 3.76 m² y 6.75 m², respectivamente.

Clave	Actividad	Componente	Impacto	Caracterización	Efectos
CO-08	Preparación del fondo e hidrollenado	Agua marina	Incremento temporal de turbidez	Negativo; directo; temporal; parcial; intensidad media; reversible; recuperable; acumulativo	Formación temporal de una pluma de partículas alrededor del frente activo.
CO-09	Presencia física de las estructuras	Dinámica litoral	Modificación potencial de la circulación y transporte sedimentario	Negativo potencial; directo e indirecto; prolongado; parcial; intensidad media; reversibilidad baja; recuperable mediante manejo adaptativo; acumulativo y sinérgico	Posible erosión, acumulación o redistribución no prevista en sectores conectados.
CO-16	Instalación de estructuras y señalización	Paisaje	Modificación temporal de la calidad visual	Negativo; directo; temporal durante la construcción y prolongado para elementos visibles; parcial; intensidad baja; reversible	Presencia de equipos, mangueras, mallas, señalización y estructuras.

Aunque CO-07 presenta una superficie reducida respecto del AP, se considera ambientalmente relevante porque recae sobre vegetación marina dentro de un Área Natural Protegida. Su significancia no depende exclusivamenteá exclusivamente únicamente de de la superficie, sino de la sensibilidad, función ecológica y protección del receptor.

Vertimiento y conformación del perfil de playa

Tabla 16. Caracterización de los impactos derivados del vertimiento de arena en V1 y V2.

Clave	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización	Efectos
CO-10	Colocación de 8,084.43 m³ de arena en V1 y V2	Fondo somero, zona intermareal y sedimentos	Cubrimiento y modificación del sustrato	Negativo; directo; duración prolongada; extensión parcial limitada a 2,569.75 m²; intensidad media; reversibilidad baja; recuperable por redistribución y manejo sedimentario; acumulativo	Incremento del espesor sedimentario, modificación del relieve y cubrimiento de organismos de baja movilidad presentes en la superficie receptora.

Clave	Obra o actividad	Componente y subcomponente	Impacto ambiental	Caracterización	Efectos
CO-11	Descarga, distribución y conformación de arena	Agua marina: turbidez	Incremento temporal de turbidez y sólidos suspendidos	Negativo; directo; temporal; inmediato; extensión parcial; intensidad media; reversible; recuperable; recurrente durante la colocación; acumulativo	Reducción temporal de la transparencia y posible deposición de partículas fuera del punto de descarga.
CO-12	Aporte y conformación de arena	Perfil de playa y servicios ambientales	Restablecimiento parcial del volumen sedimentario y perfil costero	Positivo; directo; duración prolongada; extensión parcial; intensidad media; acumulativo; reversible por procesos naturales; sujeto a mantenimiento	Recuperación de superficie de playa, incremento del volumen sedimentario y mayor capacidad de amortiguamiento frente al oleaje ordinario.
CO-15	Operación de equipos en playa	Fauna costera y tortugas marinas	Perturbación temporal y posible interferencia con tránsito o anidación	Negativo; directo; temporal; puntual a parcial; intensidad media; reversible; recuperable; estacional; acumulativo con el uso turístico	Presencia de obstáculos, ruido y tránsito sobre la playa; posible interferencia si las actividades coinciden con tortugas o nidos.
CO-16	Frentes de vertimiento, equipos y montículos temporales	Paisaje	Modificación temporal de la calidad visual	Negativo; directo; temporal; extensión parcial; intensidad baja; reversible; recuperable; discontinuo; simple	Contraste temporal entre equipos, mangueras, material acumulado y el paisaje de playa.

Conformación y revegetación de dunas artificiales

Tabla 17. Caracterización de los impactos relacionados con las dunas y pasos elevados.

Clave	Actividad	Componente	Impacto	Caracterización	Efectos
CO-13	Conformación de seis dunas artificiales	Sistema playa–duna	Recuperación de la función dunar	Positivo; directo e indirecto; prolongado; 540 m²; intensidad media; acumulativo	Retención de arena, amortiguamiento del viento y restablecimiento parcial de la continuidad playa–duna.
CO-14	Plantación de aproximadamente 1,350 ejemplares	Vegetación costera	Incremento de cobertura nativa	Positivo; directo; prolongado; parcial; intensidad media; acumulativo	Fijación del sustrato, reducción de erosión eólica y formación de microhábitat.
CO-15	Trabajos de conformación y revegetación	Fauna terrestre y tortugas	Perturbación temporal	Negativo; directo; temporal; puntual; intensidad media; reversible; estacional; acumulativo	Alejamiento de aves y reptiles y posible interferencia con tortugas si existe presencia.
CO-17	Instalación de seis pasos elevados	Vegetación, suelo y uso público	Ordenamiento del tránsito peatonal	Positivo; directo e indirecto; prolongado; puntual; intensidad media; acumulativo	Reducción del pisoteo y concentración del acceso en sitios definidos.

Manejo de residuos y sustancias

Tabla 18. Impactos contingentes relacionados con residuos y sustancias.

Clave	Actividad	Componente	Impacto	Caracterización	Efectos
CO-18	Manejo de residuos, embalajes y materiales	Agua, fondo, playa, fauna y paisaje	Contaminación potencial por residuos	Negativo contingente; directo e indirecto; temporal o prolongado; parcial; intensidad media; recuperable; acumulativo	Deterioro visual, ingestión, enredo o presencia de materiales en playa y fondo.
CO-19	Operación de maquinaria, bombas y embarcaciones	Agua, sedimentos y fauna	Contaminación potencial por hidrocarburos	Negativo contingente; directo e indirecto; temporal o prolongado; parcial; intensidad media; recuperable en eventos menores; acumulativo	Películas superficiales, contaminación localizada y toxicidad.

El abastecimiento de combustibles se realizará fuera del área marina, lo que reduce sustancialmente la probabilidad de CO-19. Sin embargo, el riesgo se conserva porque existirán equipos con motores y sistemas hidráulicos durante las maniobras.

IV.3.1.5 Impactos durante la operación y mantenimiento

Tabla 19. Caracterización de los impactos durante la operación y mantenimiento.

Clave	Actividad	Componente	Impacto	Caracterización	Efectos
OM-01	Funcionamiento conjunto de estructuras, arena y dunas	Dinámica litoral y playa	Estabilización del perfil costero	Positivo; directo e indirecto; prolongado; parcial; intensidad alta; acumulativo y sinérgico	Retención de sedimento, disminución de la exposición al oleaje y recuperación de servicios costeros.
OM-02	Interacción de las estructuras con oleaje y corrientes	Dinámica litoral	Erosión o acumulación no prevista	Negativo potencial; indirecto; prolongado; parcial; intensidad media; reversibilidad baja; recuperable mediante manejo adaptativo; acumulativo y sinérgico	Redistribución no prevista de sedimentos en sectores laterales.
OM-03	Permanencia de geotubos, tapetes y anclajes	Fondo bentónico	Permanencia de la ocupación física	Negativo; directo; permanente durante la vida útil; parcial; intensidad media; irreversible mientras permanezcan; recuperable mediante retiro; residual	Continuidad de la sustitución física del sustrato.
OM-04	Desgaste o ruptura de geotextiles	Agua, fondo y fauna	Liberación potencial de arena o fragmentos	Negativo contingente; directo e indirecto; temporal o prolongado; parcial; intensidad media; recuperable; acumulativo	Presencia de fragmentos, pérdida del relleno y riesgo para fauna.
OM-05	Reparación y reposición de arena	Agua, ruido y fauna	Turbidez y perturbación temporal	Negativo; directo; temporal; puntual a parcial; intensidad media; reversible; periódico; acumulativo	Resuspensión de sedimentos y desplazamiento temporal de organismos.
OM-06	Mantenimiento de dunas	Vegetación y hábitat	Consolidación de cobertura y hábitat dunar	Positivo; directo e indirecto; prolongado; parcial;	Fijación de arena, refugio para fauna y estabilidad de las dunas.

Clave	Actividad	Componente	Impacto	Caracterización	Efectos
				intensidad media; acumulativo	
OM-07	Permanencia de playa y pasos	Turismo y seguridad	Mejoramiento del uso recreativo	Positivo; directo e indirecto; prolongado; parcial; intensidad media; acumulativo	Mayor disponibilidad de playa y accesos ordenados.

IV.3.1.6 Matriz de valoración cuantitativa

La importancia de cada impacto se calculó mediante:

$$Im = \pm (A + E + In + P + Rv + Rc)$$

La matriz representa la valoración potencial antes de aplicar medidas.

Tabla 20. Matriz de valoración cuantitativa de los impactos ambientales del Proyecto.

Clave	Impacto	Signo	A	E	In	P	Rv	Rc	Im	Categoría	Relevancia
PS-01	Emisiones y partículas	–	1	1	1	1	1	1	–6	Compatible	No significativo
PS-02	Ruido y perturbación	–	3	1	1	1	1	1	–8	Compatible	No significativo
PS-03	Restricción recreativa	–	1	1	1	1	1	1	–6	Compatible	No significativo
PS-04	Empleo y servicios	+	1	1	1	1	1	1	+6	Positivo bajo	Positivo
CO-01	Turbidez por extracción	–	3	2	4	1	1	1	–12	Moderado	No significativo sujeto a control
CO-02	Modificación del Banco IRRM	–	1	2	4	3	3	1	–14	Moderado	No significativo sujeto a seguimiento
CO-03	Alteración del hábitat del banco	–	3	2	4	3	3	3	–18	Severo	Significativo
CO-04	Desplazamiento de fauna	–	3	2	4	1	1	1	–12	Moderado	No significativo sujeto a control
CO-05	Ruido subacuático	–	3	2	1	1	1	1	–9	Compatible	No significativo
CO-06	Ocupación del fondo	–	3	2	4	3	3	3	–18	Severo	Significativo
CO-07	Afectación de pastos	–	3	1	4	3	3	1	–15	Severo	Significativo
CO-08	Turbidez por hidrollenado	–	3	2	4	1	1	1	–12	Moderado	No significativo sujeto a control
CO-09	Modificación del transporte litoral	–	5	2	4	3	3	1	–18	Severo	Significativo
CO-10	Cubrimiento en V1 y V2	–	3	2	4	3	3	1	–16	Severo	Significativo
CO-11	Turbidez por vertimiento	–	3	2	4	1	1	1	–12	Moderado	No significativo sujeto a control

Clave	Impacto	Signo	A	E	In	P	Rv	Rc	Im	Categoría	Relevancia
CO-12	Restablecimiento del perfil	+	3	2	4	3	1	1	+14	Positivo medio	Positivo
CO-13	Recuperación de función dunar	+	3	2	4	3	1	1	+14	Positivo medio	Positivo
CO-14	Incremento de vegetación	+	3	1	4	3	1	1	+13	Positivo medio	Positivo
CO-15	Perturbación de fauna y tortugas	–	3	1	4	1	1	1	–11	Moderado	Significativo precautorio
CO-16	Modificación visual	–	1	2	1	1	1	1	–7	Compatible	No significativo
CO-17	Ordenamiento peatonal	+	3	1	4	3	1	1	+13	Positivo medio	Positivo
CO-18	Contaminación por residuos	–	3	2	4	1	1	1	–12	Moderado	Contingente
CO-19	Contaminación por hidrocarburos	–	3	2	4	1	1	1	–12	Moderado	Contingente
OM-01	Estabilización litoral	+	5	2	8	3	1	1	+20	Positivo muy alto	Positivo
OM-02	Erosión o acumulación no prevista	–	5	2	4	3	3	1	–18	Severo	Significativo
OM-03	Permanencia de ocupación	–	3	2	4	3	3	3	–18	Severo	Significativo y residual
OM-04	Fragmentos o pérdida de arena	–	3	2	4	3	1	1	–14	Moderado	Contingente
OM-05	Turbidez por mantenimiento	–	3	1	4	1	1	1	–11	Moderado	No significativo sujeto a control
OM-06	Consolidación de hábitat dunar	+	3	2	4	3	1	1	+14	Positivo medio	Positivo
OM-07	Mejoramiento recreativo	+	3	2	4	1	1	1	+12	Positivo medio	Positivo
CD-01	Resuspensión por retiro	–	3	2	4	1	1	1	–12	Moderado	No significativo sujeto a control
CD-02	Recuperación de superficies	+	1	2	4	3	1	1	+12	Positivo medio	Positivo

A: acumulación o interacción; **E:** extensión; **In:** intensidad; **P:** persistencia; **Rv:** reversibilidad; **Rc:** recuperabilidad; **Im:** importancia.

IV.3.1.8 Síntesis de la valoración inicial

Tabla 21. Distribución de los impactos por naturaleza y categoría.

Naturaleza y categoría	Número	Porcentaje
Negativos compatibles	5	15.63%
Negativos moderados	11	34.38%
Negativos severos	7	21.88%
Negativos críticos	0	0.00%
Subtotal negativo	**23**	**71.88%**
Positivos de importancia baja	1	3.13%

Naturaleza y categoría	Número	Porcentaje
Positivos de importancia media	7	21.88%
Positivos de importancia alta	0	0.00%
Positivos de importancia muy alta	1	3.13%
Subtotal positivo	**9**	**28.12%**
Total	**32**	**100.00%**

Se identificaron **32 impactos potenciales**: 23 negativos y nueve positivos. Entre los negativos, cinco son compatibles, once moderados y siete severos. No se identificaron impactos críticos.

Los siete impactos severos corresponden a:

1. CO-03: alteración de hábitat bentónico en el Banco IRRM.
2. CO-06: ocupación física del fondo.
3. CO-07: afectación potencial de pastos marinos.
4. CO-09: modificación del transporte litoral.
5. CO-10: cubrimiento del sustrato en V1 y V2.
6. OM-02: erosión o acumulación no prevista.
7. OM-03: permanencia de la ocupación del fondo.

CO-06 y OM-03 representan la generación y permanencia temporal de una misma modificación, respectivamente, y no dos superficies diferentes.

La perturbación potencial de tortugas se considera significativa de manera precautoria, aunque su importancia cuantitativa sea moderada, debido a la protección jurídica y sensibilidad de estas especies.

Los impactos positivos principales corresponden al restablecimiento del perfil de playa, recuperación de la función dunar, establecimiento de vegetación nativa, ordenamiento del tránsito y estabilización del litoral. Su eficacia deberá demostrarse mediante monitoreo.

IV.3.2 Medidas de prevención, mitigación, restauración y compensación

Las medidas ambientales fueron definidas a partir de la naturaleza, intensidad, extensión, duración y significancia de los impactos identificados en el apartado IV.3.1. Su selección sigue la jerarquía de manejo ambiental: prevenir, mitigar, restaurar y, únicamente cuando permanezca una pérdida residual, compensar.

Cada medida se identifica mediante una clave:

- **P:** prevención.
- **M:** mitigación.
- **R:** restauración.
- **C:** compensación.

IV.3.2.1 Catálogo de medidas ambientales

Tabla 22. Medidas ambientales aplicables al Proyecto.

Clave	Tipo	Medida	Objetivo
P1	Prevención	Delimitación y señalización de frentes	Restringir las actividades a las superficies autorizadas y evitar interferencias con usuarios y áreas sensibles
P2	Prevención	Control de maquinaria, emisiones y ruido	Reducir emisiones, ruido, fugas y perturbaciones ocasionadas por equipos
P3	Prevención	Programación ambiental de las obras	Evitar maniobras bajo condiciones meteorológicas o ecológicas desfavorables
P4	Prevención	Control de turbidez y dispersión de sedimentos	Evitar la propagación de sólidos fuera de los frentes mediante mallas antidispersión y bombeo controlado
P5	Prevención	Delimitación y aprovechamiento controlado del Banco IRRM	Restringir la extracción al polígono, profundidad, espesor y volumen autorizados
P6	Prevención	Inspección, ahuyentamiento, rescate y reubicación de fauna	Evitar lesiones, atrapamiento o mortalidad de fauna
P7	Prevención	Microlocalización y protección de vegetación marina	Evitar o minimizar la ocupación de parches de pastos marinos
P8	Prevención	Verificación y manejo de arena compatible	Utilizar material limpio, compatible y libre de residuos o contaminantes
P9	Prevención	Protección de tortugas marinas	Evitar interferencias con individuos, rastros, nidos o crías
P10	Prevención	Manejo integral de residuos sólidos urbanos	Evitar abandono o dispersión de residuos en playa y mar
P11	Prevención	Manejo integral de residuos de manejo especial	Controlar embalajes, geotextiles, mangueras y materiales de construcción
P12	Prevención	Prevención y atención de derrames	Evitar y atender fugas de combustibles, aceites o lubricantes
P13	Prevención	Inspección y mantenimiento de estructuras	Prevenir rupturas, desplazamientos, socavación y liberación de materiales
M1	Mitigación	Monitoreo y manejo adaptativo de la línea de costa	Detectar y corregir erosión, acumulación o cambios no previstos

M2	Mitigación	Monitoreo de calidad del agua marina	Evaluar turbidez y comprobar la recuperación después de las maniobras
R1	Restauración	Conservación, manejo y restauración de vegetación marina	Recuperar la cobertura que no pueda evitarse mediante microlocalización
R2	Restauración	Restauración y seguimiento de dunas costeras	Establecer y mantener 540 m² de dunas artificiales revegetadas
R3	Restauración	Recuperación de superficies temporales	Retirar materiales y restituir las áreas utilizadas temporalmente
R4	Restauración	Restauración correctiva del fondo marino	Recuperar el sustrato en caso de daño, retiro o desmantelamiento
C1	Compensación	Restauración compensatoria de vegetación marina	Atender una pérdida residual comprobada que no pueda restaurarse en el sitio

IV.3.2.2 Aplicación de medidas por impacto

Tabla 23. Impactos ambientales y medidas a implementar durante las etapas del Proyecto.

Etapa	Obra o actividad	Componente	Impacto	Efecto	Medidas
Preparación	Movilización de equipos	Atmósfera	PS-01. Emisiones y partículas	Directo y temporal	P2 y P3
Preparación	Movilización y señalización	Ambiente sonoro y fauna	PS-02. Ruido y perturbación	Directo y temporal	P2, P3 y P6
Preparación	Delimitación de frentes	Turismo y navegación	PS-03. Restricción temporal de uso	Directo y temporal	P1 y P3
Construcción	Extracción y conducción	Agua marina	CO-01. Turbidez y sólidos suspendidos	Directo y temporal	P3, P4, P5 y M2
Construcción	Extracción de arena	Fondo marino	CO-02. Modificación del Banco IRRM	Directo y prolongado	P5, P6 y R4
Construcción	Remoción de sedimento	Hábitat bentónico	CO-03. Alteración de hábitat	Directo, acumulativo y residual	P5, P6, M2 y R4

Etapa	Obra o actividad	Componente	Impacto	Efecto	Medidas
Construcción	Operación de equipos	Fauna marina	CO-04. Desplazamiento temporal	Directo y temporal	P3 y P6
Construcción	Bombas y embarcaciones	Ambiente sonoro y fauna	CO-05. Ruido subacuático	Directo, temporal y acumulativo	P2, P3 y P6
Construcción	Geotubos, tapetes y anclajes	Fondo marino	CO-06. Ocupación física	Directo, permanente y residual	P1, P7, P13 y R4
Construcción	Geotubos 11 y 14	Pastos marinos	CO-07. Afectación de 10.51 m²	Directo, acumulativo y potencialmente residual	P7, R1 y C1
Construcción	Hidrollenado	Agua marina	CO-08. Turbidez	Directo y temporal	P3, P4 y M2
Construcción	Presencia de barreras	Dinámica litoral	CO-09. Modificación del transporte sedimentario	Directo e indirecto; acumulativo y sinérgico	P13 y M1
Construcción	Vertimiento en V1 y V2	Fondo y sedimentos	CO-10. Cubrimiento del sustrato	Directo, prolongado y acumulativo	P4, P6, P8, M1 y M2
Construcción	Descarga de arena	Agua marina	CO-11. Turbidez	Directo y temporal	P3, P4, P8 y M2
Construcción	Trabajos en playa y dunas	Fauna y tortugas	CO-15. Perturbación e interferencia potencial	Directo, temporal y estacional	P1, P3, P6 y P9
Construcción	Equipos y frentes de trabajo	Paisaje	CO-16. Modificación visual	Directo y temporal	P1 y R3
Construcción	Manejo de residuos	Agua, playa, fauna y paisaje	CO-18. Contaminación por residuos	Contingente; directo e indirecto	P10, P11 y R3
Construcción	Operación de maquinaria	Agua, sedimentos y fauna	CO-19. Contaminación por hidrocarburos	Contingente; directo e indirecto	P2 y P12

Etapa	Obra o actividad	Componente	Impacto	Efecto	Medidas
Operación	Interacción con oleaje y corrientes	Dinámica litoral	OM-02. Erosión o acumulación no prevista	Indirecto, acumulativo y sinérgico	P13 y M1
Operación	Permanencia de estructuras	Fondo y hábitat	OM-03. Ocupación física permanente	Directo y residual	P13 y R4
Operación	Deterioro de geotextiles	Agua, fondo y fauna	OM-04. Liberación de arena o fragmentos	Contingente; directo e indirecto	P11, P13 y R4
Mantenimiento	Reparaciones y reposición de arena	Agua y fauna	OM-05. Turbidez y perturbación	Directo, temporal y recurrente	P3, P4, P6, M1 y M2
Cierre	Retiro de estructuras	Agua, sedimentos y fauna	CD-01. Resuspensión y perturbación	Directo y temporal	P3, P4, P6, M2 y R4

Los impactos positivos PS-04, CO-12, CO-13, CO-14, CO-17, OM-01, OM-06, OM-07 y CD-02 no requieren medidas correctivas. No obstante, su permanencia y eficacia serán verificadas mediante el monitoreo ambiental.

IV.3.2.3 Descripción, periodicidad e indicadores

P1. Delimitación y señalización de los frentes

Antes de iniciar cada actividad se delimitarán los polígonos autorizados, rutas de tránsito, áreas de exclusión y zonas de seguridad.

Aplicación: antes y durante cada frente de obra.
Plazo: toda la preparación y construcción.

Indicadores:

- 100% de frentes delimitados.
- Señalización instalada antes del inicio.
- Ausencia de actividades fuera de polígonos autorizados.
- Registro fotográfico y georreferenciado.
- Número de incidencias por ingreso no autorizado.

P2. Control de maquinaria, emisiones y ruido

Los equipos deberán encontrarse en condiciones mecánicas adecuadas, sin fugas visibles, emisiones anormales o niveles innecesarios de ruido. Se evitará mantener motores encendidos sin operación.

Aplicación: inspección previa y diaria.
Plazo: preparación, construcción y mantenimiento.

Indicadores:

- Porcentaje de equipos inspeccionados.
- Bitácoras de mantenimiento.
- Número de fugas o emisiones anormales.
- Número de equipos retirados o reparados.
- Horas de operación registradas.

P3. Programación ambiental de las obras

Las actividades marinas se programarán considerando oleaje, viento, lluvia, visibilidad y presencia de fauna. Se suspenderán maniobras cuando las condiciones impidan controlar la dispersión de sedimentos o comprometan la seguridad.

Aplicación: revisión diaria antes del inicio.
Plazo: construcción, mantenimiento y desmantelamiento.

Indicadores:

- Reportes diarios de condiciones meteorológicas.
- Número de suspensiones preventivas.
- Ausencia de maniobras durante condiciones adversas.
- Cumplimiento de horarios autorizados.

P4. Control de turbidez y sedimentos

Se instalarán mallas antidispersión alrededor de los frentes de extracción, hidrollenado y vertimiento cuando exista posibilidad de propagación de partículas. El bombeo y la descarga se efectuarán gradualmente.

Aplicación: antes y durante actividades que movilicen sedimentos.
Plazo: extracción, hidrollenado, vertimiento, mantenimiento y retiro.

Indicadores:

- Metros lineales de malla instalada.
- Integridad de la malla.
- Caudal y tiempo de bombeo.

- Ausencia de plumas visibles fuera del área delimitada.
- Resultados del monitoreo de turbidez.
- Número de interrupciones o reparaciones.

P5. Aprovechamiento controlado del Banco IRRM

La extracción se restringirá al polígono autorizado, evitando ampliar la superficie, profundidad, espesor o volumen permitido. El avance se realizará por secciones para reducir la superficie perturbada simultáneamente.

Aplicación: durante toda la extracción.
Plazo: periodo de aprovechamiento del banco.

Indicadores:

- Superficie extraída.
- Profundidad y espesor de extracción.
- Volumen aprovechado.
- Coordenadas de los frentes.
- Ausencia de extracción fuera del polígono.
- Levantamientos batimétricos antes y después.

P6. Rescate, ahuyentamiento y reubicación de fauna

Antes de iniciar cada frente se realizará una inspección para detectar fauna. Los organismos móviles serán ahuyentados y los ejemplares de baja movilidad que se encuentren en riesgo serán reubicados en hábitats compatibles.

Aplicación: antes del inicio y durante las maniobras.
Plazo: preparación, construcción, mantenimiento y cierre.

Indicadores:

- Número de recorridos.
- Superficie inspeccionada.
- Organismos observados.
- Organismos ahuyentados o reubicados.
- Especie y sitio receptor.
- Mortalidad registrada.
- Evidencia fotográfica.

P7. Microlocalización y protección de vegetación marina

Se verificará la cobertura bentónica en las inmediaciones de los geotubos 11 y 14. La prioridad será ajustar puntualmente su ubicación para evitar o reducir la coincidencia con pastos marinos, siempre que el ajuste sea técnicamente viable.

Aplicación: inmediatamente antes de instalar las estructuras.
Plazo: previo y durante la colocación de los geotubos 11 y 14.

Indicadores:

- Superficie verificada.
- Superficie de pastos delimitada.
- Superficie evitada.
- Superficie inevitablemente afectada.
- Ajustes realizados.
- Coordenadas finales de las estructuras.

P8. Verificación y manejo de arena compatible

La arena deberá estar libre de residuos, hidrocarburos, sargazo en descomposición y materiales ajenos. Su colocación se limitará a los volúmenes y polígonos establecidos.

Aplicación: antes y durante la extracción y colocación.
Plazo: construcción y mantenimiento.

Indicadores:

- Volumen extraído y colocado.
- Resultados granulométricos.
- Ausencia de residuos y contaminantes visibles.
- Procedencia documentada.
- Volumen depositado fuera de polígonos: 0 m^3.

P9. Protección de tortugas marinas

Se realizarán recorridos previos y se controlarán horarios, iluminación, tránsito, maquinaria y obstáculos durante la temporada de anidación. Ante la presencia de una tortuga, rastro, nido o cría, se suspenderán las actividades en el sector inmediato.

Aplicación: diaria durante la temporada de anidación y antes de actividades en playa.
Plazo: preparación, construcción y mantenimiento.

Indicadores:

- Número de recorridos.
- Rastros, nidos, individuos o crías registrados.
- Número de suspensiones.
- Ausencia de iluminación dirigida al mar.
- Distancia de protección establecida.
- Reportes de atención.

P10. Manejo integral de residuos sólidos urbanos

Los residuos se separarán y depositarán en recipientes cerrados y señalizados. Al finalizar cada jornada se retirarán de los frentes y se trasladarán a sitios autorizados.

Aplicación: continua y con retiro diario.
Plazo: todas las etapas.

Indicadores:

- Número y capacidad de recipientes.
- Volumen o masa generada.
- Frecuencia de retiro.
- Comprobantes de entrega.
- Residuos abandonados en playa o mar: 0.

P11. Manejo de residuos de manejo especial

Los embalajes, mangueras, cabos, fragmentos de geotextil, componentes deteriorados y residuos de construcción se almacenarán separadamente y se entregarán a prestadores o destinos autorizados.

Aplicación: continua y después de reparaciones.
Plazo: construcción, mantenimiento y desmantelamiento.

Indicadores:

- Masa o volumen generado.
- Inventario de geotextiles y componentes retirados.
- Área de almacenamiento.
- Comprobantes de entrega.
- Fragmentos abandonados: 0.

P12. Prevención y atención de derrames

El abastecimiento de combustibles se realizará fuera del área marina. Los equipos deberán contar con mantenimiento y materiales absorbentes para atender fugas menores. Los residuos generados durante una contingencia se manejarán conforme a su naturaleza.

Aplicación: inspección diaria y atención inmediata.
Plazo: preparación, construcción y mantenimiento.

Indicadores:

- Abastecimientos realizados en el área marina: 0.
- Equipos inspeccionados.

- Kits disponibles.
- Número y volumen de derrames.
- Tiempo de respuesta.
- Residuos contaminados recuperados.

P13. Inspección y mantenimiento de estructuras

Se revisarán geotubos, costuras, puertos, tapetes y anclajes para detectar deformaciones, daños, desplazamientos, socavación o liberación de materiales.

Aplicación: después de la instalación, periódicamente y después de eventos extraordinarios.
Plazo: toda la vida útil.

Indicadores:

- Número de inspecciones.
- Porcentaje de estructuras revisadas.
- Daños detectados y reparados.
- Tiempo de atención.
- Fragmentos recuperados.
- Áreas con socavación.

M1. Monitoreo y manejo adaptativo de la línea de costa

Se dará seguimiento a la posición de la línea de costa, perfiles topográficos y batimétricos, ancho de playa y sectores de erosión o acumulación. Si se detectan cambios atribuibles al Proyecto se aplicarán medidas correctivas.

Aplicación: antes, durante y después de las obras y después de eventos extremos.
Plazo: construcción y operación.

Indicadores:

- Posición de la línea de costa.
- Variación del ancho de playa.
- Cambios de elevación.
- Volumen sedimentario.
- Sectores de erosión y acreción.
- Acciones correctivas aplicadas.

M2. Monitoreo de la calidad del agua marina

Se evaluará la calidad del agua antes, durante y después de las actividades que movilicen sedimentos. Los puntos incluirán el frente, el límite de las mallas y estaciones de referencia.

Aplicación: durante extracción, hidrollenado, vertimiento, mantenimiento y retiro.
Plazo: construcción y mantenimiento.

Indicadores:

- Turbidez.
- Transparencia.
- Sólidos suspendidos, cuando corresponda.
- Diferencia entre frente y referencia.
- Tiempo de retorno a la condición previa.
- Número de suspensiones por excedencia.

R1. Conservación, manejo y restauración de vegetación marina

Cuando la microlocalización no permita evitar toda la afectación, se rescatarán y reubicarán las unidades vegetativas en un sitio compatible. Se dará seguimiento a la cobertura, densidad y supervivencia.

Aplicación: antes y durante la instalación y durante el seguimiento.
Plazo: seguimiento mensual inicial, trimestral durante el primer año y semestral durante el segundo.

Indicadores:

- Superficie afectada.
- Superficie restaurada.
- Unidades vegetativas manejadas.
- Supervivencia.
- Cobertura.
- Densidad.
- Estabilidad del sitio receptor.

R2. Restauración y seguimiento de dunas costeras

Se conformarán seis secciones de duna con una superficie total de 540 m² y se establecerán aproximadamente 1,350 plantas nativas.

Aplicación: durante la construcción y operación.
Plazo: establecimiento inicial y seguimiento durante al menos dos años.

Indicadores:

- Seis dunas conformadas.
- 540 m² restaurados.
- Número de plantas establecidas.
- Supervivencia mínima del 80% al primer año.

- Cobertura vegetal.
- Reposición de bajas.
- Estabilidad de la arena.

R3. Recuperación de superficies temporales

Al concluir cada frente se retirarán mangueras, mallas, equipos, señalización y residuos. Se restituirá el relieve cuando resulte necesario.

Aplicación: al cierre de cada frente.
Plazo: construcción y cierre.

Indicadores:

- Superficie liberada.
- Residuos retirados.
- Ausencia de materiales y manchas.
- Relieve restituido.
- Actas y fotografías de liberación.

R4. Restauración correctiva del fondo

En caso de daño o retiro de componentes, se recuperarán fragmentos, se corregirá la socavación y se restituirá el sustrato.

Aplicación: cuando una inspección detecte alteraciones.
Plazo: operación, mantenimiento y desmantelamiento.

Indicadores:

- Superficie afectada.
- Superficie restaurada.
- Material recuperado.
- Ausencia de fragmentos.
- Estabilidad del fondo.
- Evidencia de recolonización.

C1. Restauración compensatoria de vegetación marina

Esta medida se activará únicamente si, después de aplicar P7 y R1, permanece una pérdida neta comprobada de vegetación marina. La superficie compensatoria será, como mínimo, equivalente a la pérdida residual.

Aplicación: condicionada a resultados.
Plazo: después de comprobarse la pérdida residual, con seguimiento hasta su establecimiento.

Indicadores:

- Superficie residual comprobada.
- Superficie compensada.
- Relación entre pérdida y compensación.
- Supervivencia y cobertura.
- Cumplimiento de autorizaciones.
- Estabilidad del sitio.

IV.3.2.4 Valoración residual

La importancia residual se estimó considerando la aplicación correcta de las medidas. La valoración no supone que estas eliminarán todos los efectos, sino que reducirán su intensidad, extensión, duración o posibilidad de permanencia.

Tabla 24. Matriz de valoración residual de los impactos negativos.

Clave	Impacto	A	E	In	P	Rv	Rc	Im residual	Categoría residual
PS-01	Emisiones y partículas	1	1	1	1	1	1	–6	Compatible
PS-02	Ruido y perturbación	1	1	1	1	1	1	–6	Compatible
PS-03	Restricción recreativa	1	1	1	1	1	1	–6	Compatible
CO-01	Turbidez por extracción	3	1	1	1	1	1	–8	Compatible
CO-02	Modificación del Banco IRRM	1	1	4	3	3	1	–13	Moderado
CO-03	Alteración del hábitat del banco	3	1	4	3	1	1	–13	Moderado
CO-04	Desplazamiento de fauna	3	1	1	1	1	1	–8	Compatible
CO-05	Ruido subacuático	3	1	1	1	1	1	–8	Compatible
CO-06	Ocupación del fondo	1	1	4	3	3	3	–15	Severo
CO-07	Afectación de pastos marinos	1	1	1	1	1	1	–6	Compatible
CO-08	Turbidez por hidrollenado	3	1	1	1	1	1	–8	Compatible
CO-09	Modificación del transporte litoral	3	2	1	3	3	1	–13	Moderado
CO-10	Cubrimiento en V1 y V2	3	1	4	3	1	1	–13	Moderado
CO-11	Turbidez por vertimiento	3	1	1	1	1	1	–8	Compatible
CO-15	Perturbación de fauna y tortugas	3	1	1	1	1	1	–8	Compatible, bajo prevención
CO-16	Modificación visual	1	1	1	1	1	1	–6	Compatible
CO-18	Riesgo por residuos	1	1	1	1	1	1	–6	Compatible/contingente
CO-19	Riesgo por hidrocarburos	1	1	1	1	1	1	–6	Compatible/contingente
OM-02	Erosión o acumulación no prevista	3	2	1	3	3	1	–13	Moderado

Clave	Impacto	A	E	In	P	Rv	Rc	Im residual	Categoría residual
OM-03	Permanencia de ocupación	1	1	4	3	3	3	–15	Severo residual
OM-04	Fragmentos o pérdida de arena	3	1	1	1	1	1	–8	Compatible/contingente
OM-05	Turbidez por mantenimiento	3	1	1	1	1	1	–8	Compatible
CD-01	Resuspensión por retiro	3	1	1	1	1	1	–8	Compatible

La reducción de CO-07 a compatible está condicionada a que la microlocalización, rescate y restauración resulten eficaces. Si permanece una pérdida neta de vegetación marina, el impacto conservará significancia y se activará C1.

Tabla 25. Distribución de los impactos negativos después de aplicar las medidas.

Categoría residual	Número	Porcentaje respecto de los negativos
Compatible	16	69.57%
Moderado	5	21.74%
Severo	2	8.69%
Crítico	0	0.00%
Total	**23**	**100.00%**

Los dos registros severos corresponden a CO-06 y OM-03, es decir, a la generación y permanencia de la misma ocupación física del fondo. No representan dos superficies distintas.

IV.3.3 Análisis integrado de impactos significativos, acumulativos, sinérgicos y residuales

IV.3.3.1 Impactos significativos después de las medidas

La aplicación de medidas reduce la importancia de los impactos relacionados con turbidez, ruido, fauna, residuos, hidrocarburos y vegetación marina. Sin embargo, la ocupación física del fondo permanece como impacto severo residual mientras las estructuras continúen instaladas.

Los posibles cambios en la circulación y transporte litoral se reducen a moderados mediante seguimiento y manejo adaptativo, pero continúan siendo ambientalmente relevantes debido a su interacción con la erosión preexistente.

IV.3.3.2 Impactos acumulativos

Tabla 26. Análisis integrado de impactos acumulativos.

Impacto	Presión existente	Resultado acumulativo	Medidas
Turbidez temporal	Oleaje, tormentas y navegación	Incremento temporal de partículas	P3, P4 y M2
Ocupación del fondo	Alteración por navegación y anclaje	Incremento localizado de superficie modificada	P7, P13 y R4
Alteración de pastos	Variabilidad y presión sobre vegetación marina	Pérdida adicional si no se evita o restaura	P7, R1 y C1
Perturbación de fauna	Turismo y navegación	Desplazamiento temporal adicional	P3 y P6
Residuos	Presión turística existente	Incremento potencial de materiales en playa y mar	P10 y P11
Modificación sedimentaria	Erosión histórica	Redistribución positiva o adversa de arena	M1
Restauración dunar	Discontinuidad histórica de dunas	Recuperación acumulativa de retención y protección	R2
Aporte de arena	Pérdida histórica de playa	Restitución parcial del volumen sedimentario	M1

IV.3.3.3 Impactos sinérgicos

Tabla 27. Análisis integrado de impactos sinérgicos.

Interacción	Resultado	Tipo
Estructuras + arena + dunas	Estabilización integral del perfil costero	Positiva
Dunas + vegetación + pasos	Retención de arena y reducción del pisoteo	Positiva
Estructuras + oleaje extremo	Socavación o daño estructural	Negativa potencial
Cambio de corrientes + erosión existente	Erosión o acumulación no prevista	Negativa potencial
Turbidez + sedimentación + pastos	Disminución de luz y cubrimiento	Negativa temporal
Ruido de obra + navegación	Mayor desplazamiento de fauna	Negativa temporal
Ruptura de geotextil + oleaje intenso	Liberación y dispersión de materiales	Negativa contingente
Reducción de playa + presencia humana	Mayor interferencia con tortugas	Negativa potencial

IV.3.3.4 Impactos residuales

Tabla 28. Impactos residuales después de aplicar las medidas.

Impacto residual	Componente	Condición final esperada
Modificación del Banco IRRM	Fondo marino	Permanecerá una modificación localizada de profundidad y relieve
Recuperación gradual del hábitat del banco	Hábitat bentónico	La recolonización será progresiva y no inmediata
Ocupación por geotubos y anclajes	Fondo y hábitat	Permanecerá mientras las estructuras estén instaladas
Modificación localizada del transporte litoral	Dinámica costera	Requiere monitoreo durante la operación
Cubrimiento del sustrato en V1 y V2	Fondo y playa	El espesor y perfil sedimentario permanecerán modificados
Cambio visual	Paisaje	Permanecerá parcialmente para elementos visibles
Pérdida de pastos no recuperada	Vegetación marina	Solo existirá si las medidas no recuperan la cobertura
Erosión inducida no corregida	Línea de costa	Solo permanecerá si el manejo adaptativo no logra revertirla

En conjunto, las medidas permiten reducir 21 de los 23 impactos negativos a categorías compatibles o moderadas. La ocupación del fondo constituye el principal impacto severo residual inherente al Proyecto. La pérdida residual de vegetación marina y la erosión inducida no se consideran inevitables; su permanencia activará acciones adicionales de restauración o compensación.

IV.4 Delimitación del Área de Influencia de acuerdo con la extensión e intensidad de los impactos ambientales significativos, sinérgicos, acumulativos y residuales

La delimitación del Área de Influencia (AI) se verificó inicialmente con base en la naturaleza, extensión e intensidad de los impactos potenciales y se confirmó mediante el análisis de los impactos significativos, acumulativos, sinérgicos y residuales resultantes después de considerar las medidas ambientales.

El AI no se definió mediante una distancia uniforme alrededor de las obras. Se utilizó como referente la **microcelda litoral**, por constituir la unidad geomorfológica y funcional dentro de la cual pueden manifestarse los principales efectos del Proyecto sobre el oleaje, las corrientes costeras, el transporte de sedimentos, la evolución de la línea de costa y los hábitats marinos.

La selección de esta unidad es congruente con la naturaleza del Proyecto, debido a que sus obras y actividades se relacionan con:

- Ocupación puntual del fondo.
- Extracción y conducción de arena.
- Vertimiento y redistribución de sedimentos.
- Modificación localizada del oleaje y las corrientes.
- Transporte longitudinal y transversal.
- Evolución del perfil de playa.
- Interacción entre playa, zona intermareal y dunas.
- Presencia de vegetación y fauna marina.
- Uso turístico y recreativo del litoral.

El AI tiene una superficie de **4,847,500.90 m²**, equivalentes a **484.75 ha**, y se encuentra contenida dentro de la Región Ecológica de **22,369,913.66 m²**.

IV.4.1 Criterios de delimitación

Tabla 29. Criterios empleados para verificar la delimitación del Área de Influencia.

Categoría	Criterio	Aplicación
Geomorfología	Microcelda litoral	Unidad funcional en la que se manifiestan procesos locales de erosión, acreción y transporte sedimentario
Oceanografía	Oleaje y corrientes	Principales mecanismos de movilización de agua, sedimentos y partículas
Transporte litoral	Movimiento longitudinal y transversal	Ámbito potencial de redistribución de la arena colocada
Batimetría	Profundidad y configuración del fondo	Continuidad física entre playa, fondo somero, estructuras y Banco IRRM
Línea de costa	Tramo conectado con las obras	Sector donde podrían manifestarse estabilización, erosión o acumulación
Calidad del agua	Dispersión temporal de sedimentos	Propagación potencial de turbidez durante extracción, bombeo y vertimiento
Hábitats bentónicos	Continuidad de coberturas	Inclusión de arena, laja, pastos marinos, macroalgas y gorgonáceos
Fauna marina	Movilidad de organismos	Posible desplazamiento fuera de los frentes activos
Uso territorial	Turismo, recreación y navegación	Sectores que podrían presentar restricciones o cambios temporales
Acumulación	Erosión y presión turística	Interacción con procesos y actividades existentes
Sinergia	Oleaje extremo y cambio climático	Interacción con procesos naturales de mayor escala

Categoría	Criterio	Aplicación
Residualidad	Ocupación permanente del fondo	Inclusión de la totalidad de las superficies que permanecerán ocupadas

IV.4.2 Relación entre la RE, AI y AP

La RE constituye la unidad de contexto regional. Dentro de ella se encuentra el AI y, dentro de esta última, las superficies que conforman el AP.

El AP comprende:

- Barreras de contención C1 y C2.
- Dieciocho geotubos rompeolas.
- Polígonos V1 y V2.
- Seis dunas artificiales.
- Seis pasos elevados.
- Líneas temporales de conducción.
- Frentes de maniobra.
- Banco IRRM.

IV.4.3 Alcance de los impactos significativos

Tabla 30. Extensión de los impactos significativos y relación con el AI.

Impacto	Manifestación directa	Extensión indirecta	Relación con el AI
Alteración del Banco IRRM	Polígono de extracción	Entorno expuesto a turbidez y desplazamiento de fauna	Contenido en el AI
Ocupación del fondo	Huella de geotubos, tapetes y anclajes	Entorno inmediato de interacción con sedimentos y fauna	Principalmente limitada al AP
Afectación de pastos	10.51 m² de coincidencia cartográfica	Parches próximos expuestos a sedimentación	Incluidos en el AI
Modificación del transporte litoral	Inmediaciones de las barreras	Tramo de costa conectado por la microcelda	Principal criterio de delimitación
Cubrimiento en V1 y V2	2,569.75 m²	Área de redistribución de arena	Contenido en el AP y AI
Erosión o acumulación no prevista	Sectores laterales	Tramo costero funcionalmente conectado	Incluido en la microcelda
Permanencia de estructuras	Huella de ocupación	Entorno bentónico inmediato	Limitada al AP

Impacto	Manifestación directa	Extensión indirecta	Relación con el AI
Perturbación de tortugas	Frentes activos de playa	Sectores próximos de tránsito	Incluidos en el AI

La inclusión de la totalidad de la microcelda no significa que toda su superficie será afectada. Los impactos de intensidad media y alta se concentrarán en el AP, mientras que el resto del AI constituye la unidad funcional para analizar la propagación de efectos indirectos.

IV.4.4 Calidad del agua

La turbidez asociada con extracción, conducción, hidrollenado y vertimiento se originará en frentes definidos. Su extensión dependerá de:

- Proporción de partículas finas.
- Caudal de bombeo.
- Corrientes y oleaje.
- Profundidad.
- Duración de la descarga.
- Integridad de las mallas antidispersión.
- Tamaño del frente activo.

La intensidad máxima se presentará en la fuente y disminuirá con la distancia por sedimentación, dilución y retención. La microcelda proporciona una envolvente precautoria; no se prevé una modificación homogénea de toda su superficie.

IV.4.5 Fondo y vegetación marina

Los efectos directos sobre el fondo se concentran en:

- Banco IRRM.
- Huella de barreras.
- Tapetes y anclajes.
- Polígonos V1 y V2.
- Superficies temporales.

La coincidencia con pastos marinos comprende:

- Geotubo 11: **3.76 m²**.
- Geotubo 14: **6.75 m²**.
- Total: **10.51 m²**.

El AI incluye los parches contiguos para evaluar posibles efectos indirectos. Esto no implica que toda la vegetación marina de la microcelda será afectada.

IV.4.6 Fauna

La perturbación de fauna será principalmente temporal y estará asociada con ruido, turbidez, presencia de equipos y modificación del sustrato. Los organismos móviles podrán desplazarse fuera de los frentes, por lo que el análisis no se limita a la huella directa.

Aunque no se registraron tortugas, el AI incluye el tramo de playa y zona marina necesario para considerar su posible tránsito o aproximación.

IV.4.7 Línea de costa

Los efectos sobre la línea de costa constituyen el factor de mayor alcance. Se consideran dos respuestas:

- **Prevista:** retención de arena y estabilización parcial.
- **No prevista:** erosión localizada o acumulación excesiva.

La microcelda incluye los sectores conectados por el transporte litoral y permite evaluar la respuesta fuera del frente inmediato del hotel.

La mesocelda se conserva dentro de la RE como referencia regional, pero no se adopta como AI porque las obras son localizadas y no se prevé una modificación uniforme de toda esa unidad.

IV.4.8 Gradiente espacial

Tabla 31. Gradiente espacial de intensidad de los impactos.

Zona	Intensidad esperada	Impactos principales
Huella directa	Media a alta	Ocupación, cubrimiento y modificación del sustrato
Frentes activos	Media	Turbidez, ruido, perturbación y restricciones
Entorno inmediato	Baja a media	Dispersión de partículas y desplazamiento de fauna
Resto de la microcelda	Baja o no perceptible para la mayoría de los impactos	Seguimiento del transporte sedimentario y línea de costa
RE fuera del AI	No atribuible en condiciones ordinarias	Contexto regional y tendencias acumulativas

IV.4.9 Conclusión de la delimitación

El análisis confirma que la microcelda litoral constituye una unidad ambiental funcional y precautoria para delimitar el AI porque:

- Contiene todas las obras.
- Incluye el Banco IRRM y la conducción.

- Abarca los sectores potencialmente expuestos a turbidez.
- Incorpora los parches bentónicos próximos.
- Considera el desplazamiento temporal de fauna.
- Incluye el tramo de costa susceptible de cambios sedimentarios.
- Permite analizar la interacción con la erosión y los eventos extremos.
- Comprende los impactos residuales razonablemente previsibles.

En consecuencia, se mantiene el AI con una superficie de **4,847,500.90 m²**.

IV.5 Medidas de compensación y restauración ambiental

Este apartado concentra las acciones dirigidas a restablecer componentes y funciones ambientales y, únicamente cuando permanezca una pérdida residual, aplicar compensación.

Las medidas ya fueron relacionadas con los impactos en el IV.3.2. Su presentación en esta sección no constituye repetición, sino una integración específica de las acciones de restauración y compensación.

IV.5.1 Principios de aplicación

Las medidas se aplicarán conforme a la siguiente secuencia:

1. Evitar.
2. Minimizar.
3. Restaurar en el sitio.
4. Verificar la recuperación.
5. Compensar una pérdida residual comprobada.

La restauración se realizará preferentemente en el lugar afectado. La compensación únicamente procederá cuando la restitución directa no alcance una condición funcional aceptable.

IV.5.2 Restauración de vegetación marina

La primera acción será evitar la afectación de los **10.51 m²** de pastos marinos mediante verificación de campo y microlocalización.

Cuando no sea posible evitarla completamente se aplicará R1, que comprende:

- Delimitación.
- Identificación de especies y cobertura.
- Rescate de unidades vegetativas.
- Selección de sitios receptores.
- Reubicación.
- Seguimiento de supervivencia, cobertura y estabilidad.
- Acciones correctivas.

La ejecución se realizará mediante el **Programa de Conservación, Manejo y Restauración de Vegetación Marina**.

IV.5.3 Restauración del sistema playa–duna

Se conformarán seis secciones de duna artificial, con una superficie total de **540 m²**, mediante núcleos de geotextil, cobertura arenosa y aproximadamente **1,350 plantas nativas**.

Las acciones incluyen:

- Conformación del relieve.
- Estabilización del sustrato.
- Revegetación.
- Protección temporal.
- Reposición de plantas.
- Control de especies exóticas.
- Instalación de pasos elevados.
- Seguimiento de supervivencia, cobertura y estabilidad.

Las dunas constituyen una obra restaurativa intrínseca al Proyecto y no se utilizarán para cancelar o compensar impactos no relacionados sobre el fondo o la vegetación marina.

IV.5.4 Restauración de superficies temporales

Al concluir los frentes se retirarán mangueras, mallas, señalización, equipos, embalajes y residuos. Se comprobará:

- Ausencia de materiales.
- Ausencia de manchas o contaminación.
- Restitución del relieve.
- Estabilidad del sustrato.
- Liberación de áreas de tránsito.
- Recuperación de la condición superficial.

IV.5.5 Restauración del fondo

Cuando se retiren componentes o se detecten rupturas, desplazamientos o socavación se realizará:

- Recuperación de fragmentos.
- Retiro de materiales.
- Corrección de depresiones o montículos.
- Restitución del sustrato.
- Restauración de vegetación afectada.
- Verificación de estabilidad.

IV.5.6 Restauración adaptativa de la línea de costa

Si el monitoreo identifica erosión o acumulación atribuible al Proyecto se aplicarán:

- Redistribución controlada de arena.
- Reparación o ajuste de estructuras.
- Reposición de sedimento compatible.
- Restauración del perfil.
- Estabilización de dunas.
- Seguimiento del sector afectado.

Estas acciones constituyen restauración correctiva y no compensación.

IV.5.7 Compensación condicionada

La única compensación prevista corresponde a la vegetación marina. Se activará cuando permanezca una pérdida neta después de aplicar evitación y restauración directa.

La superficie compensatoria deberá:

- Ser igual o mayor que la pérdida residual.
- Corresponder al mismo tipo de componente.
- Localizarse en un ambiente compatible.
- Utilizar especies nativas.
- Evitar afectar praderas sanas.
- Contar con seguimiento.
- Cumplir las autorizaciones aplicables.

No se propone compensación de manglar porque no se identificó afectación sobre este ecosistema.

IV.5.8 Programas relacionados

Tabla 32. Programas relacionados con las medidas de restauración y compensación.

Programa	Propósito general
Programa de Vigilancia Ambiental	Supervisar el cumplimiento y eficacia de las medidas y condicionantes
Programa de Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos	Prevenir la dispersión y disposición inadecuada de residuos
Programa de Monitoreo de la Línea de Costa y la Calidad del Agua Marina	Evaluar la evolución del perfil costero y detectar erosión o acumulación no prevista/ Evaluar turbidez, transparencia y otras condiciones relacionadas con las obras

Programa	Propósito general
Programa de Protección, Rescate y Reubicación de Fauna Marina	Evitar lesiones o mortalidad de fauna durante las maniobras
Programa de Protección y Monitoreo de Tortugas Marinas	Prevenir perturbaciones durante la temporada de anidación y atender eventuales registros
Programa de Conservación, Manejo y Restauración de Vegetación Marina	Prevenir, minimizar y restaurar la afectación de pastos marinos y comunidades bentónicas

IV.5.9 Matriz de restauración y compensación

Tabla 33. Medidas de restauración y compensación ambiental.

Clave	Descripción, objetivo, periodicidad y plazo	Ubicación	Indicadores
R1	Evitar, rescatar, reubicar y restaurar vegetación marina. Verificación previa; seguimiento mensual inicial, trimestral el primer año y semestral el segundo	Geotubos 11 y 14 y sitio receptor compatible	Superficie evitada, afectada y restaurada; unidades manejadas; supervivencia; cobertura
R2	Conformar y mantener seis dunas y establecer aproximadamente 1,350 plantas. Seguimiento durante al menos dos años	540 m² frente al hotel	Seis dunas; 540 m²; plantas establecidas; supervivencia; cobertura y estabilidad
R3	Retirar instalaciones y recuperar áreas temporales después de cada frente	Frentes, rutas y zonas de maniobra	Superficie liberada; residuos retirados; ausencia de manchas; restitución del relieve
R4	Restaurar el fondo después de fallas, reparaciones o retiro	Huella y entorno de estructuras	Superficie restaurada; materiales recuperados; estabilidad y recolonización
R5	Corregir erosión o acumulación atribuible al Proyecto	Frente intervenido y sectores conectados	Línea de costa; perfiles; volumen de arena; superficie restaurada

C1	Compensar pérdida residual de vegetación marina	Sitio compatible y autorizado	Superficie residual; superficie compensada; supervivencia; cobertura

IV.5.10 Indicadores integrados

Tabla 34. Indicadores de cumplimiento y eficacia.

Componente	Indicador	Unidad	Meta
Pastos marinos	Superficie evitada	m^2	Maximizar la superficie evitada
Pastos marinos	Superficie afectada	m^2	No superar la superficie verificada y autorizada
Pastos marinos	Superficie restaurada	m^2	Igual o mayor que la afectada
Dunas	Superficie conformada	m^2	540
Dunas	Secciones establecidas	Número	6
Vegetación dunar	Plantas establecidas	Número	Aproximadamente 1,350
Vegetación dunar	Supervivencia al primer año	%	Mínimo 80%, con reposición
Línea de costa	Variación de posición	m	Sin erosión progresiva atribuible fuera de los polígonos
Fondo	Superficie restaurada por contingencias	m^2	100% de la superficie adicional afectada
Residuos	Materiales retirados	kg o número	Recuperación de todos los materiales identificados
Agua marina	Turbidez y transparencia	NTU y m	Retorno a la condición de referencia
Cumplimiento	Medidas ejecutadas	%	100%
Respuesta	Desviaciones atendidas	%	100%

IV.6 Conclusión

La evaluación identificó **32 impactos ambientales potenciales**, de los cuales **23 son negativos y nueve positivos**.

Los impactos negativos se distribuyen en:

- Cinco compatibles.
- Once moderados.
- Siete severos.
- Ninguno crítico.

Después de aplicar las medidas se prevén:

- Dieciséis impactos compatibles.
- Cinco moderados.
- Dos registros severos correspondientes a la generación y permanencia de la ocupación del fondo.
- Ningún impacto crítico.

CO-06 y OM-03 representan dos etapas de una misma modificación y no dos superficies diferentes.

IV.6.1 Impactos significativos

Los impactos inicialmente significativos corresponden a:

- Alteración del hábitat bentónico del Banco IRRM.
- Ocupación del fondo.
- Afectación potencial de pastos marinos.
- Modificación del transporte litoral.
- Cubrimiento del sustrato en V1 y V2.
- Erosión o acumulación no prevista.
- Permanencia de la ocupación del fondo.
- Perturbación potencial de tortugas cuando exista presencia.

La mayoría puede reducirse mediante delimitación, control de sedimentos, microlocalización, rescate, restauración y monitoreo. La ocupación del fondo permanecerá como impacto severo residual durante la vida útil.

IV.6.2 Impactos acumulativos

Los principales impactos acumulativos negativos se relacionan con:

- Turbidez sobre un ambiente sometido a resuspensión natural.
- Ocupación del fondo junto con presiones de navegación.
- Posible pérdida adicional de pastos marinos.
- Perturbación de fauna junto con turismo y navegación.
- Generación de residuos en una costa de uso intensivo.
- Modificación sedimentaria dentro de un tramo erosionado.

Los impactos acumulativos positivos comprenden:

- Restitución parcial del volumen de arena.
- Formación de dunas.
- Establecimiento de vegetación nativa.
- Ordenamiento del tránsito.
- Recuperación de la capacidad de amortiguamiento.

IV.6.3 Impactos sinérgicos

Las principales interacciones negativas son:

- Estructuras y oleaje extremo.
- Cambios de circulación y erosión existente.
- Turbidez y sedimentación sobre pastos.
- Ruido de obra y navegación.
- Ruptura de geotextiles y oleaje intenso.
- Actividad en playa y presencia potencial de tortugas.

La principal sinergia positiva deriva del funcionamiento conjunto de barreras, arena, dunas, vegetación y pasos elevados.

IV.6.4 Impactos residuales

Los impactos residuales son:

- Modificación localizada del Banco IRRM.
- Recuperación gradual del hábitat bentónico.
- Ocupación física del fondo.
- Modificación del microrelieve.
- Cambio localizado de circulación y transporte.
- Cubrimiento del sustrato en V1 y V2.
- Presencia visual de estructuras.
- Pérdida de pastos, únicamente si la restauración no resulta eficaz.
- Erosión inducida, únicamente si no se corrige mediante manejo adaptativo.

La ocupación del fondo constituye el principal impacto residual inherente al Proyecto.

IV.6.5 Balance final

Tabla 35. Balance ambiental integrado del Proyecto.

Aspecto	Resultado
Impactos críticos	No se identificaron
Principal impacto residual	Ocupación física del fondo
Componente más sensible	Vegetación marina y hábitat bentónico
Proceso de mayor alcance	Transporte litoral y evolución de la línea de costa
Principal riesgo ecológico	Erosión no prevista o pérdida residual de pastos
Principal beneficio esperado	Estabilización y restitución parcial del perfil costero
Componente restaurativo principal	Sistema playa–duna
Unidad de seguimiento	Microcelda litoral delimitada como AI
Mecanismo de control	Vigilancia, monitoreo y manejo adaptativo

El Proyecto tiene una finalidad de restauración y estabilización litoral; sin embargo, esta finalidad no elimina sus impactos durante la construcción y operación. La extracción de arena, ocupación del fondo, vertimiento y posible interacción con vegetación marina requieren controles específicos. Los efectos positivos son resultados esperados y deberán demostrarse mediante el monitoreo de la línea de costa, perfil de playa, calidad del agua, vegetación marina y estructuras. Si se identifican desviaciones, se aplicarán acciones correctivas.

En conjunto, las medidas permiten prevenir o reducir la mayoría de los impactos temporales y atender los efectos residuales mediante restauración y seguimiento. La eficacia ambiental del Proyecto dependerá del cumplimiento integral de los programas, la protección de los componentes sensibles y la aplicación oportuna del manejo adaptativo.

SM 12

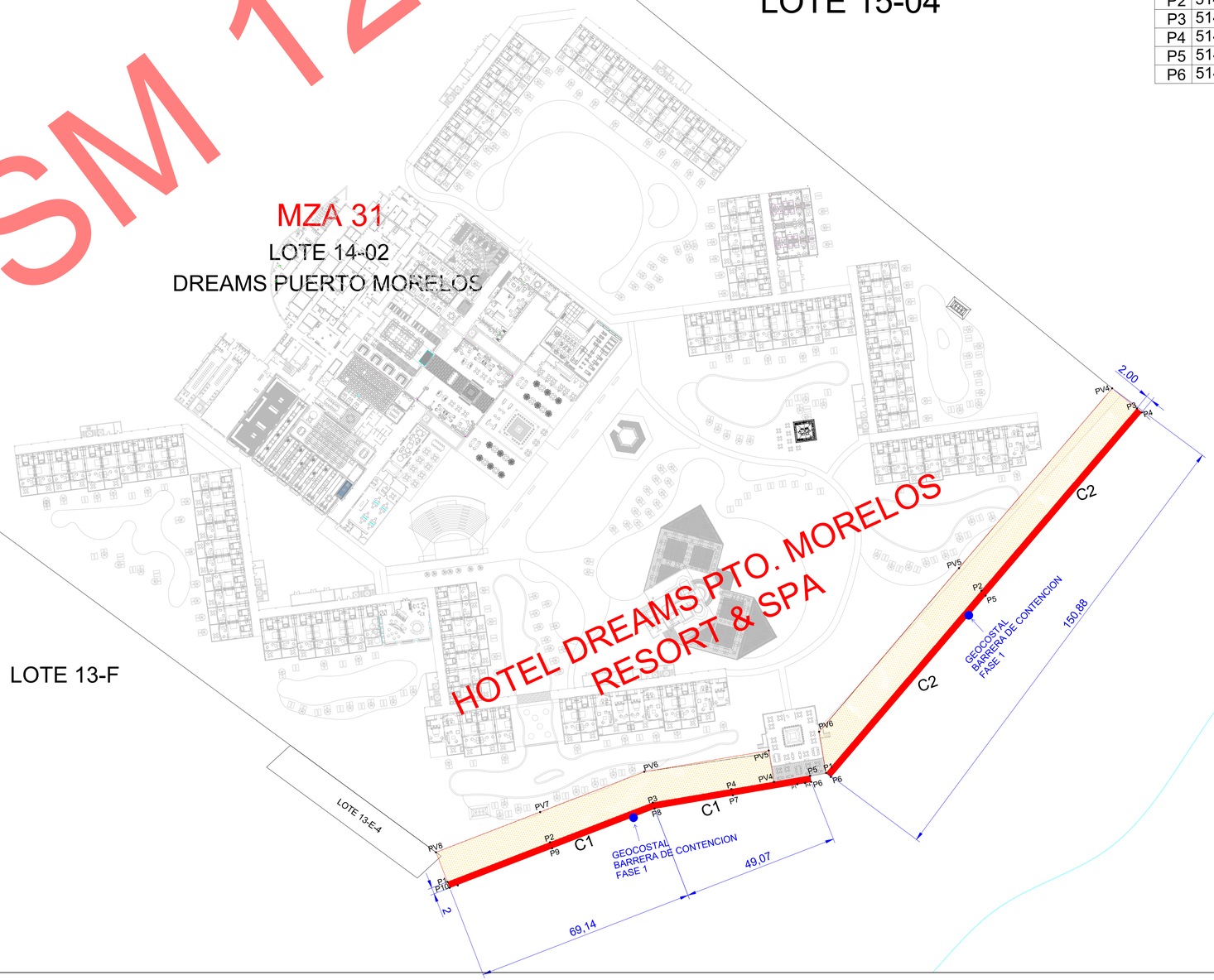
MZA 34
LOTE 15-04

MZA 31
LOTE 14-02
DREAMS PUERTO MORELOS

LOTE 13-F

LOTE 13-E-4

HOTEL DREAMS PTO. MORELOS
RESORT & SPA



CUADRO DE COORDENADAS CONTENCION C1		
	X	Y
P1	514709.4849	2310373.0232
P2	514741.8202	2310385.5280
P3	514774.1554	2310398.0329
P4	514798.9301	2310402.2671
P5	514823.7048	2310406.5012
P6	514824.0369	2310404.5290
P7	514799.3634	2310400.3121
P8	514774.5928	2310396.1127
P9	514742.4481	2310383.6265
P10	514710.3985	2310371.0565

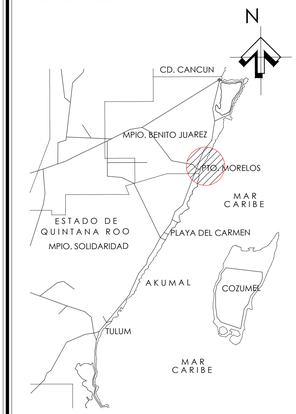
CUADRO DE COORDENADAS CONTENCION C2		
	X	Y
P1	514828.7269	2310407.3646
P2	514877.6502	2310464.8052
P3	514926.5735	2310522.2459
P4	514928.0959	2310463.5083
P5	514879.1727	2310463.5083
P6	514830.2494	2310406.0676

GOBIERNO DEL ESTADO DE QUINTANA ROO

Gobierno del Estado
de Quintana Roo



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SEMARNAT
SUBSECRETARIA DE REGULACIÓN AMBIENTAL
DIR. GRAL. DE IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL

NOTAS TÉCNICAS

EL SISTEMA DE COORDENADAS ES UTM ZONA 16, REFERIDO AL DATUM WGS 84.

Nombre del proyecto:

"PROYECTO INTEGRAL DE RESTAURACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL LITORAL COSTERO DEL HOTEL DREAMS PUERTO MORELOS RESORT & SPA"

N

Nombre del plano:

ETAPA 1 BARRERAS DE CONTEÇIÓN

Estado: Quintana Roo
Municipio: Puerto Morelos

Hoja: Única
Escala: 1:750
Fecha:Agosto 2026

ESCALA GRÁFICA

ESCALA 1:750

0 20 40 60 80 100

METROS

Clave del plano:

GEO 01

No. de plano:

2

SM 12

MZA 31

LOTE 14-02

DREAMS PUERTO MORELOS

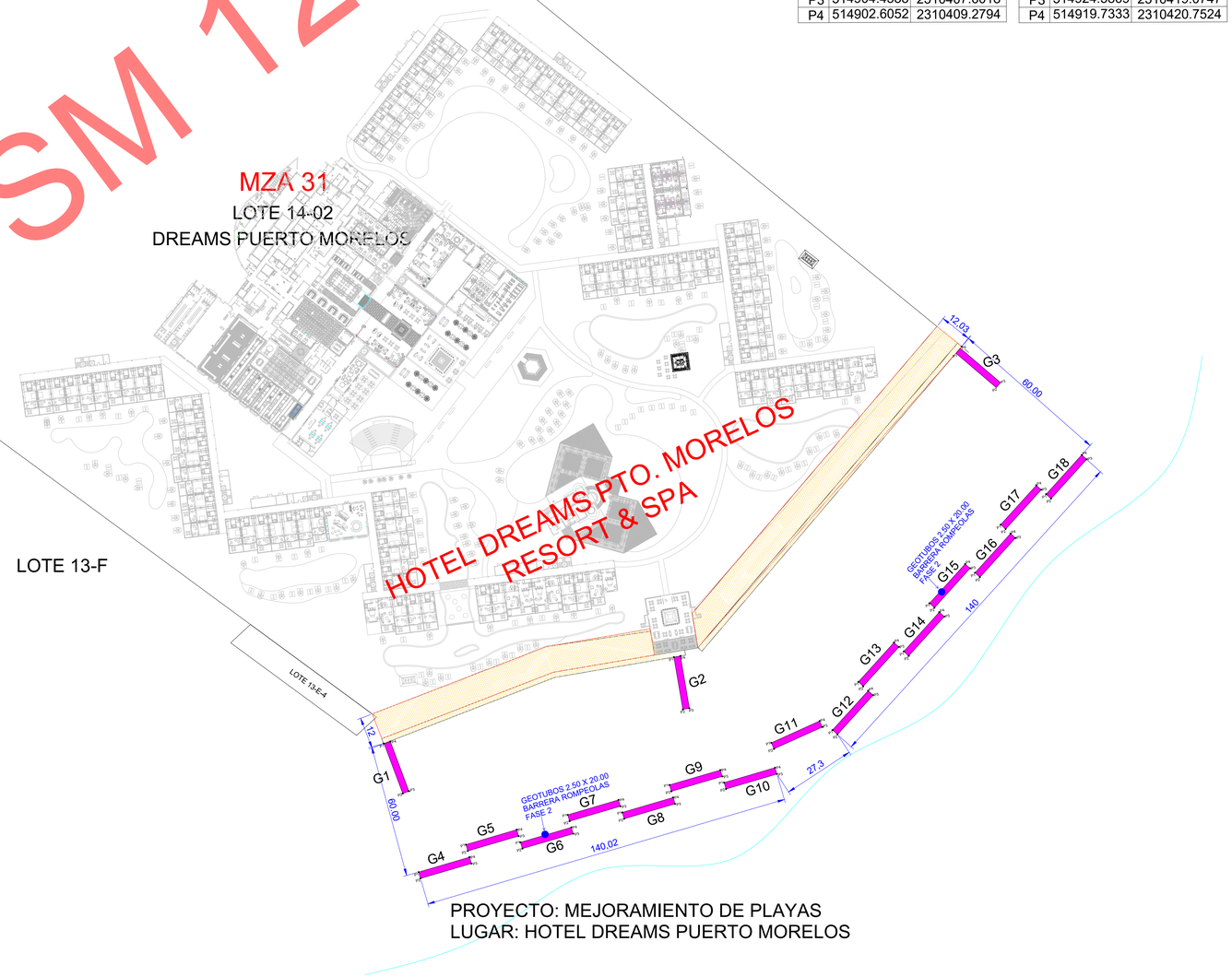
LOTE 13-F

MZA 34

LOTE 15-04

LOTE 13-E-4

HOTEL DREAMS PTO. MORELOS RESORT & SPA



PROYECTO: MEJORAMIENTO DE PLAYAS
LUGAR: HOTEL DREAMS PUERTO MORELOS

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G1		
	X	Y
P1	514710.3985	2310371.0565
P2	514717.4100	2310352.3258
P3	514719.7514	2310353.2023
P4	514712.7398	2310371.9329

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G2		
	X	Y
P1	514819.6468	2310403.7787
P2	514823.0160	2310384.0645
P3	514825.4803	2310384.4857
P4	514822.1110	2310404.1998

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G3		
	X	Y
P1	514925.9805	2310518.4237
P2	514941.2086	2310505.4582
P3	514942.8293	2310507.3617
P4	514927.6012	2310520.3272

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G4		
	X	Y
P1	514723.4060	2310322.6657
P2	514724.1093	2310320.2667
P3	514743.3016	2310325.8932
P4	514742.5983	2310328.2922

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G5		
	X	Y
P1	514741.2089	2310333.9206
P2	514741.9122	2310330.6281
P3	514761.1045	2310336.2546
P4	514760.4011	2310338.6536

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G6		
	X	Y
P1	514761.7971	2310333.9206
P2	514762.5004	2310331.5216
P3	514781.6926	2310337.1481
P4	514780.9893	2310339.5471

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G7		
	X	Y
P1	514779.6000	2310344.2821
P2	514780.3033	2310341.8830
P3	514799.4955	2310347.5095
P4	514798.7922	2310349.9086

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G8		
	X	Y
P1	514800.1881	2310345.1756
P2	514800.8915	2310342.7765
P3	514820.0837	2310348.4030
P4	514819.3804	2310350.8021

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G9		
	X	Y
P1	514817.9910	2310355.5370
P2	514818.6943	2310353.1380
P3	514837.8866	2310358.7645
P4	514837.1833	2310361.1635

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G10		
	X	Y
P1	514838.5792	2310356.4305
P2	514839.2825	2310354.0315
P3	514858.4748	2310359.6580
P4	514857.7715	2310362.0570

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G11		
	X	Y
P1	514856.3660	2310371.4496
P2	514857.3964	2310369.1718
P3	514875.6188	2310377.4146
P4	514874.5884	2310379.6924

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G12		
	X	Y
P1	514879.4703	2310376.2677
P2	514881.3238	2310374.5901
P3	514894.7448	2310389.4183
P4	514892.8913	2310391.0959

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G13		
	X	Y
P1	514889.1842	2310394.4512
P2	514891.1658	2310392.7735
P3	514904.4588	2310407.6018
P4	514902.6052	2310409.2794

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G14		
	X	Y
P1	514906.3132	2310405.9241
P2	514908.1658	2310404.2465
P3	514924.5869	2310419.0747
P4	514919.7333	2310420.7524

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G15		
	X	Y
P1	514916.0263	2310424.1076
P2	514917.8789	2310422.4300
P3	514931.3008	2310437.2582
P4	514929.4473	2310438.9358

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G16		
	X	Y
P1	514933.1543	2310435.5806
P2	514935.0079	2310433.9020
P3	514948.4289	2310448.7312
P4	514946.5754	2310450.4088

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G17		
	X	Y
P1	514942.8683	2310453.7641
P2	514944.7218	2310452.0864
P3	514958.1429	2310466.9146
P4	514956.2893	2310468.5923

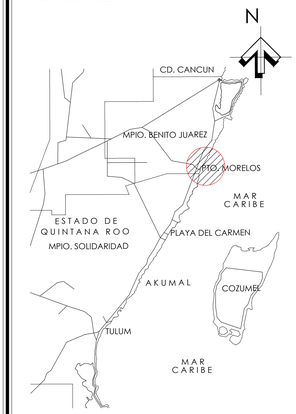
CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G18		
	X	Y
P1	514959.9964	2310465.2370
P2	514961.8499	2310463.5594
P3	514975.2709	2310478.3876
P4	514973.4174	2310480.0652

GOBIERNO DEL ESTADO DE QUINTANA ROO

Gobierno del Estado
de Quintana Roo



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SEMARNAT
SUBSECRETARIA DE REGULACIÓN AMBIENTAL
DIR. GRAL. DE IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL

NOTAS TÉCNICAS

EL SISTEMA DE COORDENADAS ES UTM ZONA 16, REFERIDO AL DATUM WGS 84.

Nombre del proyecto:

"PROYECTO INTEGRAL DE RESTAURACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL LITORAL COSTERO DEL HOTEL DREAMS PUERTO MORELOS RESORT & SPA"

N

Nombre del plano:
ETAPA 2 BARRERA ROMPE OLAS

Estado: Quintana Roo
Municipio: Puerto Morelos

Hoja: Única
Escala: 1:1000
Fecha:Agosto 2026

ESCALA GRÁFICA

ESCALA 1:1000

0 20 40 60 80 100

METROS

Clave del plano:
GEO 02

No. de plano:
3

SM 12

MZA 34

LOTE 15-04

MZA 31

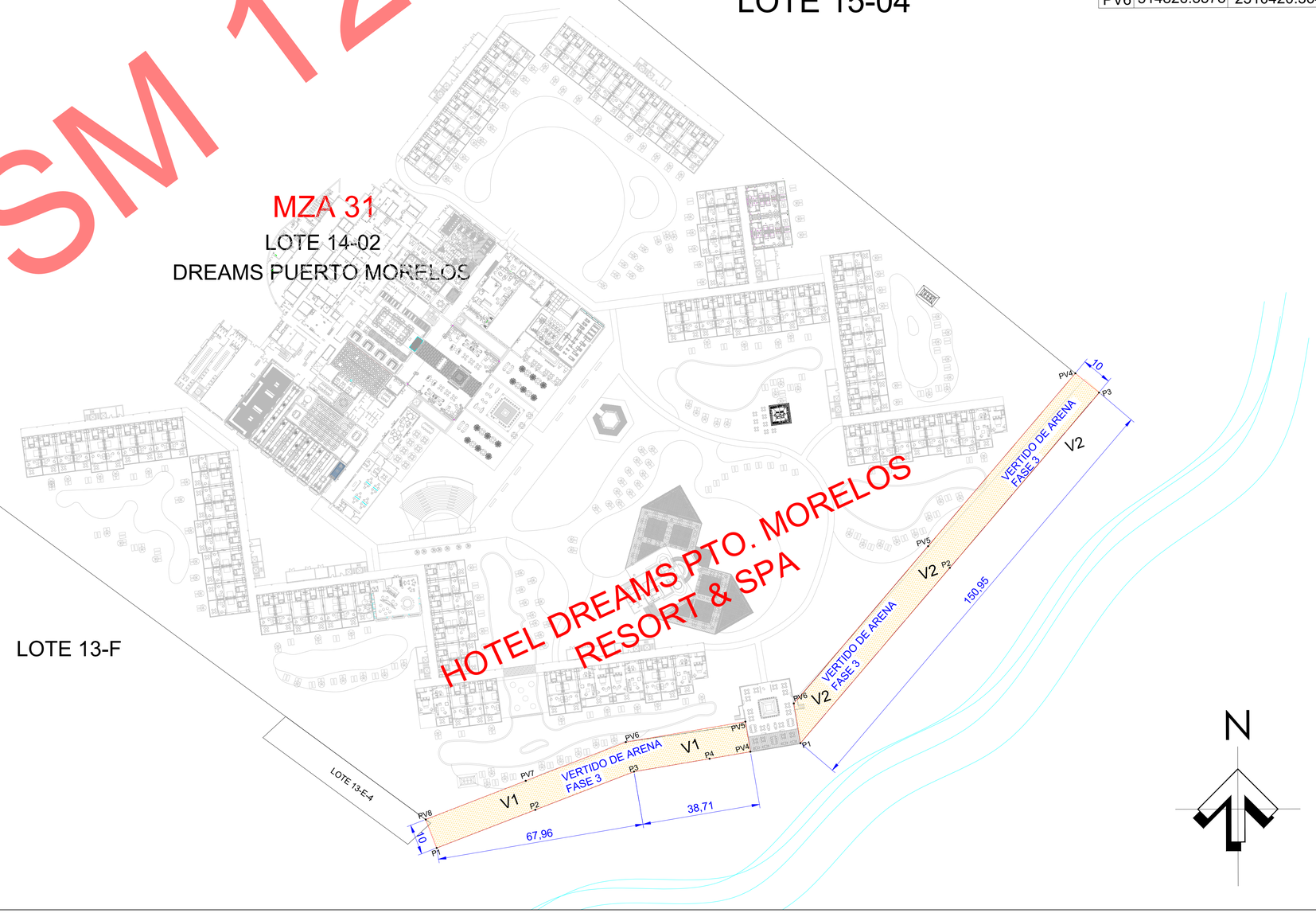
LOTE 14-02

DREAMS PUERTO MORELOS

LOTE 13-F

LOTE 13-E-A

HOTEL DREAMS PTO. MORELOS RESORT & SPA



CUADRO DE COORDENADAS VERTIDO V1		
	X	Y
P1	514709.4849	2310373.0232
P2	514741.8202	2310385.5280
P3	514774.1554	2310398.0329
PV4	514812.3157	2310404.5547
PV5	514810.6551	2310414.4159
PV6	514771.4830	2310407.7212
PV7	514738.6805	2310395.0356
PV8	514705.8780	2310382.3500

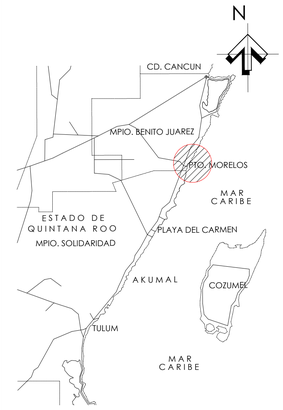
CUADRO DE COORDENADAS VERTIDO V2		
	X	Y
P1	514828.7269	2310407.3646
P2	514877.6502	2310464.8052
P3	514926.5735	2310522.2459
PV4	514918.8180	2310528.5390
PV5	514872.6779	2310474.4516
PV6	514826.5378	2310420.3641

GOBIERNO DEL ESTADO DE QUINTANA ROO

Gobierno del Estado de Quintana Roo



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SEMARNAT

SUBSECRETARIA DE REGULACIÓN AMBIENTAL

DIR. GRAL. DE IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL

NOTAS TÉCNICAS

EL SISTEMA DE COORDENADAS ES UTM ZONA 16, REFERIDO AL DATUM WGS 84.

Nombre del proyecto:

"PROYECTO INTEGRAL DE RESTAURACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL LITORAL COSTERO DEL HOTEL DREAMS PUERTO MORELOS RESORT & SPA"

Nombre del plano:

ETAPA 3 VERTIDO DE ARENAS

Estado: Quintana Roo

Municipio: Puerto Morelos

Hoja: Única

Escala: 1:750

Fecha:Agosto 2026

ESCALA GRÁFICA

ESCALA 1:750

0 20 40 60 80 100

METROS

Clave del plano: GEO 03

No. de plano: 4

CUADRO DE COORDENADAS DUNA 1		
Vértice	X	Y
1	514,713.79	2,310,375.64
2	514,712.21	2,310,378.19
3	514,737.71	2,310,393.99
4	514,739.29	2,310,391.44
1	514,713.79	2,310,375.64
SUPERFICIE = 90.00 m2		

CUADRO DE COORDENADAS DUNA 2		
Vértice	X	Y
1	514,744.82	2,310,393.48
2	514,743.74	2,310,396.28
3	514,771.72	2,310,407.10
4	514,772.80	2,310,404.30
1	514,744.82	2,310,393.48
SUPERFICIE = 90.00 m2		

CUADRO DE COORDENADAS DUNA 3		
Vértice	X	Y
1	514,776.65	2,310,405.56
2	514,776.15	2,310,406.52
3	514,805.72	2,310,413.57
4	514,806.22	2,310,410.62
1	514,776.65	2,310,405.56
SUPERFICIE = 90.00 m2		

CUADRO DE COORDENADAS DUNA 4		
Vértice	X	Y
1	514,843.98	2,310,436.09
2	514,841.69	2,310,438.04
3	514,861.15	2,310,460.88
4	514,863.43	2,310,458.93
1	514,843.98	2,310,436.09
SUPERFICIE = 90.00 m2		

CUADRO DE COORDENADAS DUNA 5		
Vértice	X	Y
1	514,873.70	2,310,469.23
2	514,871.42	2,310,471.18
3	514,890.87	2,310,494.01
4	514,893.15	2,310,492.07
1	514,873.70	2,310,469.23
SUPERFICIE = 90.00 m2		

CUADRO DE COORDENADAS DUNA 6		
Vértice	X	Y
1	514,901.65	2,310,503.76
2	514,899.36	2,310,505.70
3	514,918.82	2,310,528.54
4	514,921.10	2,310,526.59
1	514,901.65	2,310,503.76
SUPERFICIE = 90.00 m2		

CUADRO DE COORDENADAS PASO DE DUNA 1		
Vértice	X	Y
1	514,726.66	2,310,388.32
2	514,728.36	2,310,389.37
3	514,731.00	2,310,385.12
4	514,729.30	2,310,384.07
1	514,726.66	2,310,388.32
SUPERFICIE = 10.00 m2		

CUADRO DE COORDENADAS PASO DE DUNA 2		
Vértice	X	Y
1	514,756.04	2,310,401.75
2	514,757.91	2,310,402.47
3	514,759.71	2,310,397.81
4	514,757.85	2,310,397.09
1	514,756.04	2,310,401.75
SUPERFICIE = 10.00 m2		

CUADRO DE COORDENADAS PASO DE DUNA 3		
Vértice	X	Y
1	514,800.42	2,310,413.74
2	514,802.39	2,310,414.08
3	514,803.23	2,310,409.15
4	514,801.26	2,310,408.81
1	514,800.42	2,310,413.74
SUPERFICIE = 10.00 m2		

CUADRO DE COORDENADAS PASO DE DUNA 4		
Vértice	X	Y
1	514,850.01	2,310,449.34
2	514,851.31	2,310,450.87
3	514,855.11	2,310,447.62
4	514,853.82	2,310,446.10
1	514,850.01	2,310,449.34
SUPERFICIE = 10.00 m2		

CUADRO DE COORDENADAS PASO DE DUNA 5		
Vértice	X	Y
1	514,882.20	2,310,485.46
2	514,883.50	2,310,486.98
3	514,887.30	2,310,483.74
4	514,886.01	2,310,482.22
1	514,882.20	2,310,485.46
SUPERFICIE = 10.00 m2		

CUADRO DE COORDENADAS PASO DE DUNA 6		
Vértice	X	Y
1	514,905.09	2,310,513.96
2	514,906.38	2,310,515.49
3	514,910.19	2,310,512.24
4	514,908.89	2,310,510.72
1	514,905.09	2,310,513.96
SUPERFICIE = 10.00 m2		

SM 12

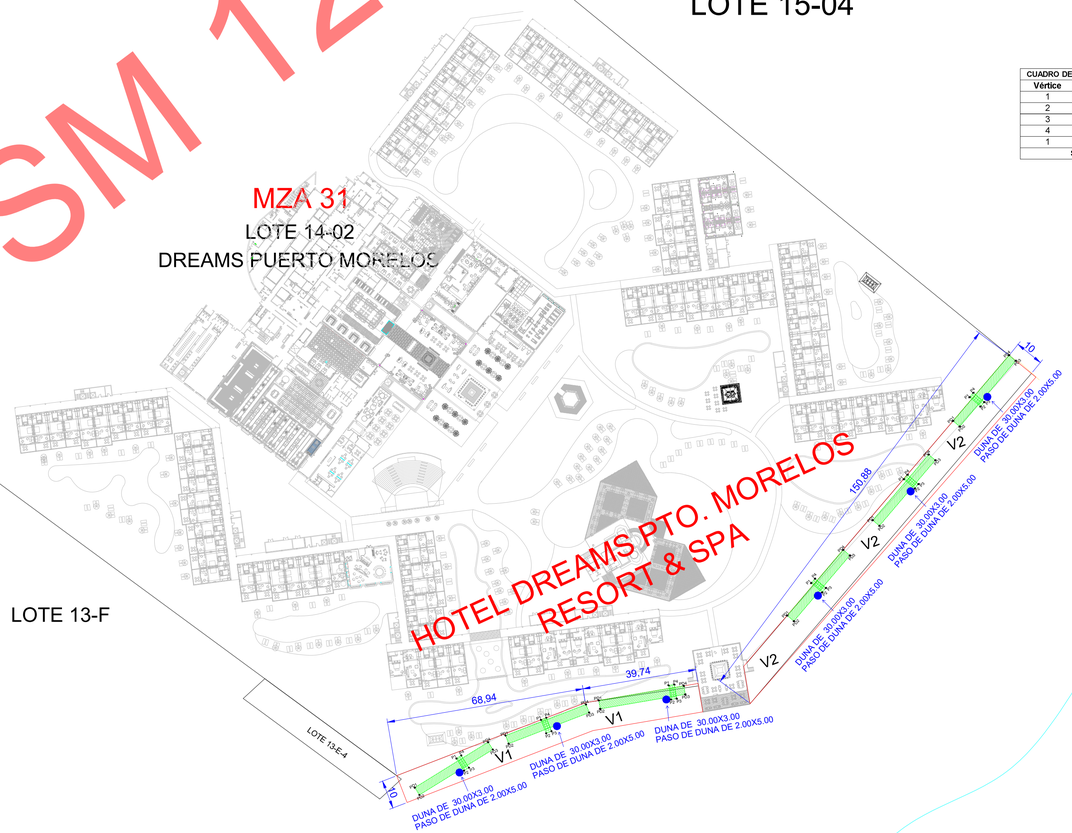
MZA 34
LOTE 15-04

MZA 31
LOTE 14-02
DREAMS PUERTO MORELOS

LOTE 13-F

LOTE 13-E-4

HOTEL DREAMS PTO. MORELOS
RESORT & SPA

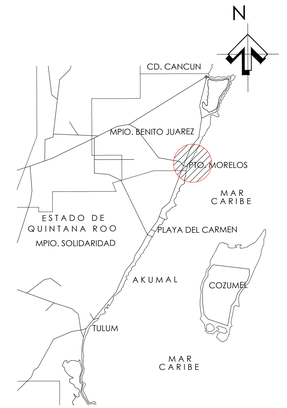


GOBIERNO DEL ESTADO DE QUINTANA ROO

Gobierno del Estado
de Quintana Roo



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SEMARNAT
SUBSECRETARIA DE REGULACIÓN AMBIENTAL
DIR. GRAL. DE IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL

NOTAS TÉCNICAS

EL SISTEMA DE COORDENADAS ES UTM ZONA 16, REFERIDO AL DATUM WGS 84.

SIMBOLOGÍA

DUNA DE 30.00 MTS X 3.00 MTS

PASO DE DUNA DE 2.00 MTS X 5.00 MTS

Nombre del proyecto:
"PROYECTO INTEGRAL DE RESTAURACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL LITORAL COSTERO DEL HOTEL DREAMS PUERTO MORELOS RESORT & SPA"

N

Nombre del plano:
UBICACIÓN DE DUNAS

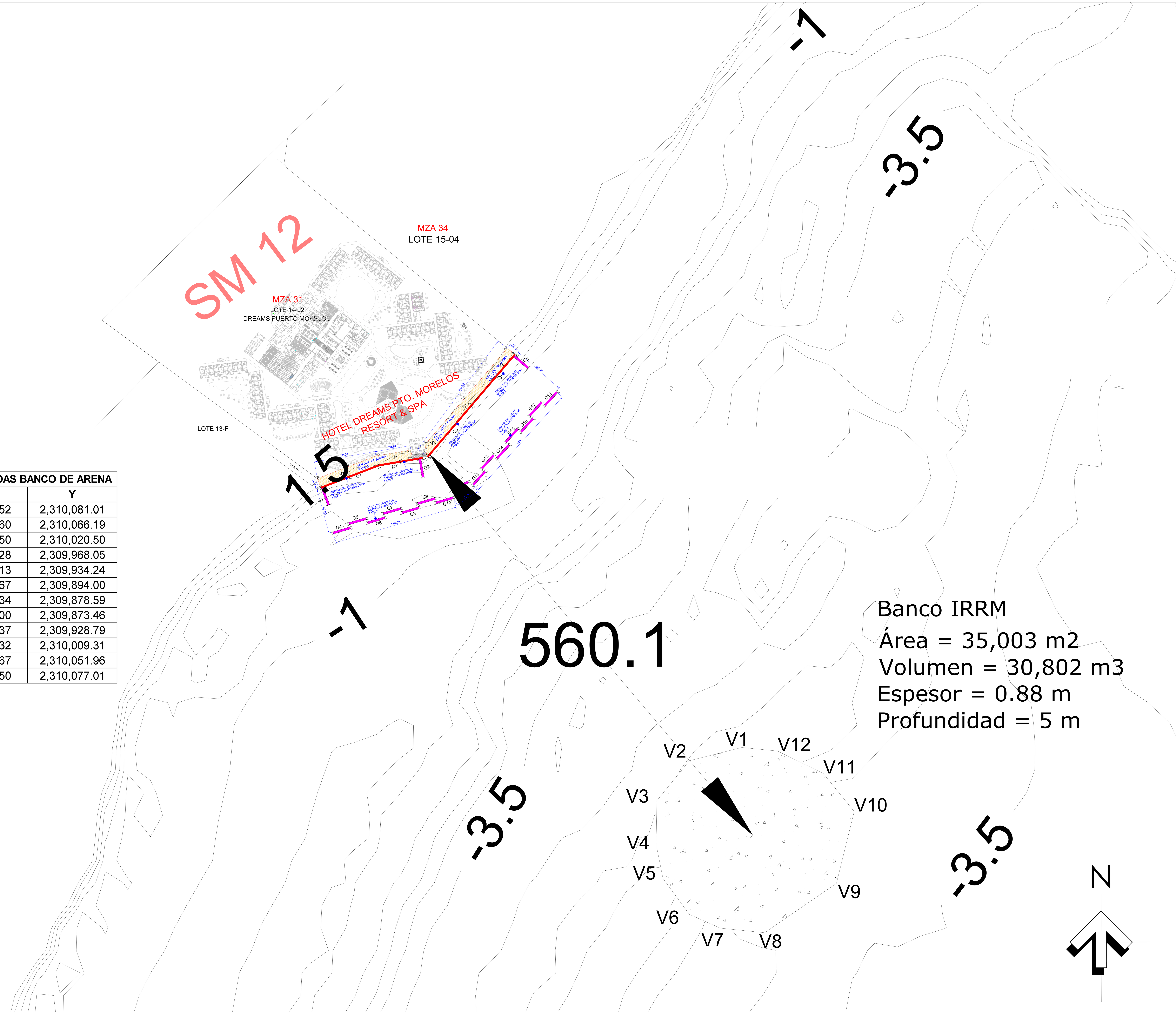
Estado: Quintana Roo
Municipio: Puerto Morelos

Hoja: Única
Escala: 1:1000
Fecha:Agosto 2026

ESCALA GRÁFICA
ESCALA 1:1000
0 20 40 60 80 100
METROS

Clave del plano:
DUNA 01

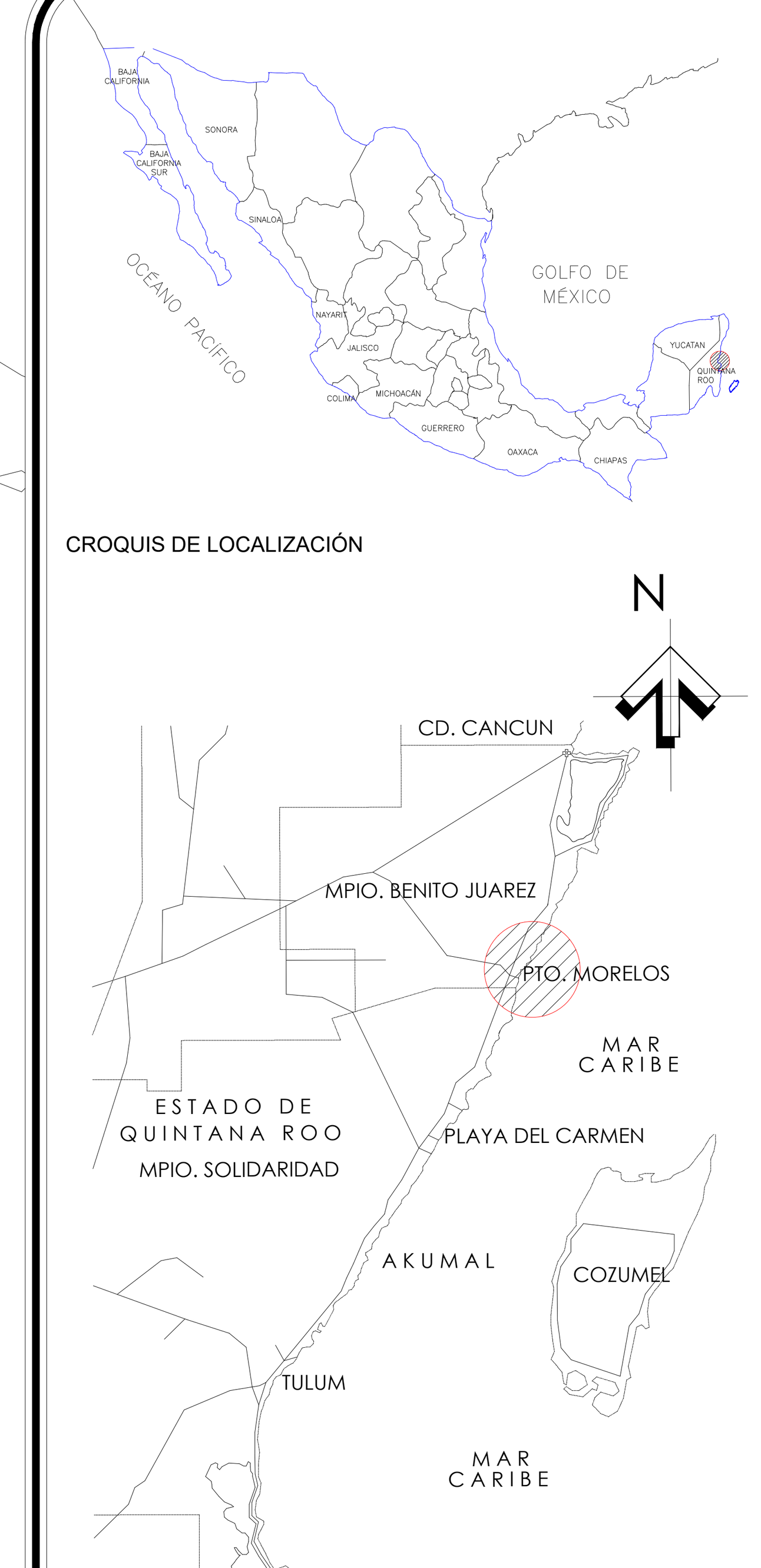
No. de plano:
6



CUADRO DE COORDENADAS BANCO DE ARENA		
Vértice	**X**	**Y**
V1	515,181.52	2,310,081.01
V2	515,122.60	2,310,066.19
V3	515,085.50	2,310,020.50
V4	515,086.28	2,309,968.05
V5	515,093.13	2,309,934.24
V6	515,122.67	2,309,894.00
V7	515,157.34	2,309,878.59
V8	515,207.00	2,309,873.46
V9	515,287.37	2,309,928.79
V10	515,307.32	2,310,009.31
V11	515,272.67	2,310,051.96
V12	515,221.50	2,310,077.01

GOBIERNO DEL ESTADO DE QUINTANA ROO

Gobierno del Estado de Quintana Roo



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

SEMARNAT
SUBSECRETARIA DE REGULACIÓN AMBIENTAL
DIR. GRAL. DE IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL

NOTAS TÉCNICAS
EL SISTEMA DE COORDENADAS ES UTM ZONA 16, REFERIDO AL DATUM WGS 84.

SIMBOLOGÍA

- Banco IRRM (30,802 m3)
- Dreams Puerto Morelos
- Isobata (Línea de igual profundidad)

Nombre del proyecto:
"PROYECTO INTEGRAL DE RESTAURACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL LITORAL COSTERO DEL HOTEL DREAMS PUERTO MORELOS RESORT & SPA"

Nombre del plano:
LOCALIZACIÓN BANCO DE ARENA

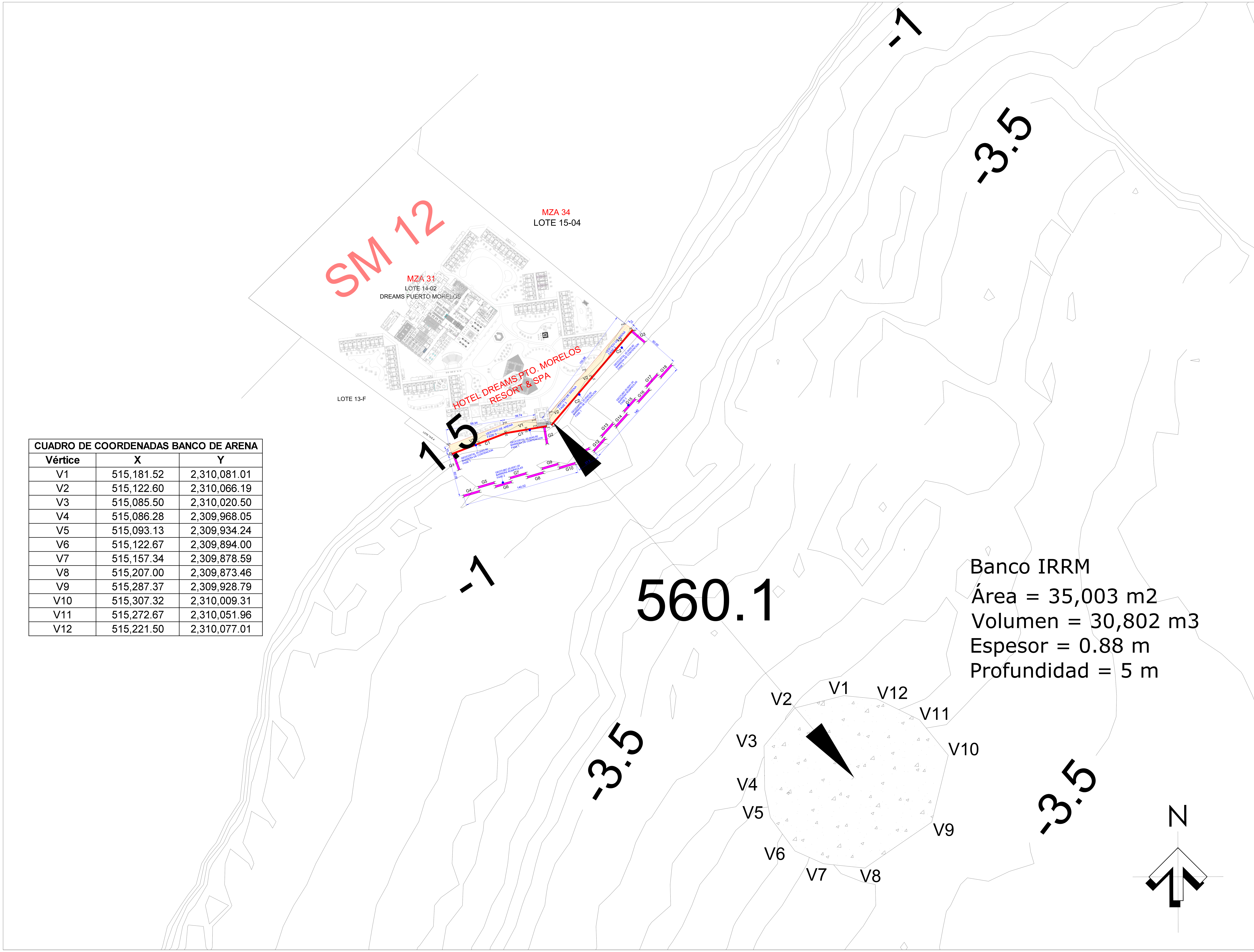
Estado: Quintana Roo
Municipio: Puerto Morelos

Hoja: Única
Escala: 1:2000
Fecha:Agosto 2026

ESCALA GRÁFICA
ESCALA 1:2000
0 20 40 60 80 100
METROS

Clave del plano: BA 01

No. de plano: 5



CUADRO DE COORDENADAS BANCO DE ARENA		
Vértice	**X**	**Y**
V1	515,181.52	2,310,081.01
V2	515,122.60	2,310,066.19
V3	515,085.50	2,310,020.50
V4	515,086.28	2,309,968.05
V5	515,093.13	2,309,934.24
V6	515,122.67	2,309,894.00
V7	515,157.34	2,309,878.59
V8	515,207.00	2,309,873.46
V9	515,287.37	2,309,928.79
V10	515,307.32	2,310,009.31
V11	515,272.67	2,310,051.96
V12	515,221.50	2,310,077.01

GOBIERNO DEL ESTADO DE QUINTANA ROO

Gobierno del Estado
de Quintana Roo

CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

SEMARNAT
SUBSECRETARIA DE REGULACIÓN AMBIENTAL
DIR. GRAL. DE IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL

NOTAS TÉCNICAS
EL SISTEMA DE COORDENADAS ES UTM ZONA 16, REFERIDO AL DATUM WGS 84.

SIMBOLOGÍA

Banco IRRM (30,802 m3)

Dreams Puerto Morelos

Isobata (Línea de igual profundidad)

Nombre del proyecto:
"PROYECTO INTEGRAL DE RESTAURACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL LITORAL COSTERO DEL HOTEL DREAMS PUERTO MORELOS RESORT & SPA"

Nombre del plano:
LOCALIZACIÓN BANCO DE ARENA

Estado: Quintana Roo
Municipio: Puerto Morelos

Hoja: Única
Escala: 1:2000
Fecha:Agosto 2026

ESCALA GRÁFICA
ESCALA 1:2000
0 20 40 60 80 100
METROS

Clave del plano: BA 01

No. de plano: 5

SM 12

MZA 34
LOTE 15-04

MZA 31
LOTE 14-02
DREAMS PUERTO MORELOS



LOTE 13-F

LOTE 13-E-4

CUADRO DE COORDENADAS BODEGA		
Vértice	X	Y
1	514,921.04	2,310,526.52
2	514,926.37	2,310,521.98
3	514,919.88	2,310,514.37
4	514,914.55	2,310,518.91
1	514,921.04	2,310,526.52
SUPERFICIE = 70.00 m2		

CUADRO DE COORDENADAS RESIDUOS 1		
Vértice	X	Y
1	514,719.60	2,310,390.45
2	514,721.30	2,310,391.11
3	514,721.52	2,310,390.55
4	514,719.82	2,310,389.89
1	514,719.60	2,310,390.45
SUPERFICIE = 01.11 m2		

CUADRO DE COORDENADAS RESIDUOS 2		
Vértice	X	Y
1	514,895.39	2,310,505.06
2	514,896.58	2,310,506.46
3	514,897.04	2,310,506.06
4	514,895.85	2,310,504.67
1	514,895.39	2,310,505.06
SUPERFICIE = 01.11 m2		

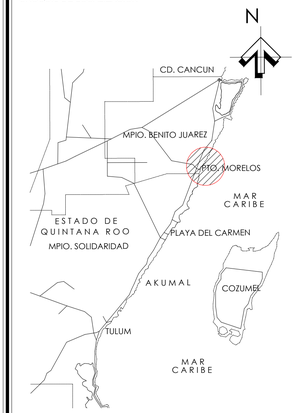
N

GOBIERNO DEL ESTADO DE QUINTANA ROO

Gobierno del Estado
de Quintana Roo



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SEMARNAT
SUBSECRETARIA DE REGULACIÓN AMBIENTAL
DIR. GRAL. DE IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL

NOTAS TÉCNICAS

EL SISTEMA DE COORDENADAS ES UTM ZONA 16, REFERIDO AL DATUM WGS 84.

SIMBOLOGÍA

BODEGA PINTRO DE 10.00 X 7.00 MTS

3 CONTENEDORES DE RESIDUOS DE 0.61 X 0.61 MTS CADA UNO

Nombre del proyecto:

"PROYECTO INTEGRAL DE RESTAURACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL LITORAL COSTERO DEL HOTEL DREAMS PUERTO MORELOS RESORT & SPA"

N

Nombre del plano:
OBRAS PROVISIONALES

Estado: Quintana Roo
Municipio: Puerto Morelos

Hoja: Única
Escala: 1:750
Fecha:Agosto 2026

ESCALA GRÁFICA

ESCALA 1:750

0 20 40 60 80 100
METROS

Clave del plano:
OP 01

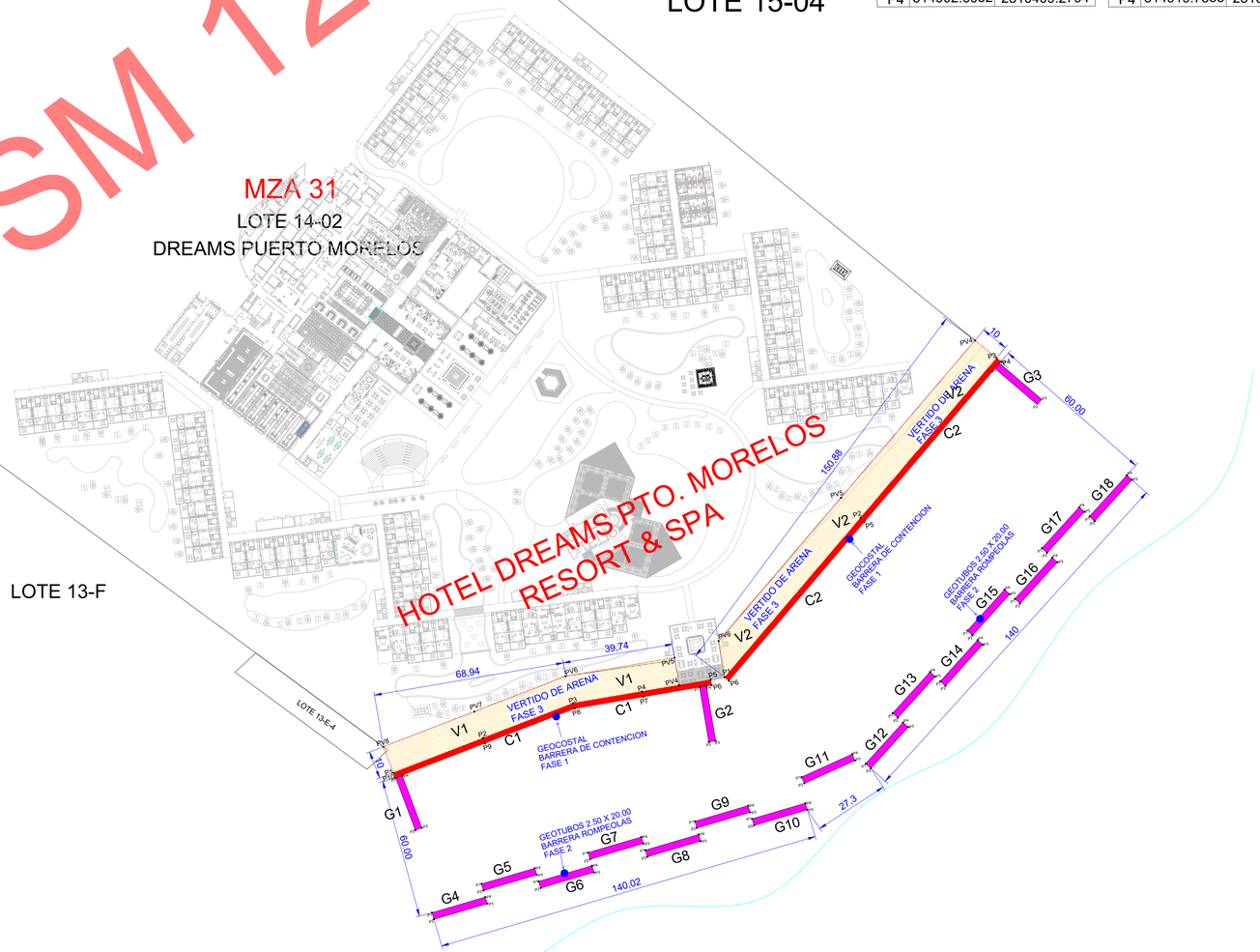
No. de plano:
7

SM 12

MZA 34
LOTE 15-04

MZA 31
LOTE 14-02
DREAMS PUERTO MORELOS

LOTE 13-F



CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G1		
	X	Y
P1	514710.3985	2310371.0565
P2	514717.4100	2310352.3258
P3	514719.7514	2310353.2023
P4	514712.7398	2310371.9329

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G2		
	X	Y
P1	514819.6468	2310403.7787
P2	514823.0160	2310384.0645
P3	514825.4803	2310384.4857
P4	514822.1110	2310404.1998

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G3		
	X	Y
P1	514925.9805	2310518.4237
P2	514941.2086	2310505.4582
P3	514942.8293	2310507.3617
P4	514927.6012	2310520.3272

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G4		
	X	Y
P1	514723.4060	2310322.6657
P2	514724.1093	2310320.2667
P3	514743.3016	2310325.8932
P4	514742.5983	2310328.2922

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G5		
	X	Y
P1	514741.2089	2310333.9206
P2	514741.9122	2310330.6281
P3	514761.1045	2310336.2546
P4	514760.4011	2310338.6536

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G6		
	X	Y
P1	514761.7971	2310333.9206
P2	514762.5004	2310331.5216
P3	514781.6926	2310337.1481
P4	514780.9893	2310339.5471

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G7		
	X	Y
P1	514779.6000	2310344.2821
P2	514780.3033	2310341.8830
P3	514799.4955	2310347.5095
P4	514798.7922	2310349.9086

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G8		
	X	Y
P1	514800.1881	2310345.1756
P2	514800.8915	2310342.7765
P3	514820.0837	2310348.4030
P4	514819.3804	2310350.8021

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G9		
	X	Y
P1	514817.9910	2310355.5370
P2	514818.6943	2310353.1380
P3	514837.8866	2310358.7645
P4	514837.1833	2310361.1635

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G10		
	X	Y
P1	514838.5792	2310356.4305
P2	514839.2825	2310354.0315
P3	514858.4748	2310359.6580
P4	514857.7715	2310362.0570

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G11		
	X	Y
P1	514856.3660	2310371.4496
P2	514857.3964	2310369.1718
P3	514875.6188	2310377.4146
P4	514874.5884	2310379.6924

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G12		
	X	Y
P1	514879.4703	2310376.2677
P2	514881.3238	2310374.5901
P3	514894.7448	2310389.4183
P4	514892.8913	2310391.0959

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G13		
	X	Y
P1	514889.1842	2310394.4512
P2	514891.1658	2310392.7735
P3	514904.4588	2310407.6018
P4	514902.6052	2310409.2794

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G14		
	X	Y
P1	514906.3132	2310405.9241
P2	514908.1658	2310404.2465
P3	514924.5869	2310419.0747
P4	514919.7333	2310420.7524

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G15		
	X	Y
P1	514916.0263	2310424.1076
P2	514917.8789	2310422.4300
P3	514931.3008	2310437.2582
P4	514929.4473	2310438.9358

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G16		
	X	Y
P1	514933.1543	2310435.5806
P2	514935.0079	2310433.9020
P3	514948.4289	2310448.7312
P4	514946.5754	2310450.4088

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G17		
	X	Y
P1	514942.8683	2310453.7641
P2	514944.7218	2310452.0864
P3	514958.1429	2310466.9146
P4	514956.2893	2310468.5923

CUADRO DE COORDENADAS GEOTUBO G18		
	X	Y
P1	514959.9964	2310465.2370
P2	514961.8499	2310463.5594
P3	514975.2709	2310478.3876
P4	514973.4174	2310480.0652

CUADRO DE COORDENADAS VERTIDO V1		
	X	Y
P1	514709.4849	2310373.0232
P2	514741.8202	2310385.5280
P3	514774.1554	2310398.0329
PV4	514812.3157	2310404.5547
PV5	514810.6551	2310414.4159
PV6	514771.4830	2310407.7212
PV7	514738.6805	2310395.0356
PV8	514705.8780	2310382.3500

CUADRO DE COORDENADAS CONTENCION C1		
	X	Y
P1	514709.4849	2310373.0232
P2	514741.8202	2310385.5280
P3	514774.1554	2310398.0329
P4	514798.9301	2310402.2671
P5	514823.7048	2310406.5012
P6	514824.0369	2310404.5290
P7	514799.3634	2310400.3121
P8	514774.5928	2310396.1127
P9	514742.4481	2310383.6265
P10	514710.3985	2310371.0565

CUADRO DE COORDENADAS VERTIDO V2		
	X	Y
P1	514828.7269	2310407.3646
P2	514877.6502	2310464.8052
P3	514926.5735	2310522.2459
PV4	514918.8180	2310528.5390
PV5	514872.6779	2310474.4516
PV6	514826.5378	2310420.3641

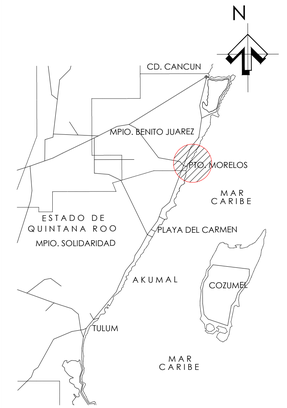
CUADRO DE COORDENADAS CONTENCION C2		
	X	Y
P1	514828.7269	2310407.3646
P2	514877.6502	2310464.8052
P3	514926.5735	2310522.2459
P4	514928.0959	2310463.5083
P5	514879.1727	2310463.5083
P6	514830.2494	2310406.0676

GOBIERNO DEL ESTADO DE QUINTANA ROO

Gobierno del Estado
de Quintana Roo



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



SEMARNAT
SUBSECRETARIA DE REGULACIÓN AMBIENTAL
DIR. GRAL. DE IMPACTO Y RIESGO AMBIENTAL

NOTAS TÉCNICAS

EL SISTEMA DE COORDENADAS ES UTM ZONA 16, REFERIDO AL DATUM WGS 84.

Nombre del proyecto:

"PROYECTO INTEGRAL DE RESTAURACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL LITORAL COSTERO DEL HOTEL DREAMS PUERTO MORELOS RESORT & SPA"

N

Nombre del plano:

GENERAL RECUPERACIÓN DE PLAYA

Estado: Quintana Roo
Municipio: Puerto Morelos

Hoja: Única
Escala: 1:1000
Fecha:Agosto 2026

ESCALA GRÁFICA

ESCALA 1:1000

0 20 40 60 80 100
METROS

Clave del plano: G 01

No. de plano: 1

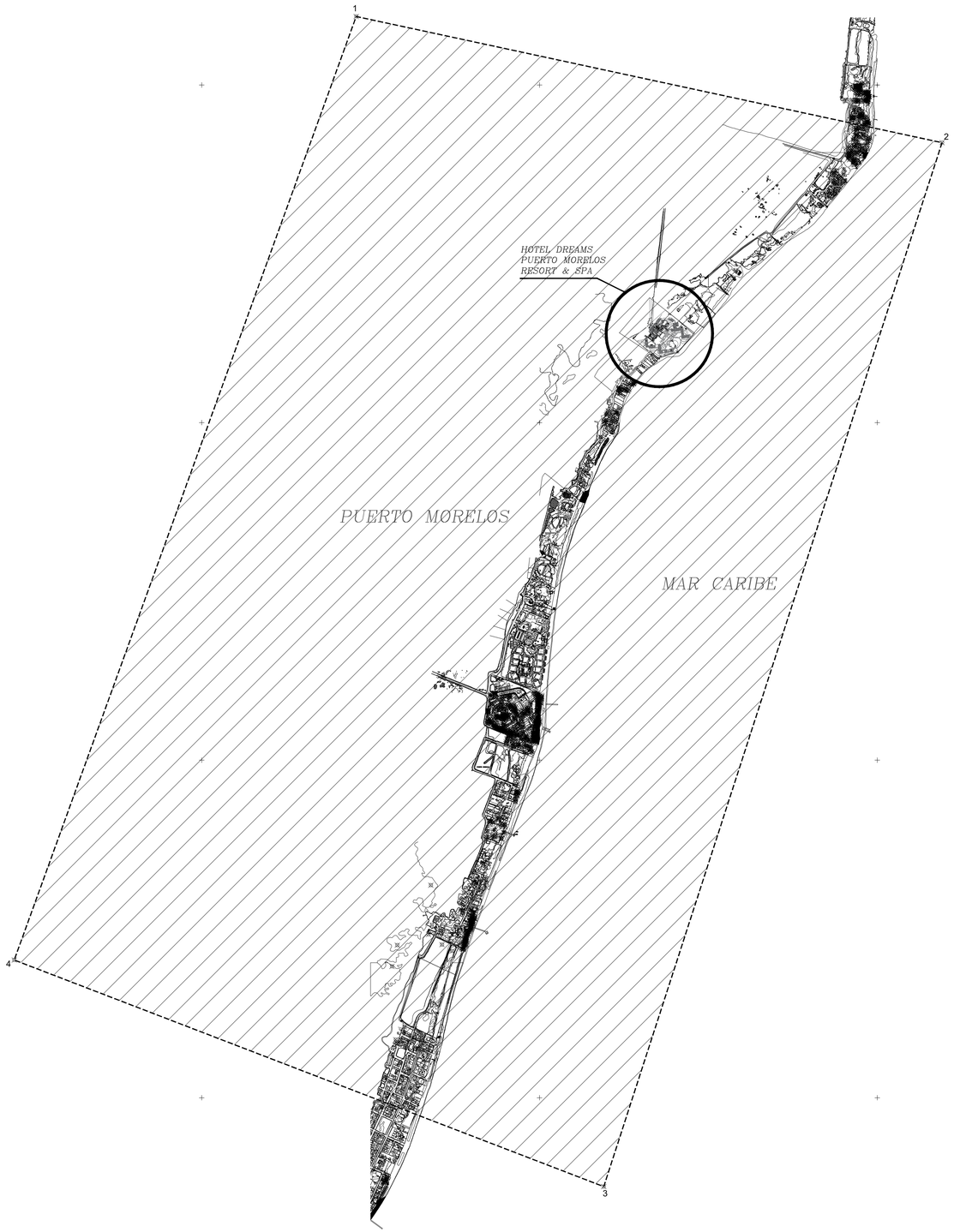
X 510,000 X 512,000 X 514,000 X 516,000 X 518,000 X 520,000

Y 2,312,000

Y 2,310,000

Y 2,308,000

Y 2,306,000



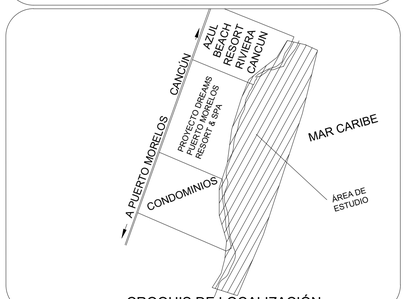
N

COORDENADAS DE LA REGION ECOLOGICA						
LADO		RUMBO	DISTANCIA	V	C O O R D E N A D A S	
EST	PV				Y	X
				1	2,312,405.996	512,914.779
1	2	S 77°50'12.20" E	3,548.12	2	2,311,658.414	516,383.244
2	3	S 17°56'32.36" W	6,501.12	3	2,305,473.467	514,380.514
3	4	N 68°57'44.94" W	3,739.74	4	2,306,815.957	510,890.041
4	1	N 19°54'38.24" E	5,945.43	1	2,312,405.996	512,914.779
SUPERFICIE = 22,369,913.66 m2						

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

SIMBOLOGIA:

REGIÓN ECOLÓGICA

NOTAS:

UBICACIÓN: 33 KM AL SUR DE CANCÚN, UBICADO EN MUNICIPIO DE PUERTO MORELOS QUINTANA ROO.

PROYECCIÓN: MERCATOR TRANSVERSAL.

ELIPSOIDE: WGS-84

SISTEMA DE COORDENADAS: UTM Zona 16 (90W-84W)

PLANO:

REGIÓN ECOLÓGICA

PLANO: REGIÓN ECOLÓGICA

LUGAR: Puerto Morelos, Q. Roo, México

PROYECTO: Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams PuertoMorelos Resort & SPA

NUMERO DE PLANO: 1

FECHA:

ESCALA: 1 : 1,000

ACOTAMIENTO: Metros

TECNOCEANO

DIBUJO: Ing. Hector A. Castillo C.
Topógrafo Rodolfo Cellejas

REVISIÓN: Ing. Raúl López Minutti.

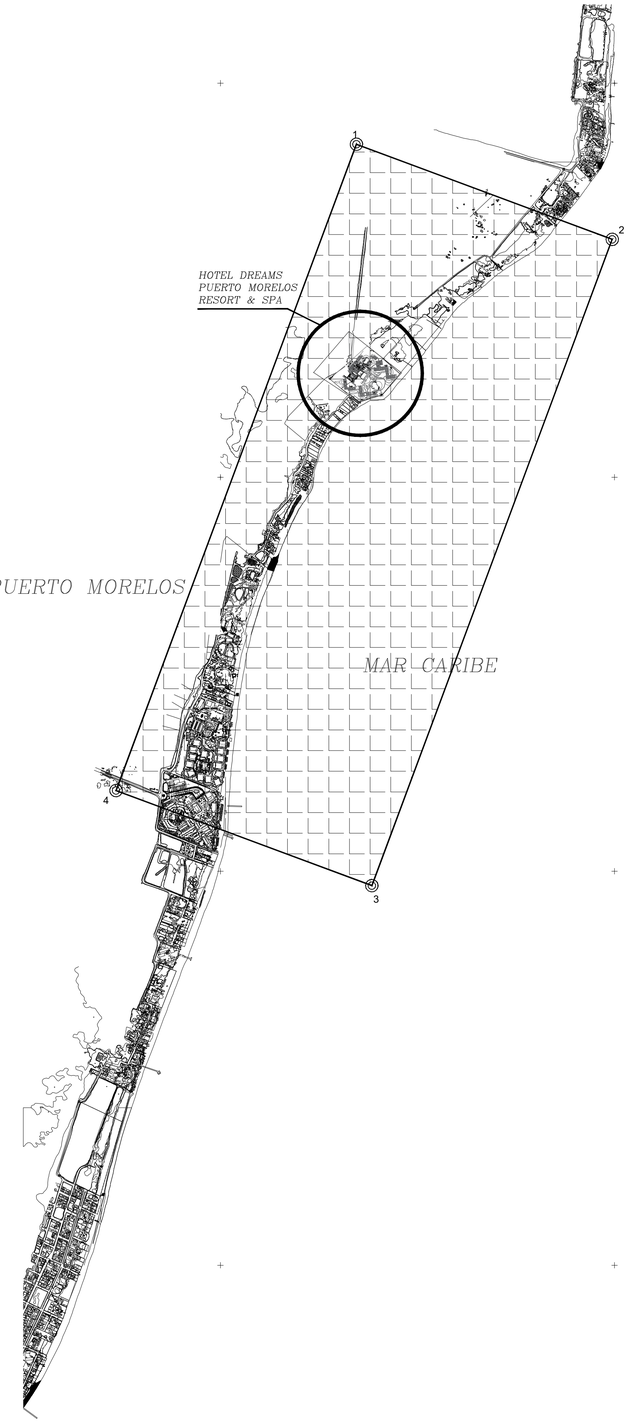
X 510,000 X 512,000 X 514,000 X 516,000 X 518,000 X 520,000

Y 2,312,000

Y 2,310,000

Y 2,308,000

Y 2,306,000



N

COORDENADAS DE ARA DE INFLUENCIA

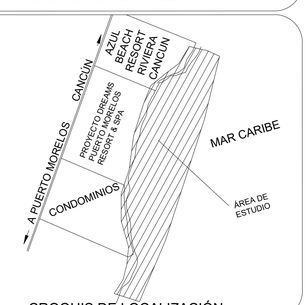
LADO EST	LADO PV	RUMBO	DISTANCIA	V	COORDENADAS Y	COORDENADAS X
				1	2,308,409.794	513,470.24
1	2	N 20°24'00.43" E	3,500.00	2	2,311,690.281	514,690.25
2	3	S 69°35'59.61" E	1,385.00	3	2,311,207.508	515,988.38
3	4	S 20°23'59.88" W	3,500.00	4	2,307,927.021	514,768.38
4	1	N 69°36'00.13" W	1,385.00	1	2,308,409.794	513,470.24

SUPERFICIE = 4,847,500.90 m2

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

SIMBOLOGIA:

ÁREA DE INFLUENCIA

NOTAS:

UBICACIÓN: 33 KM AL SUR DE CANCÚN, UBICADO EN MUNICIPIO DE PUERTO MORELOS QUINTANA ROO.

PROYECCIÓN: MERCATOR TRANSVERSAL.

ELIPSOIDE: WGS-84

SISTEMA DE COORDENADAS: UTM Zona 16 (90W-84W)

PLANO:

ÁREA DE INFLUENCIA

PLANO: ÁREA DE INFLUENCIA

LUGAR: Puerto Morelos, Q. Roo, México

PROYECTO: Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams PuertoMorelos Resort & SPA

NUMERO DE PLANO: 2

FECHA:

ESCALA: 1 : 1,000

ACOTAMIENTO: Metros

TECNOCEANO

DIBUJO: Ing. Hector A. Castillo C
Topógrafo Rodolfo Cellejes

REVISIÓN: Ing. Raúl López Minutti.

Tel. +52 (998) 884 7765 info@tecnoceano.com **tecnoceano.com**



Dreams Puerto Morelos

Riviera Cancún

Análisis de Riesgo por Impacto de Huracanes y Cambio Climático



Cancún, Q. Roo, mayo de 2023

Resumen

Debido a que el complejo turístico **Dreams Puerto Morelos** se encuentra en una región propensa al paso de huracanes, el presente estudio es un esfuerzo para conocer la exposición del sitio para implementar las mejores adecuaciones y prevenir futuros desastres, dando lineamientos de diseño para la infraestructura cercana a la costa. Basados en modelos numéricos y en el análisis de datos históricos de oleaje, viento y marea, se identificaron los sitios vulnerables a inundación, producto de la intrusión de agua marina hacia la costa por marea alta, oleaje atípico y acumulación de agua estancada derivada del relieve y escurrimientos.

Índice

Resumen..... 2
1. Introducción 4
2. Objetivo General 5
2.1. Objetivos específicos 5
3. Antecedentes 6
4. Zona de estudio: Dreams Puerto Morelos..... 9
5. Memoria técnica de modelación..... 10
6. Parámetros de entrada 13
7. Resultados..... 16
7.1. Oleaje y alcance del agua de mar 17
8. Incremento del Nivel del Mar 33
9. Conclusiones y recomendaciones..... 37
10. Bibliografía 39

[redacted]

1. Introducción

Los desarrollos ubicados sobre la zona costera son vulnerables a procesos de degradación e inundación de suelos debido a fenómenos naturales y actividades antropogénicas. En los últimos años se ha observado un incremento en la intensidad de las tormentas estacionales y extraordinarias. Aunque aún hay debates de si esto es real o es sólo un fenómeno cíclico, las tormentas continúan inundando grandes áreas costeras; el oleaje continúa erosionando las playas y los asentamientos se dañan o quedan parcialmente destruidos. Aunado a lo anterior, el nivel del mar está aumentando; por lo que es imprescindible adelantarnos e implementar medidas de mitigación y adaptación considerando estos escenarios.

De acuerdo con la Política Nacional de Mares y Costas de México publicada en el 2011 y propuesta por la Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas (CIMARES. 2011), en el apartado de metas estratégicas e instrumentos de gestión, se propone como línea de acción definir mejor el manejo de zonas aptas para poblaciones e infraestructura para prevenir riesgos ante los efectos causados por fenómenos naturales y antrópicos.

Si bien es cierto que el complejo Dreams Puerto Morelos se localiza en una zona de desarrollo económico y turístico, también es cierto que su ubicación es propensa al paso de tormentas extremas e inundaciones, por lo que es indispensable evaluar la fragilidad del desarrollo para implementar las mejores adecuaciones de infraestructura para enfrentar los procesos naturales con el menor deterioro posible y afectando en menor medida al medio natural que lo rodea.

El presente es un estudio de las zonas de riesgo a inundaciones por sobreelevación del nivel del mar. Para ello, se analizó el historial de eventos de tormenta para generar posibles escenarios de riesgo, simularlos y con los resultados, establecer sitios vulnerables a inundación y proponer recomendaciones.

2. Objetivo General

Por medio de modelos numéricos, realizar un estudio hidrodinámico para determinar cotas de inundación y mitigar desastres por inundaciones debido a condiciones climáticas extremas.

2.1. Objetivos específicos

- Analizar la información disponible de datos climatológicos y oceanográficos causados por huracanes.
- Analizar datos de lluvias extremas.
- Formar escenarios posibles para ser modelados.
- Generar un modelo numérico que simule correctamente los efectos de un evento tormenta CAT 1, CAT 3 y CAT 5.
- Generar un modelo de detalle que represente la hidrografía costera y los eventos extremos en los alrededores del complejo Dreams Puerto Morelos en escenarios con condiciones atípicas.
- Identificar zonas vulnerables a inundación debido a lluvias extremas.
- Evaluar tirantes de agua.
- Determinar el alcance máximo del agua derivado de marea de tormenta, lluvia y máxima altura de ola antes de romper.

3. Antecedentes

Anualmente la temporada de huracanes en México comienza del 1° de junio de cada año y se extiende hasta el 30 de noviembre (UNAM, 2015). La clasificación de los ciclones tropicales se realiza con base en la intensidad de la tormenta, siendo la escala Saffir y Simpson (1971), la más utilizada.

Con el fin de realizar una prospección de la ocurrencia de un evento ciclónico en los alrededores del sitio de estudio, se analizaron todos los eventos sucedidos en un radio no mayor a 100 km del predio Dreams Puerto Morelos (Figura siguiente). La base de datos histórica provino de la NOAA (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica por sus siglas en inglés), indicando un total de 80 eventos durante el periodo de tiempo de 1887 a 2011.

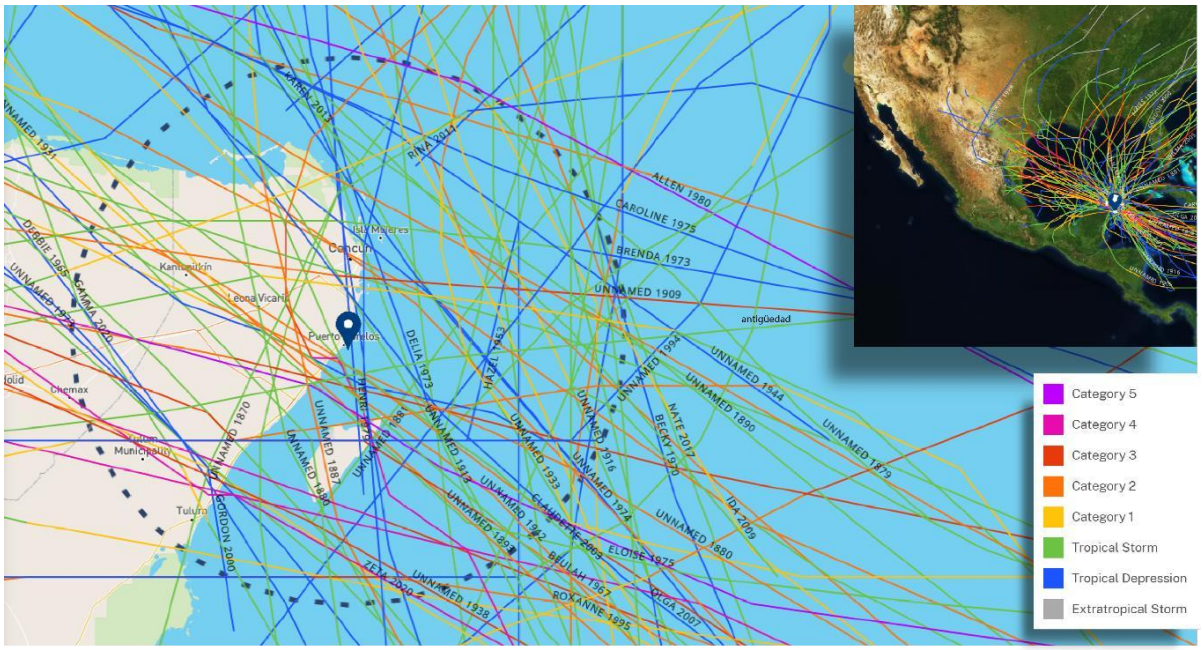


Figura 1. Trayectoria de tormentas y huracanes que han pasado sobre un radio no mayor a 100 km a la redonda de Dreams Puerto Morelos desde 1852 al 2021.

Posteriormente, se analizó la base datos de oleaje del WWIII de la NOAA (Nodo 20.5, -86) para ligar las fechas de huracanes con el fin de encontrar el oleaje producido por las tormentas.

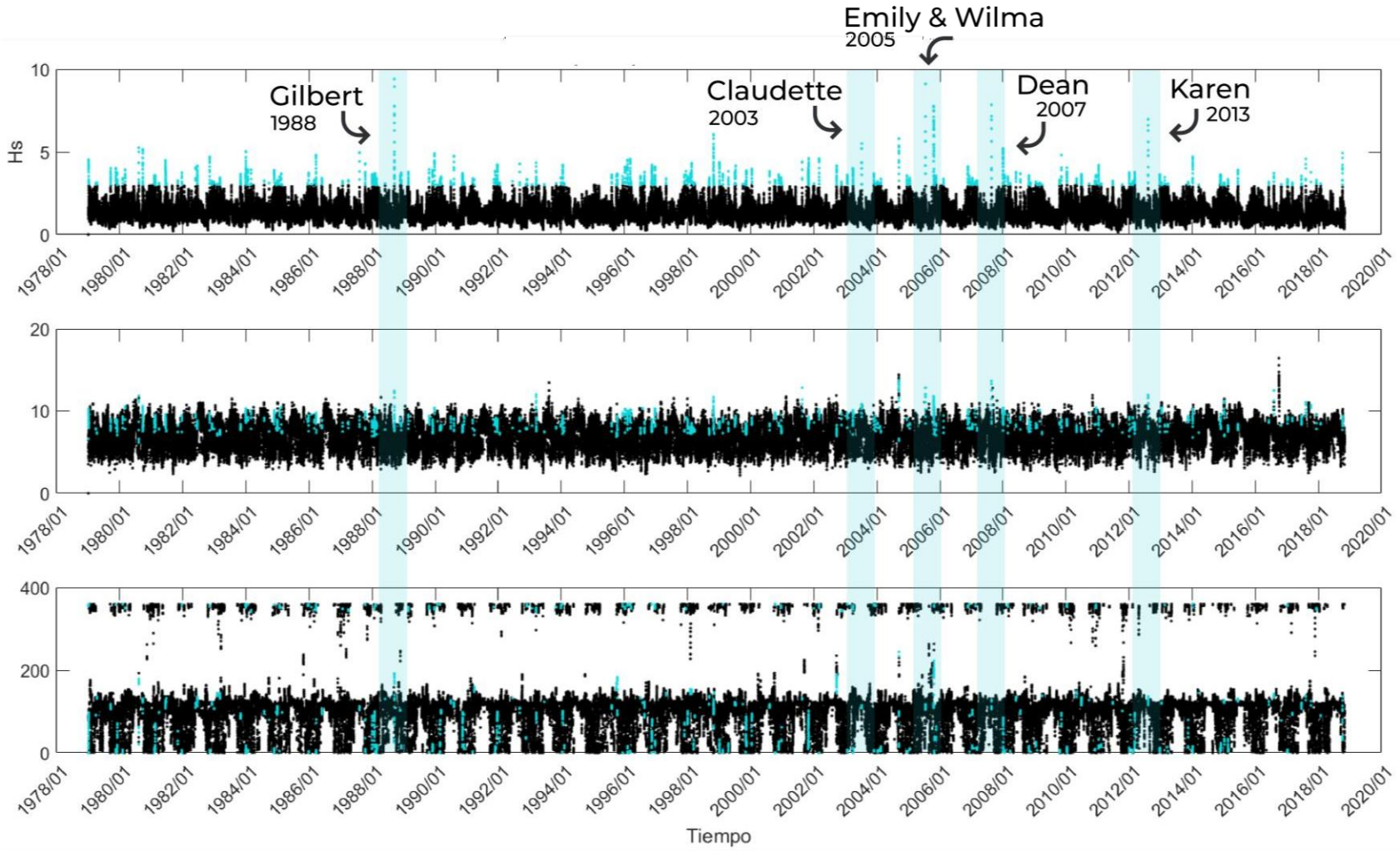


Figura 2. Hs obtenidos de WWIII nodo 20.5, -86 y asociadas a ciclones modelo. Fuente: WWIII.

[redacted]

De los 80 eventos y de acuerdo con la escala Saffir-Simpson, 5 eventos fueron depresión, 21 fueron tormenta, 16 se consideraron huracán categoría 1, 11 categoría 2, 16 categoría 3, 6 alcanzaron la categoría 4 y 5 alcanzaron la categoría 5. A continuación, presentamos el historial de los huracanes que han pasado en un radio menor a 100 km de Dreams Puerto Morelos (ver anexo 1).

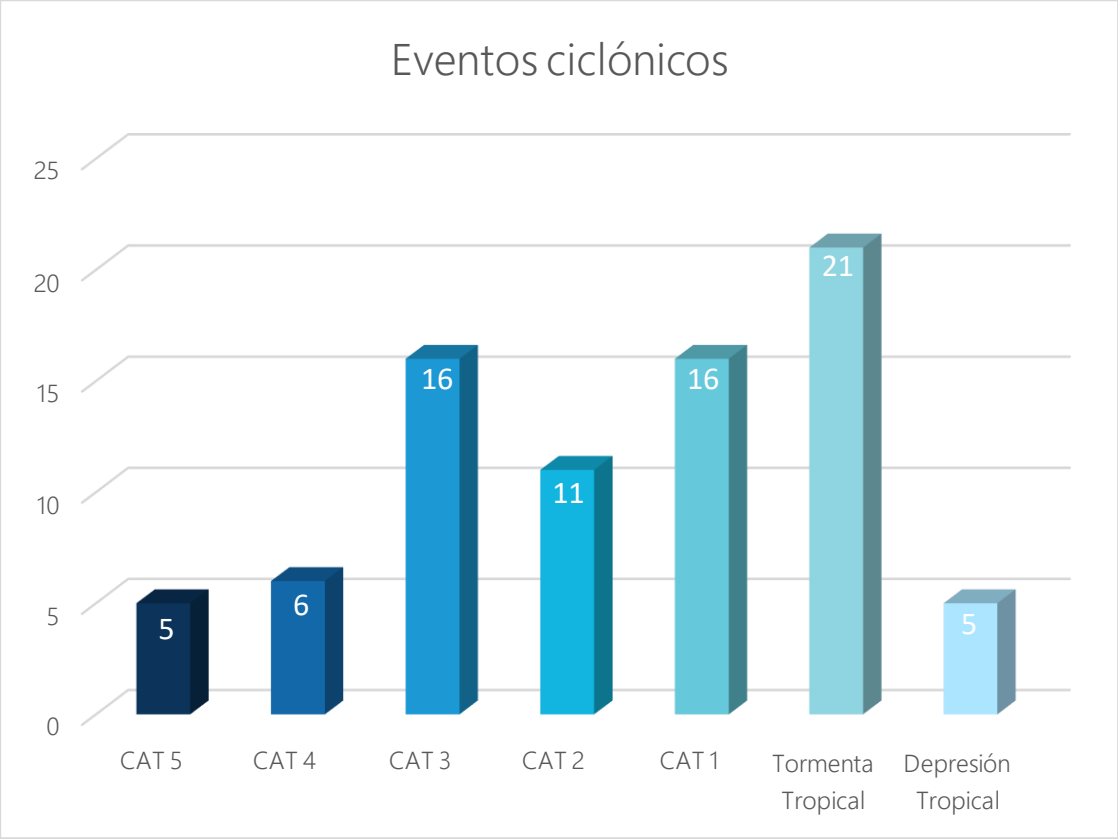


Figura 3. Ocurrencia de eventos ciclónicos que han pasado sobre un radio no mayor a 100 km a la redonda de Dreams Puerto Morelos y divididos en categorías según la escala de Saffir-Simpson.

Históricamente los eventos que más han causado daños han sido el huracán Gilberto y Wilma, provocando 202 y 47 decesos respectivamente. Los daños materiales provocados por este tipo de fenómenos suelen ser cuantiosos y poco predecibles (se estima que Wilma alcanzó los 22,000 millones de dólares en daños), sin embargo, una buena gestión estructural aunado a un estudio ambiental, ayuda a minimizar futuros daños estructurales, pérdidas económicas y lo que ello implique.

4. Zona de estudio: Dreams Puerto Morelos

El proyecto de Dreams Puerto Morelos está ubicado en Puerto Morelos, Quintana Roo, con coordenadas 20.8949° N, 86.8582° W, en la costa este de la Península de Yucatán y es parte del sistema de topoformas consistente de piso rocoso o cementado con delgadas capas de arena sobre la playa. Respecto a su geología, la roca es sedimentaria (caliza) del periodo Neógeno con suelo lacustre y litoral del periodo Cuaternario. El suelo dominante es un Leptosol calcáreo y es considerado tectónicamente estable y orográficamente plano (INEGI, 2009). Sus características, ocasionan la ausencia de flujos superficiales promoviendo que el agua se filtre hacia el subsuelo dificultando el aporte de sedimentos de tierra a mar.

De acuerdo con Inman (2003), una celda litoral es un segmento de la costa con distintas fuentes de sedimentos y vías de transporte a lo largo del litoral y sumideros, donde el sedimento se elimina del sistema litoral. Conceptualmente, la celda delimita un área donde el contenido de sedimentos es equilibrado para el análisis cuantitativo. Para la zona de estudio, se delimitaron 3 celdas: la macro, meso y micro celda.



Figura 4. Delimitación de las celdas litorales.

La **macrocelda** (rojo) está delimitada al norte por el Playa Coral (El Mirador II) y al sur por Marina el Cid Puerto Morelos; ambas puntas son un parteaguas que interrumpe de manera constante el transporte de sedimento de la región. La **mesocelda** (amarillo) está delimitada al norte por Margaritaville Island Reserve Riviera Cancún y al sur por API Puerto Morelos. La **microcelda** (verde) está delimitada al norte por Desire Riviera Maya Resort, y al sur por Edificio Caracol.

5. Memoria técnica de modelación

Para generar un análisis de riesgo, fue necesario calibrar un modelo capaz de reproducir las condiciones de algún huracán histórico (el modelo se calibró con los datos disponibles del huracán Wilma) y posteriormente de acuerdo con la escala Saffir-Simpson se propagaron huracanes CAT 1, CAT 3 y CAT 5 de forma sintética para evaluar la altura de ola y niveles de inundación que causarían.

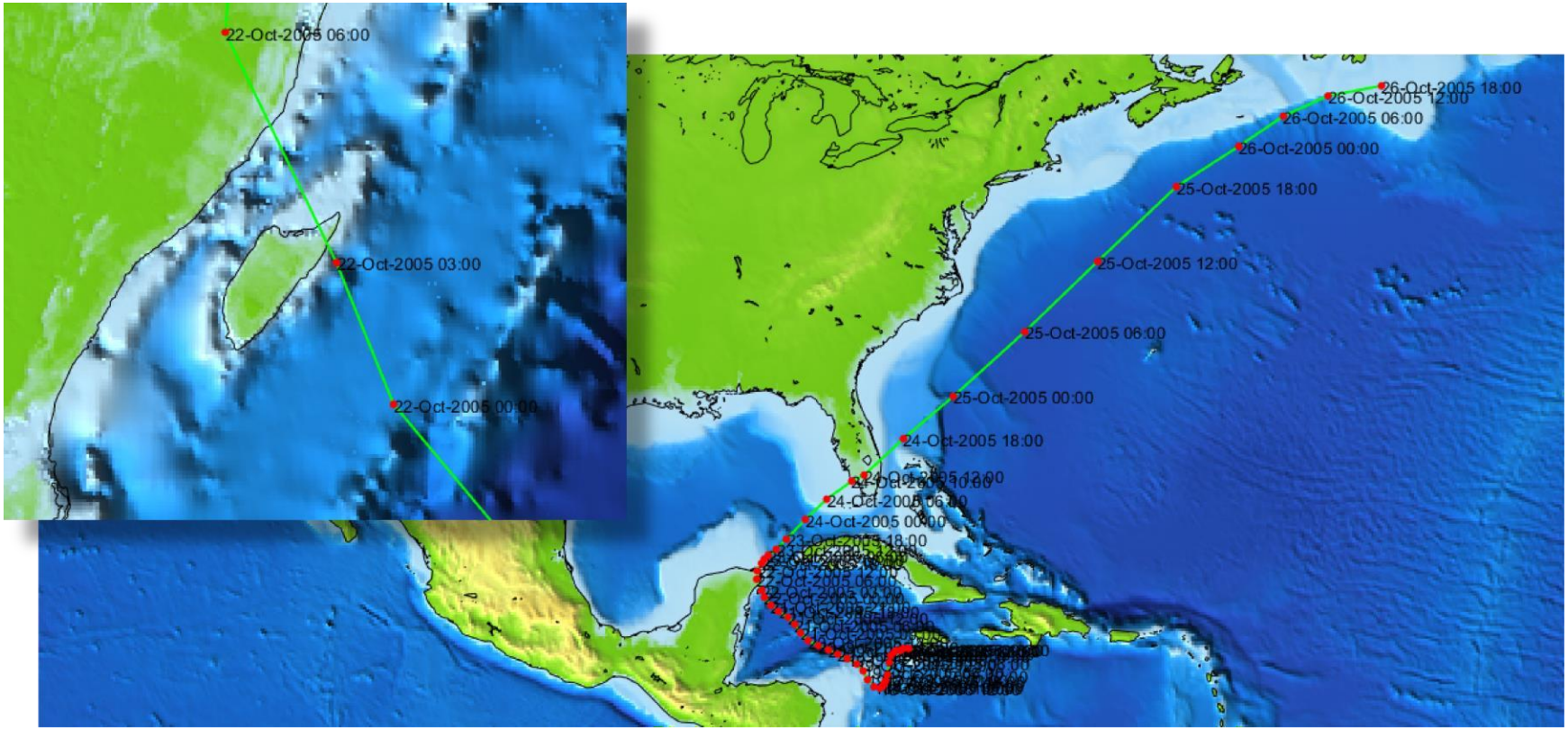


Figura 5. Trayectoria del huracán Wilma usado para calibrar los modelos de análisis de riesgo.

[redacted]

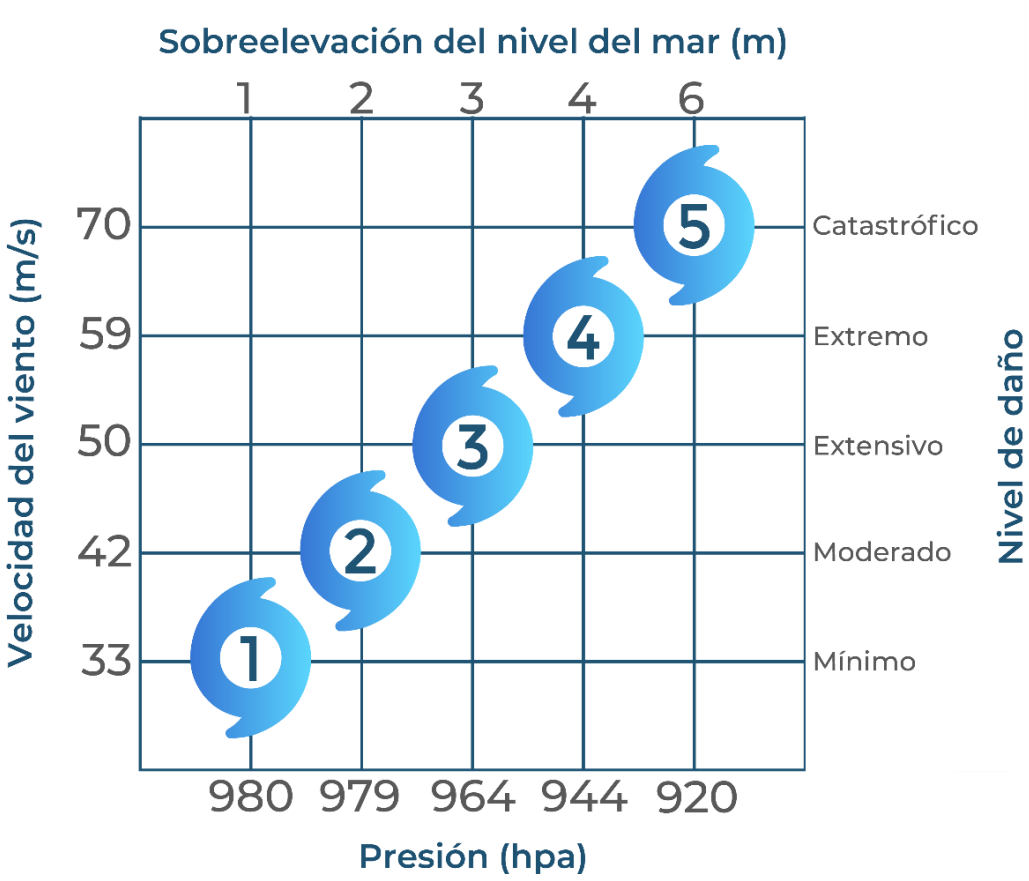


Figura 6. Escala Saffir-Simpson.

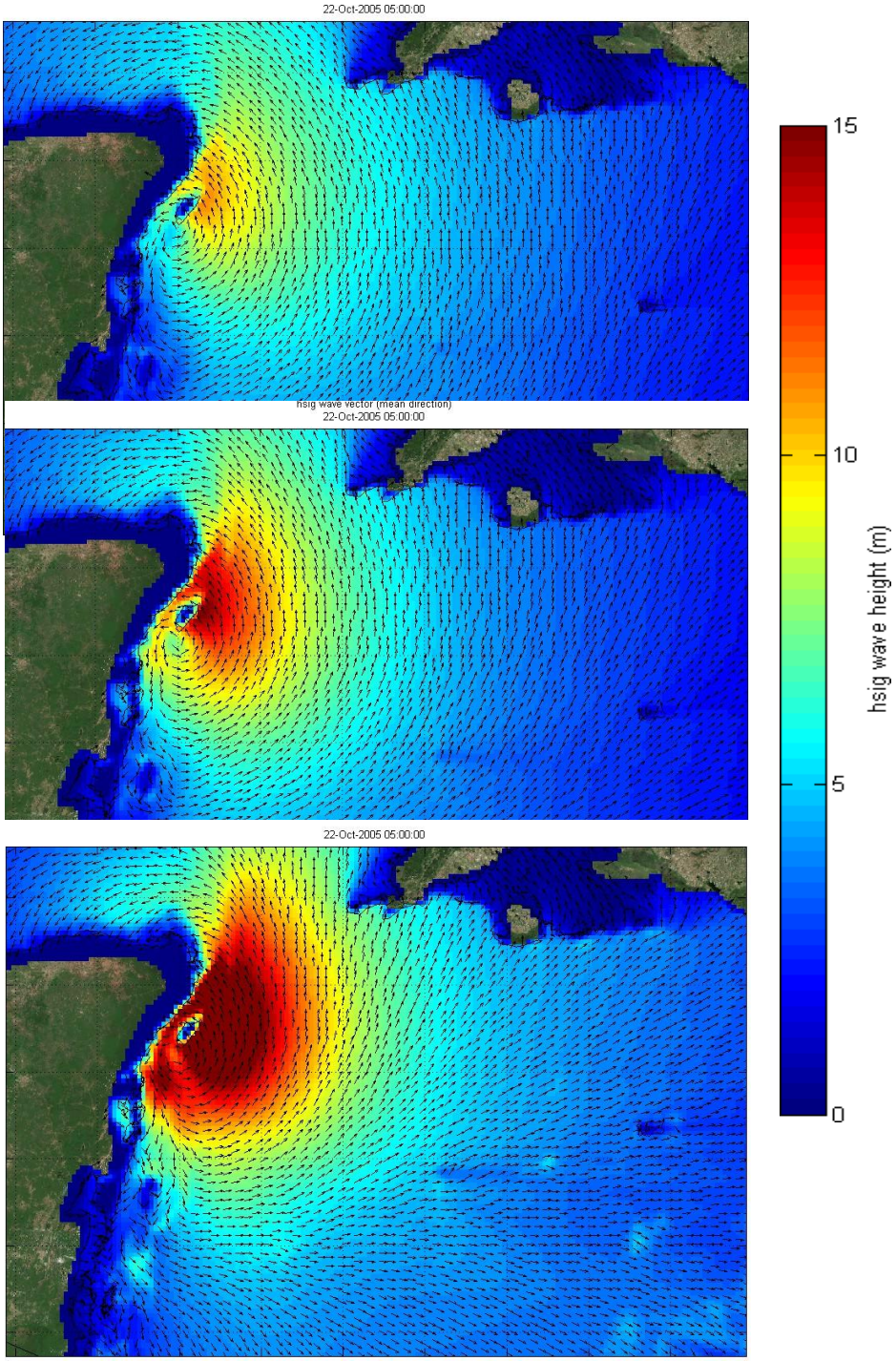


Figura 7. Características del oleaje generado por un huracán CAT 1, 3 y 5. En colores la altura y en vectores la dirección de la ola.

6. Parámetros de entrada

Las condiciones para representar el comportamiento de los huracanes de las tres categorías que se analizaron en este documento son las siguientes:

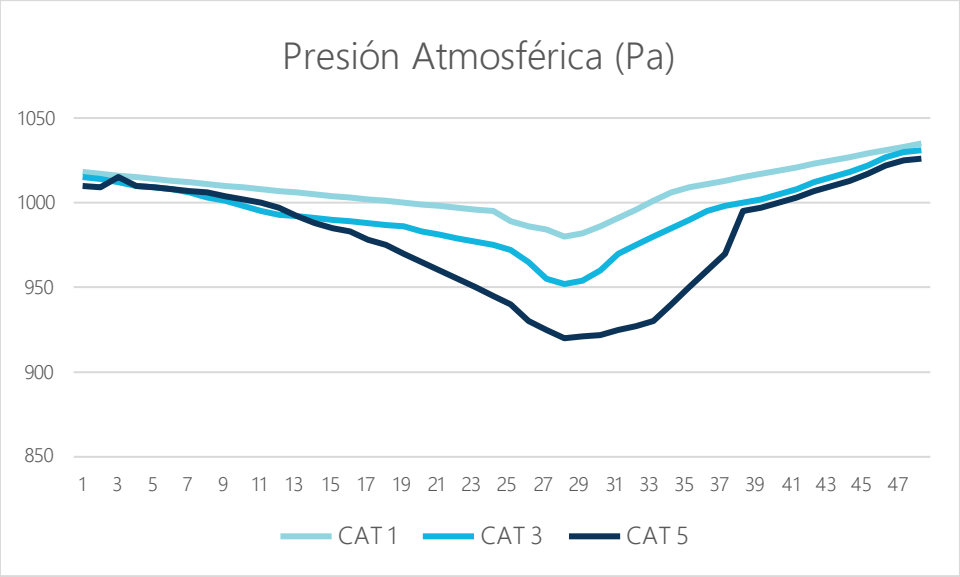


Figura 8. Presiones atmosféricas en pascales de las diferentes categorías de huracán simuladas.

En la figura anterior podemos observar las presiones atmosféricas, las cuales serán las encargadas de propiciar la formación del huracán; en color azul claro observamos la de un huracán categoría 1, en azul medio la categoría 3 y en azul fuerte la categoría 5. Este último es el que cuenta con la presión más baja. En la siguiente figura se muestran con la misma nomenclatura las velocidades de viento (en color azul claro observamos la de un huracán categoría 1, en azul medio la categoría 3 y en azul fuerte la categoría 5.).

Ambas características fueron obtenidas del comportamiento de un huracán real, para este caso de estudio fue el huracán Wilma, el cual alcanzo la categoría más alta de Saffir-Simpson.

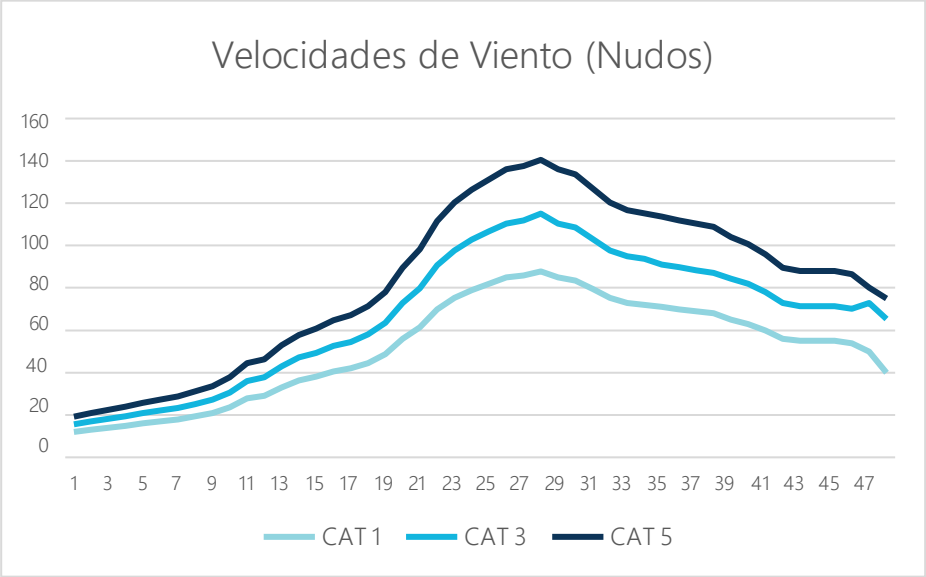
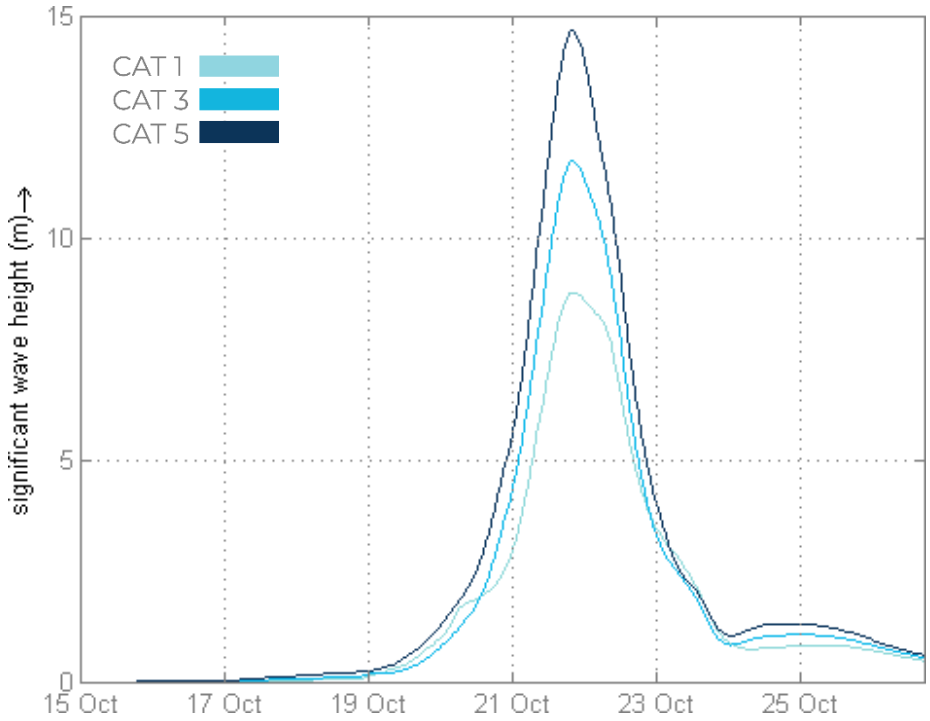


Figura 9. Velocidades de viento de las categorías de huracán simulados.

Los parámetros mínimos para evaluar los efectos que ocasionan las diferentes categorías de huracán sobre el desarrollo, es decir las condiciones de entrada para la malla intermedia del proyecto, fueron: altura de ola, viento, nivel de agua considerando marea viva y marea de tormenta, y precipitación basada en el registro de lluvia acumulada por el paso huracán Wilma.



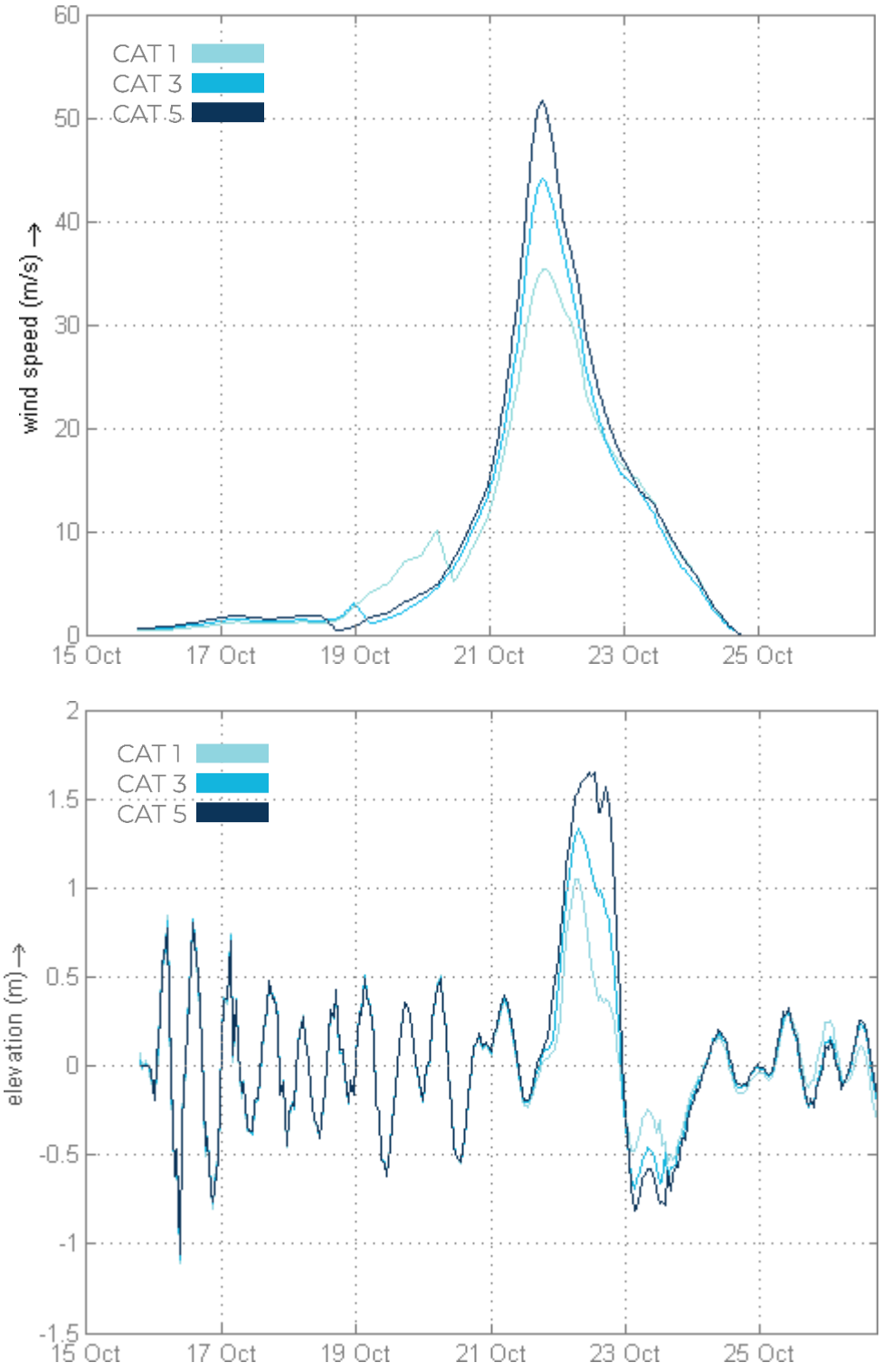


Figura 10. Altura de ola (superior), Viento (centro), y Nivel de Agua (inferior) provocados por el paso de las diferentes categorìas de huracán.

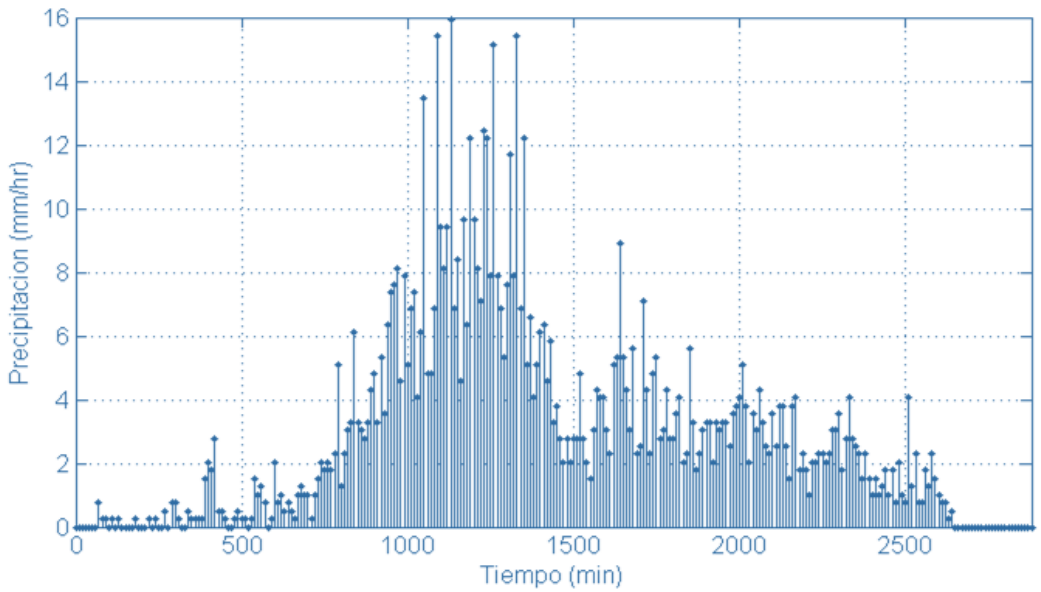


Figura 11. Reporte de la lluvia acumulada por el paso del huracán Wilma, datos obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional.

7. Resultados

En esta sección se resumen los resultados más sobresalientes de la modelación: oleaje, sobreelevación del nivel del agua y zonas de inundación bajo los escenarios de un huracán CAT 1, CAT 3 y CAT 5.

7.1. Oleaje y alcance del agua de mar

Parte importante de la representación de resultados obtenidos de las simulaciones de las diferentes categorías de huracán, es clarificar el comportamiento del oleaje; en la siguiente figura se pueden observar alturas de ola que inciden en el frente del predio tras el paso de un huracán categoría 1, 3 y 5, en donde colores naranjas muestran una ola esperada de ≈ 1.5 m, y colores azules que muestran la disipación de su altura hasta llegar a 0 m. Se puede observar que el nivel de alcance del oleaje va aumentando con la categoría de huracán simulada; sin embargo, gracias a la contención natural de duna y vegetación con la que cuenta el predio, ninguna ola sería responsable de la inundación detrás de la misma.

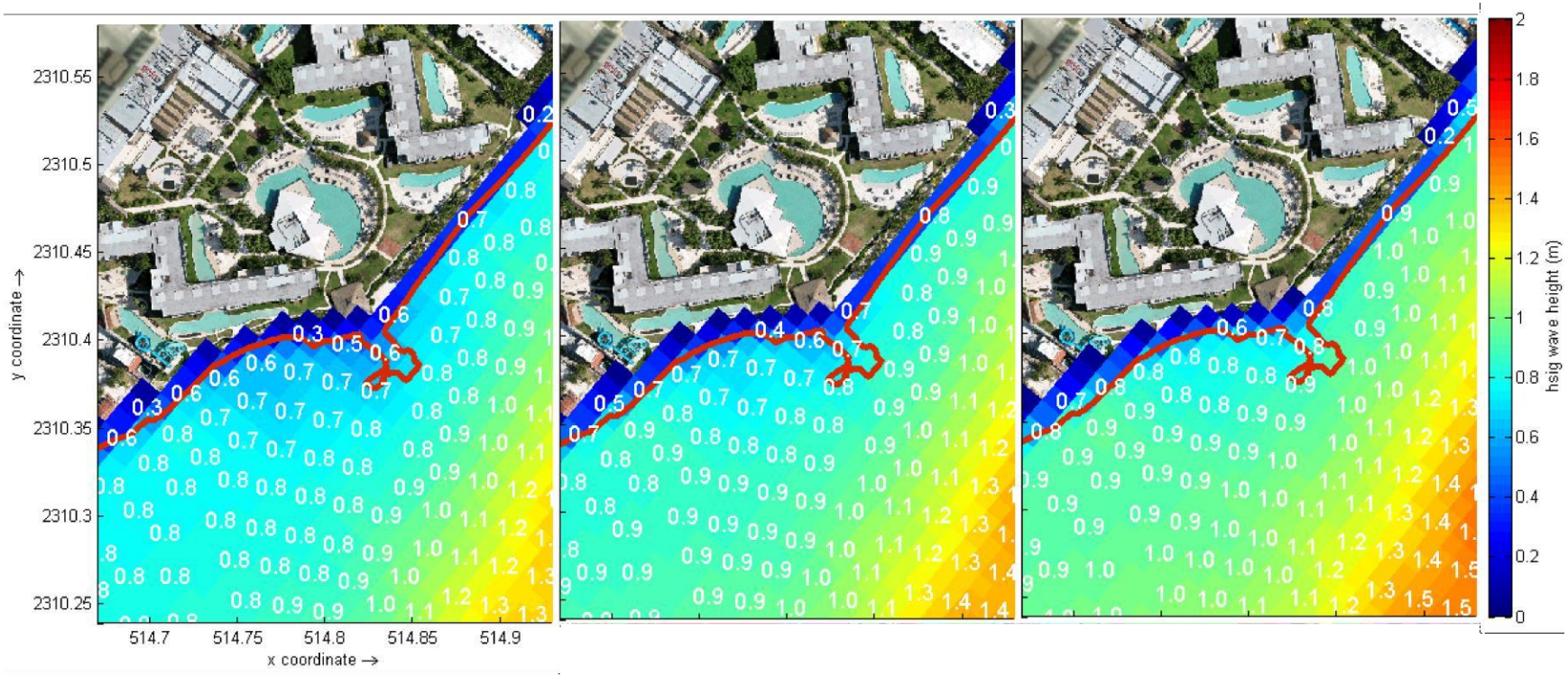


Figura 12. Mapeo del alcance del oleaje sobre el predio de Dreams Puerto Morelos debido al paso de un huracán CAT 1 (izquierda), CAT 3 (centro) y CAT 5 (derecha). En rojo se resalta la línea cero.

Esto cambia en cuanto analizamos el nivel del agua que podría alcanzarse, el cual está conformado por la marea astronómica, la sobreelevación por marea de tormenta, el oleaje generado por la tormenta y la precipitación característica de la categoría de cada evento. En las siguientes figuras se pueden observar los máximos tirantes de agua que podrían presentarse ante el paso de un huracán CAT 1 (izquierda), CAT 3 (centro) y CAT 5 (derecha).

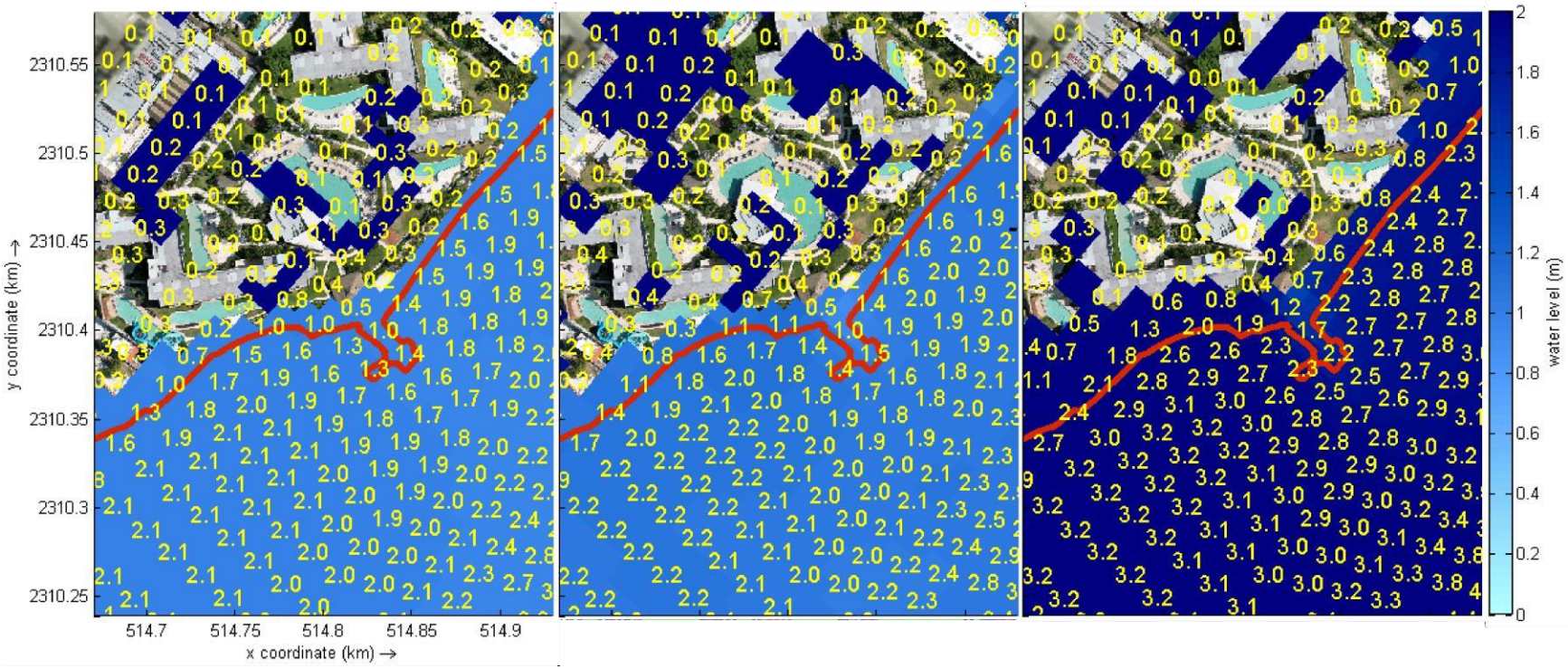


Figura 13. Mapeo del alcance del nivel de agua (marea astronómica, marea de tormenta, oleaje de tormenta y precipitación) sobre el predio de Dreams Puerto Morelos considerando el aumento del nivel del mar debido al paso de un huracán CAT 1 (izquierda), CAT 3 (centro) y CAT 5 (derecha). En rojo se resalta la línea cero.

El predio de Dreams Puerto Morelos en el municipio de Puerto Morelos se encuentra en una laguna arrecifal, debido a su ubicación frente a una extensa franja del arrecife de Puerto Morelos.

La propagación de las ondas de marea en una laguna arrecifal está influenciada por varios procesos, incluida la amplificación debido a la convergencia batimétrica o de la línea de costa, el amortiguamiento debido a la fricción del fondo, la disipación interna y la reflexión al final de la laguna (Savenije et al., 2008; van Rijn, 2011). Estos procesos están fuertemente influenciados por la longitud, la batimetría y la geometría del sitio.

En el caso de la marea de tormenta, la combinación de los vientos y la topografía del fondo marino pueden aumentar aún más el nivel del agua en la costa. Si los vientos son lo suficientemente fuertes, como es el caso planteado en esta simulación, pueden empujar el agua hacia la costa y causar inundaciones en zonas bajas. Además, la batimetría puede hacer que el agua se concentre en una zona determinada, lo que puede aumentar aún más el nivel del agua.

Así mismo, se ha observado que el arrecife frente al predio de Dreams Puerto Morelos actúa como un rompeolas natural, reduciendo significativamente las alturas de ola a medida que se aproximan a la costa, de tal modo que las olas cercanas a la playa disminuyen hasta cuatro veces su altura de ola significante, comparadas con las del arrecife anterior. (Parra et al., 2015). Sin embargo, a través del análisis de fotografías satelitales a lo largo del tiempo, se ha identificado que esta protección se ha visto severamente disminuida, debido a la pérdida de biomasa que el arrecife ha sufrido.

A pesar de la protección natural que el arrecife le brinda a la costa, se ha identificado una zona del predio situada al suroeste del hotel que se encuentra particularmente propensa a riesgo de inundación. Este hecho se debe a que justo frente a esa área, el arrecife se ve interrumpido naturalmente, permitiendo la creación de una ensenada conocida localmente como Boca Grande. Esto provoca que no haya una protección natural ante las olas generadas en aguas profundas, las cuales impactan directamente en la costa y generan erosiones mayores, comparadas con el resto del predio.

Para una mejor representación de los resultados en planta, se realizaron seccionamientos; estos muestran un mayor detalle del nivel de inundación provocado por el paso de los huracanes. La ubicación de las secciones trazadas se presenta a continuación:

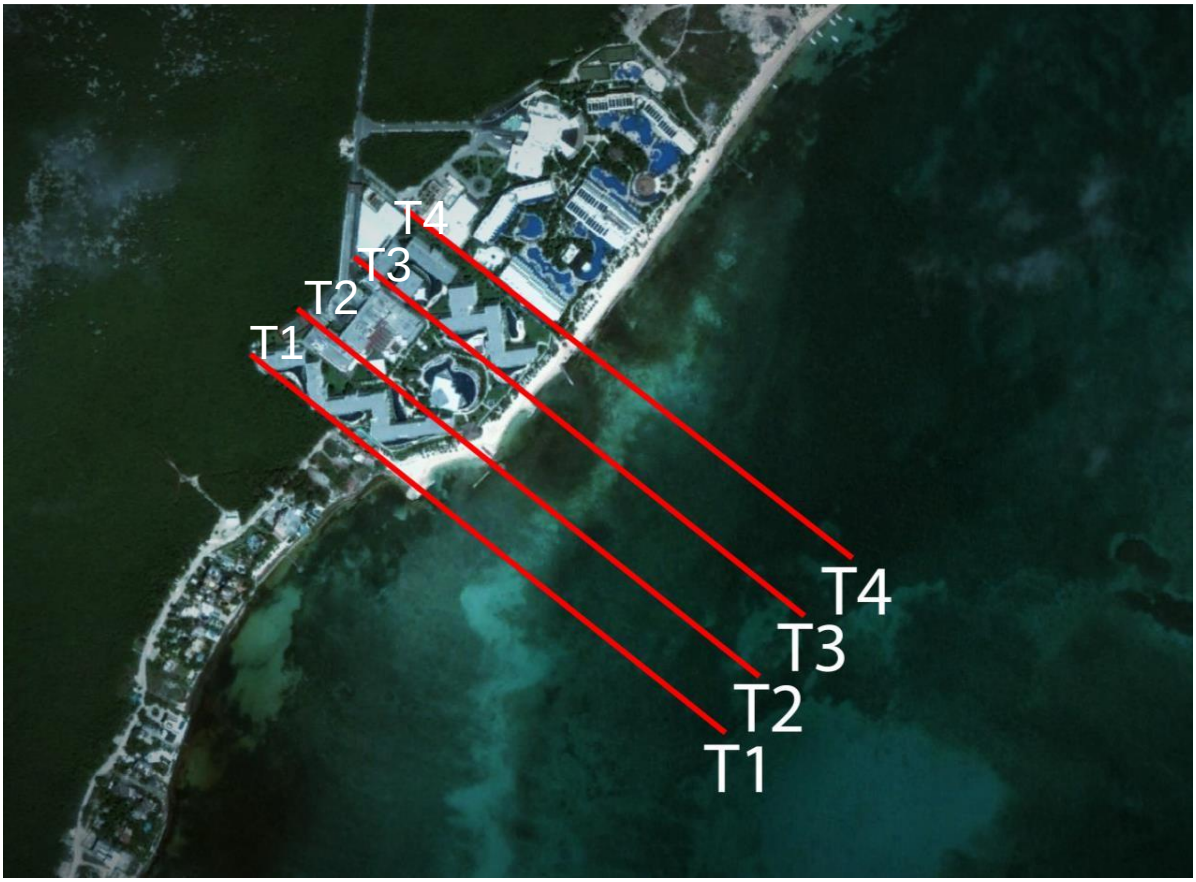
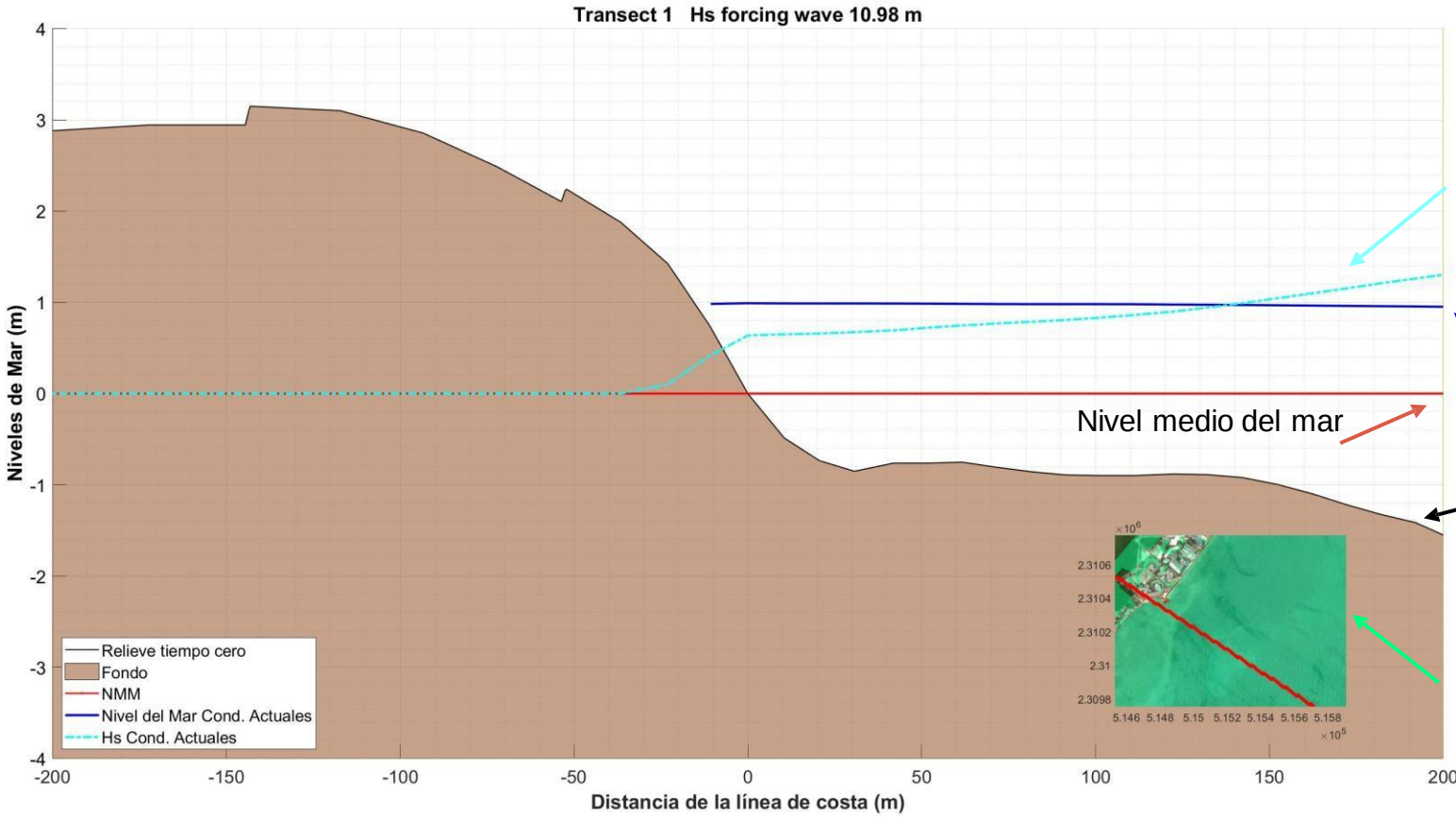


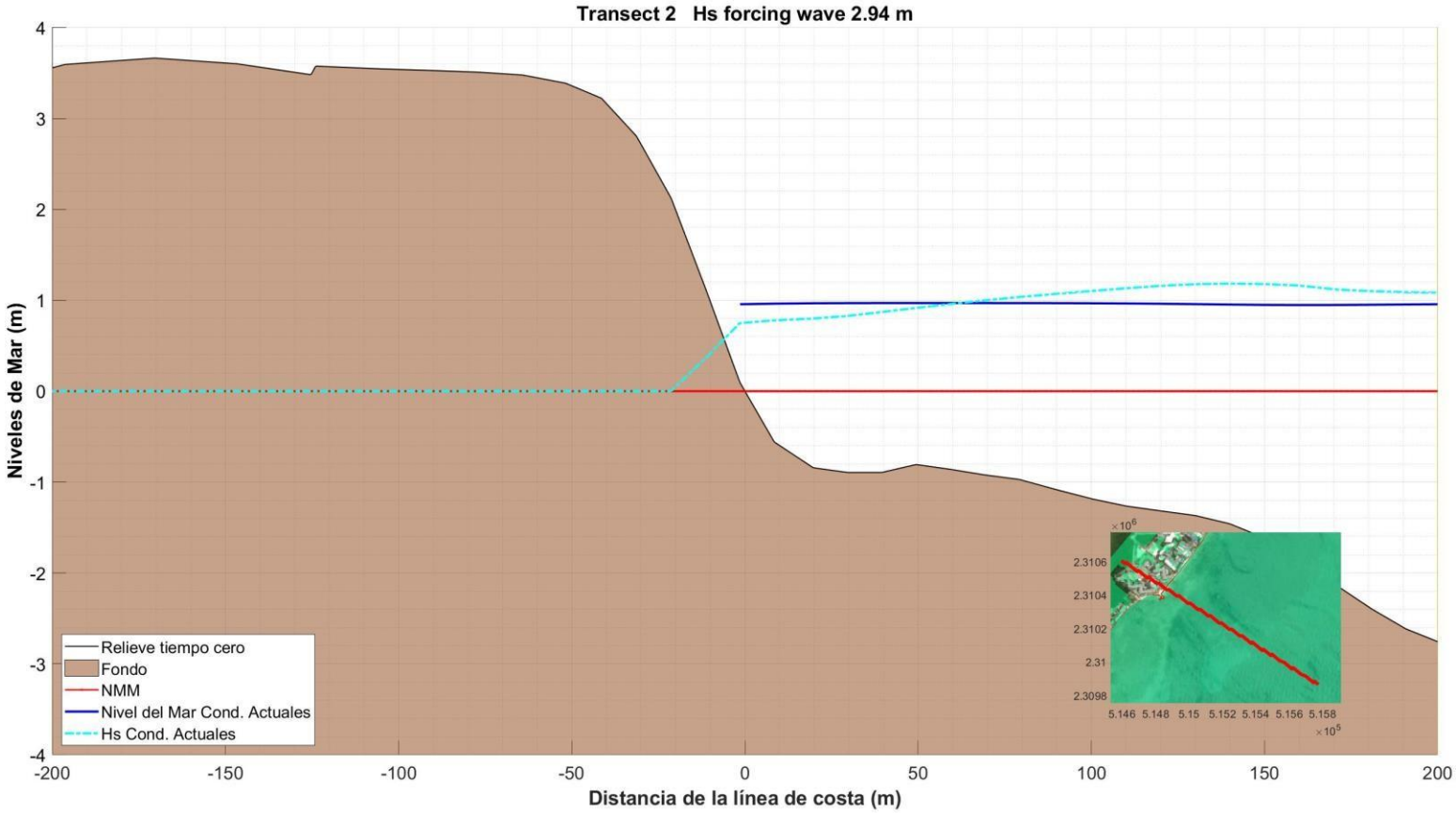
Figura 14. Ubicación de las secciones trazadas.

En las siguientes figuras se presenta el relieve del predio de Dreams Puerto Morelos; en azul claro se representa la altura de las olas, en azul fuerte el nivel del agua considerando la sobreelevación de la marea de tormenta y en color rojo el nivel medio del mar. En la parte inferior izquierda de cada gráfica, se muestra la ubicación del transecto en el que se están representando los resultados.

CAT 1


Transect 1 Hs forcing wave 10.98 m
Niveles de Mar (m)
Distancia de la línea de costa (m)
Relieve tiempo cero
Fondo
NMM
Nivel del Mar Cond. Actuales
Hs Cond. Actuales
Altura del oleaje
Nivel del agua
Nivel medio del mar
Batimetría
Ubicación del transecto

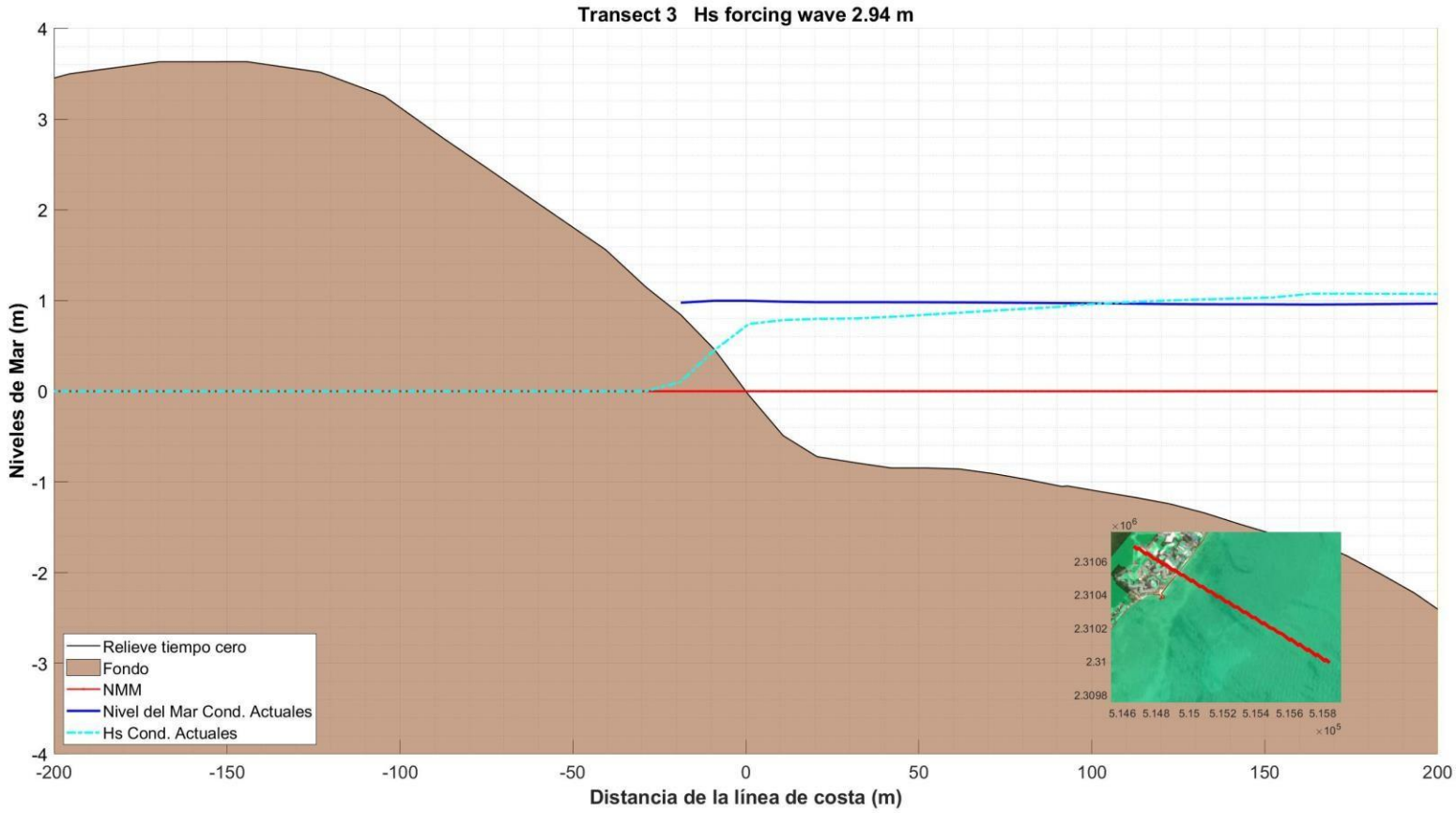
CAT 1



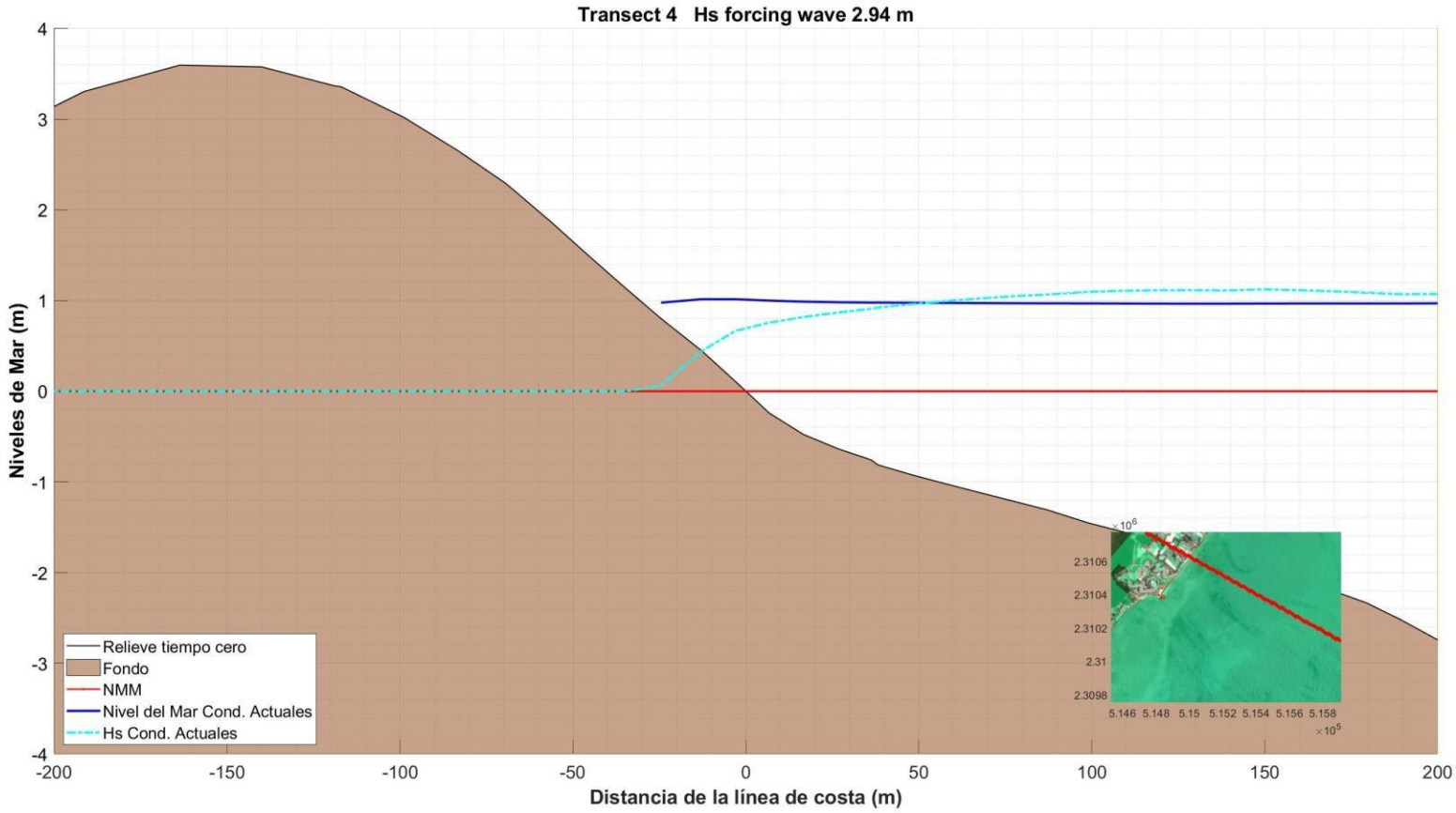
TECNOCEANO

[redacted]

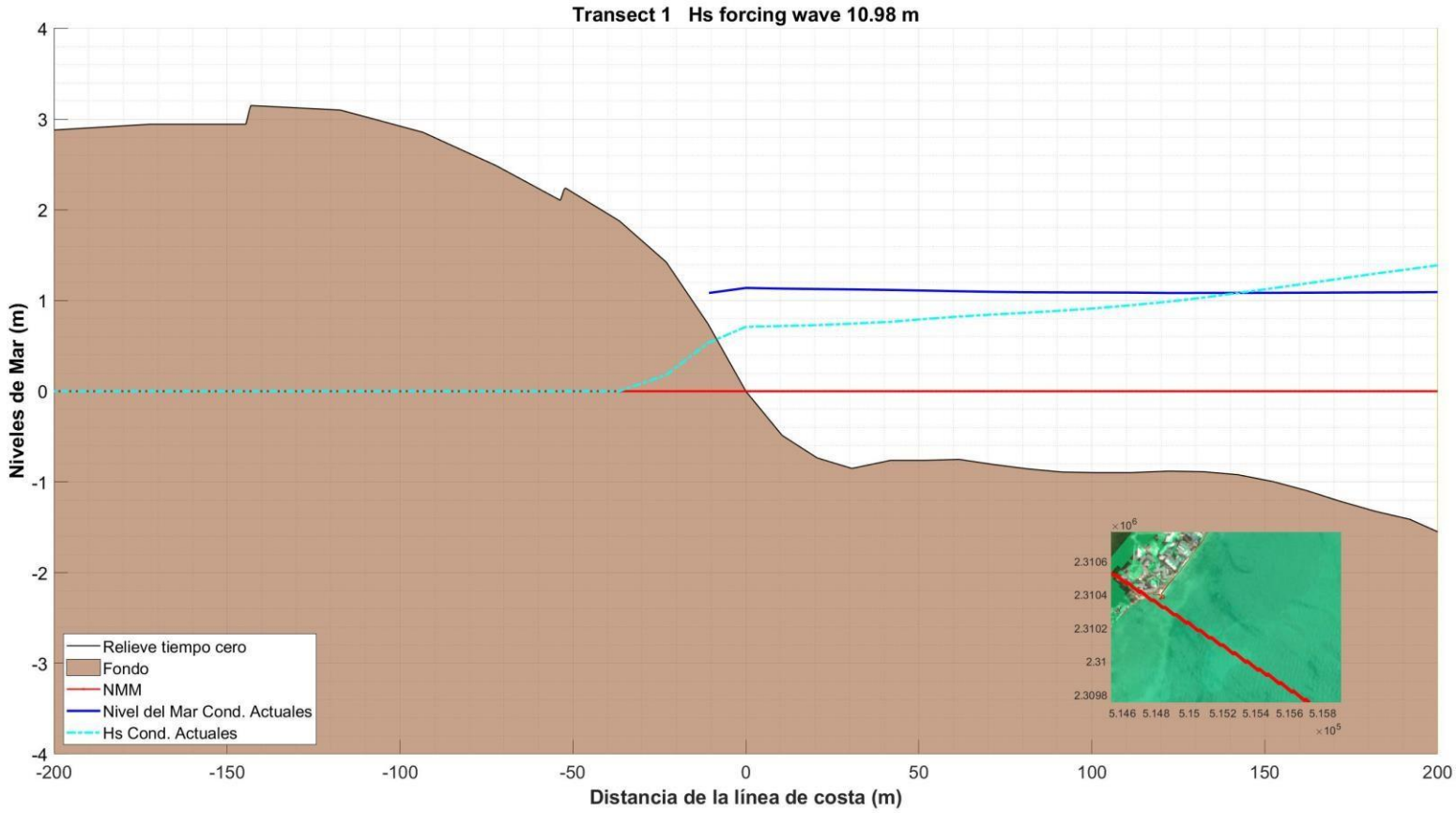
CAT 1


Transect 3 Hs forcing wave 2.94 m
Niveles de Mar (m)
Distancia de la línea de costa (m)
Relieve tiempo cero
Fondo
NMM
Nivel del Mar Cond. Actuales
Hs Cond. Actuales

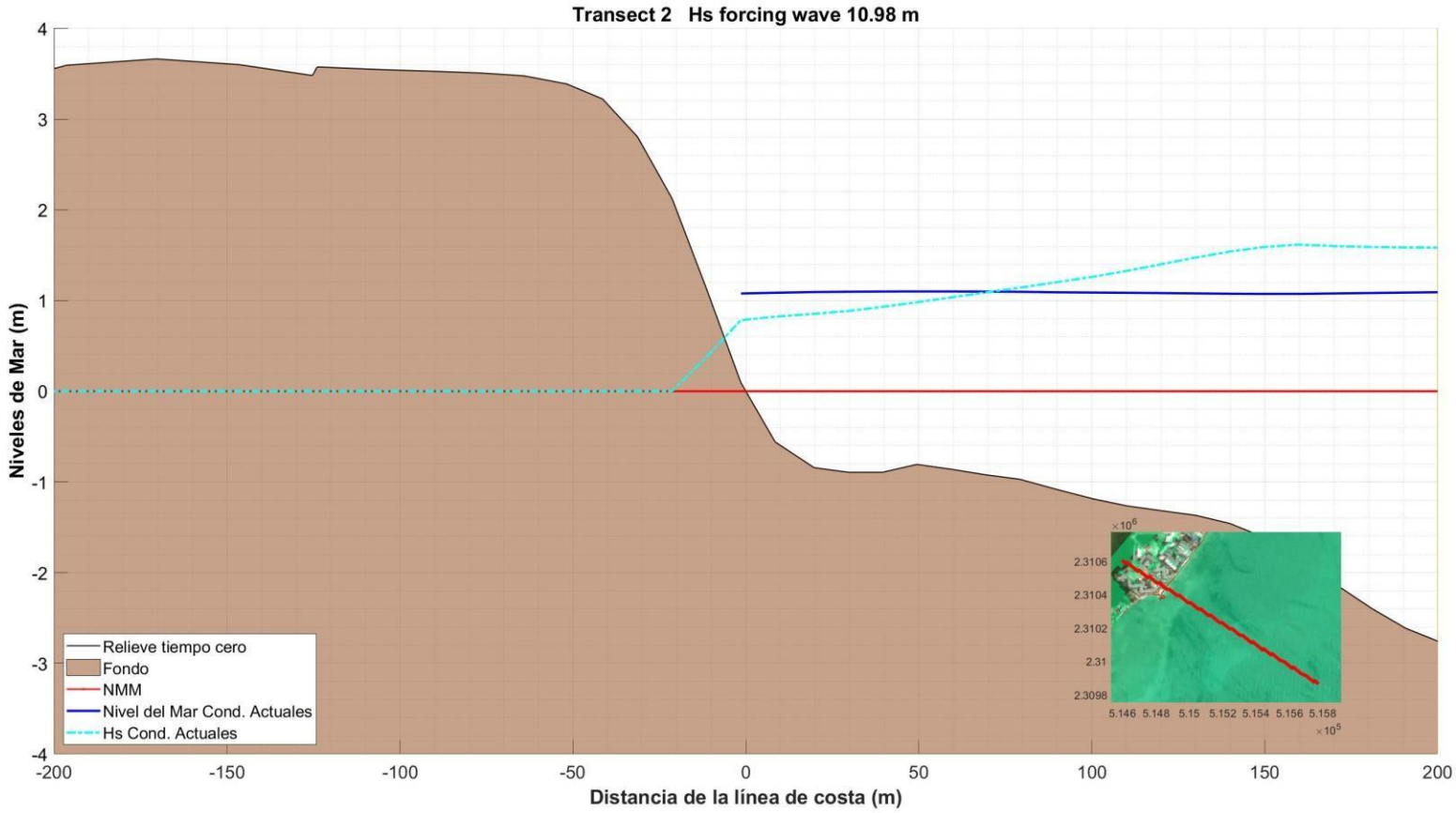
CAT 1


Transect 4 Hs forcing wave 2.94 m
Niveles de Mar (m)
Distancia de la línea de costa (m)
Relieve tiempo cero
Fondo
NMM
Nivel del Mar Cond. Actuales
Hs Cond. Actuales

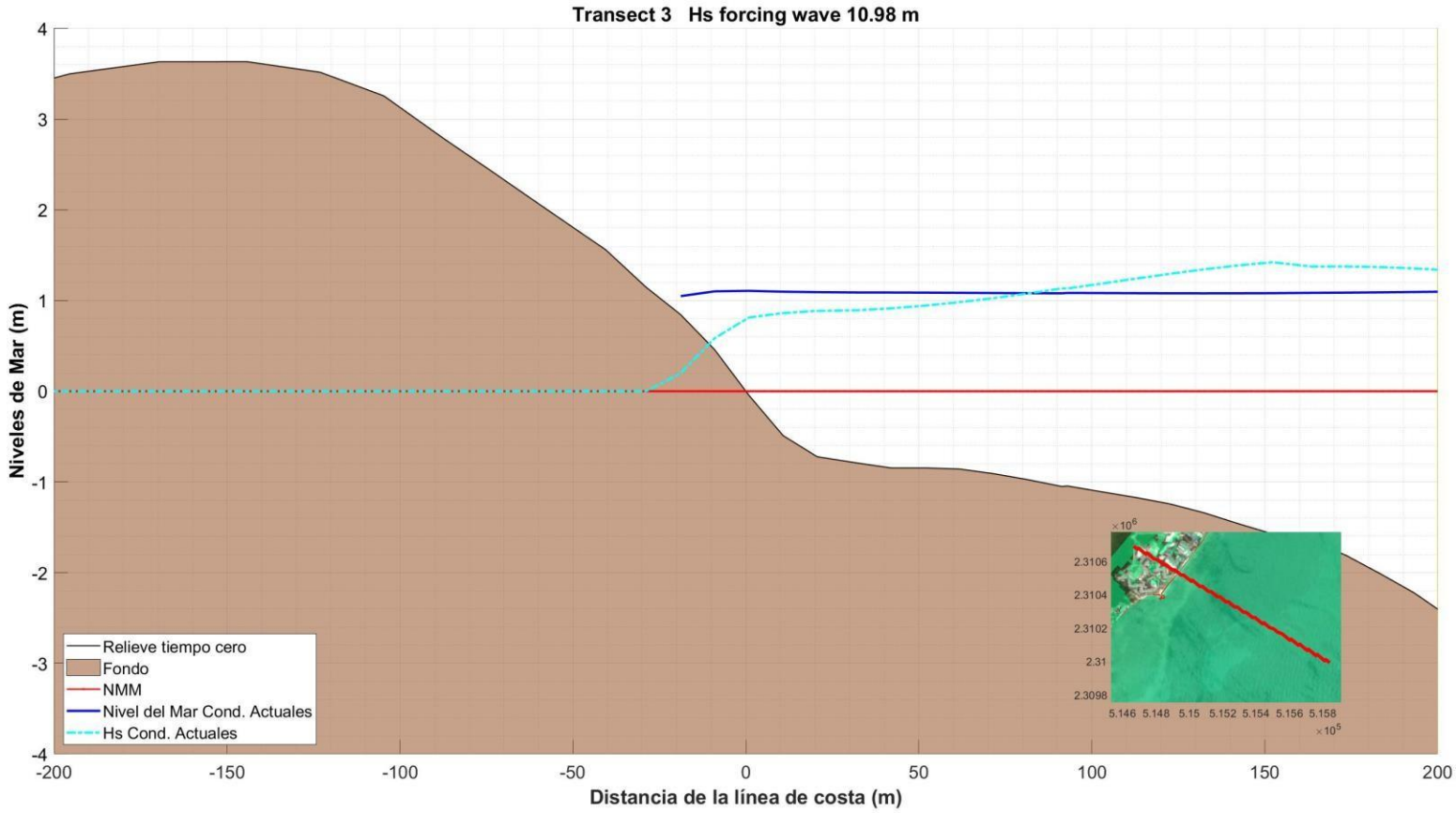
CAT 3


Transect 1 Hs forcing wave 10.98 m
Niveles de Mar (m)
Distancia de la línea de costa (m)
Relieve tiempo cero
Fondo
NMM
Nivel del Mar Cond. Actuales
Hs Cond. Actuales

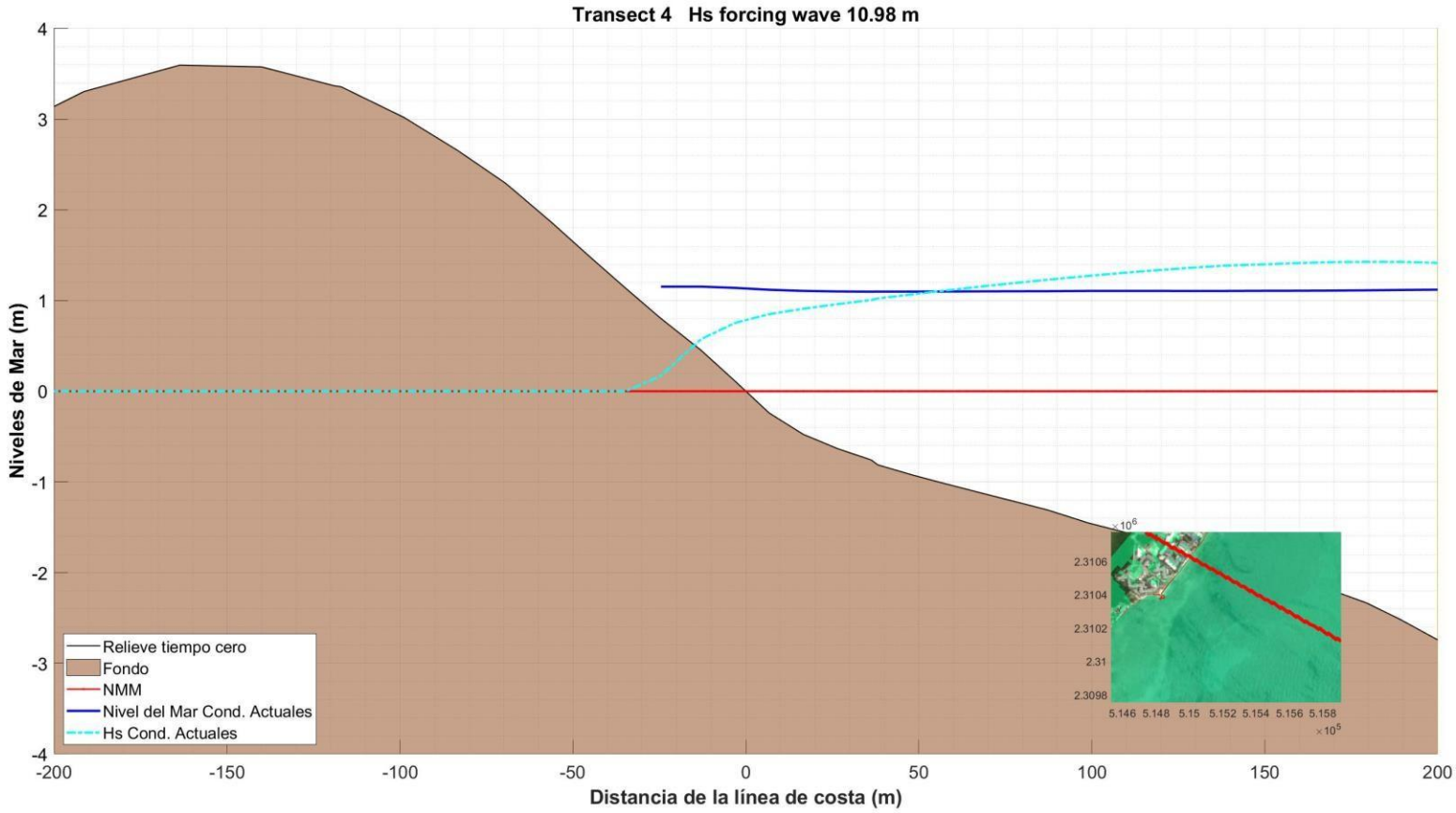
CAT 3


Transect 2 Hs forcing wave 10.98 m
Niveles de Mar (m)
Distancia de la línea de costa (m)
Relieve tiempo cero
Fondo
NMM
Nivel del Mar Cond. Actuales
Hs Cond. Actuales

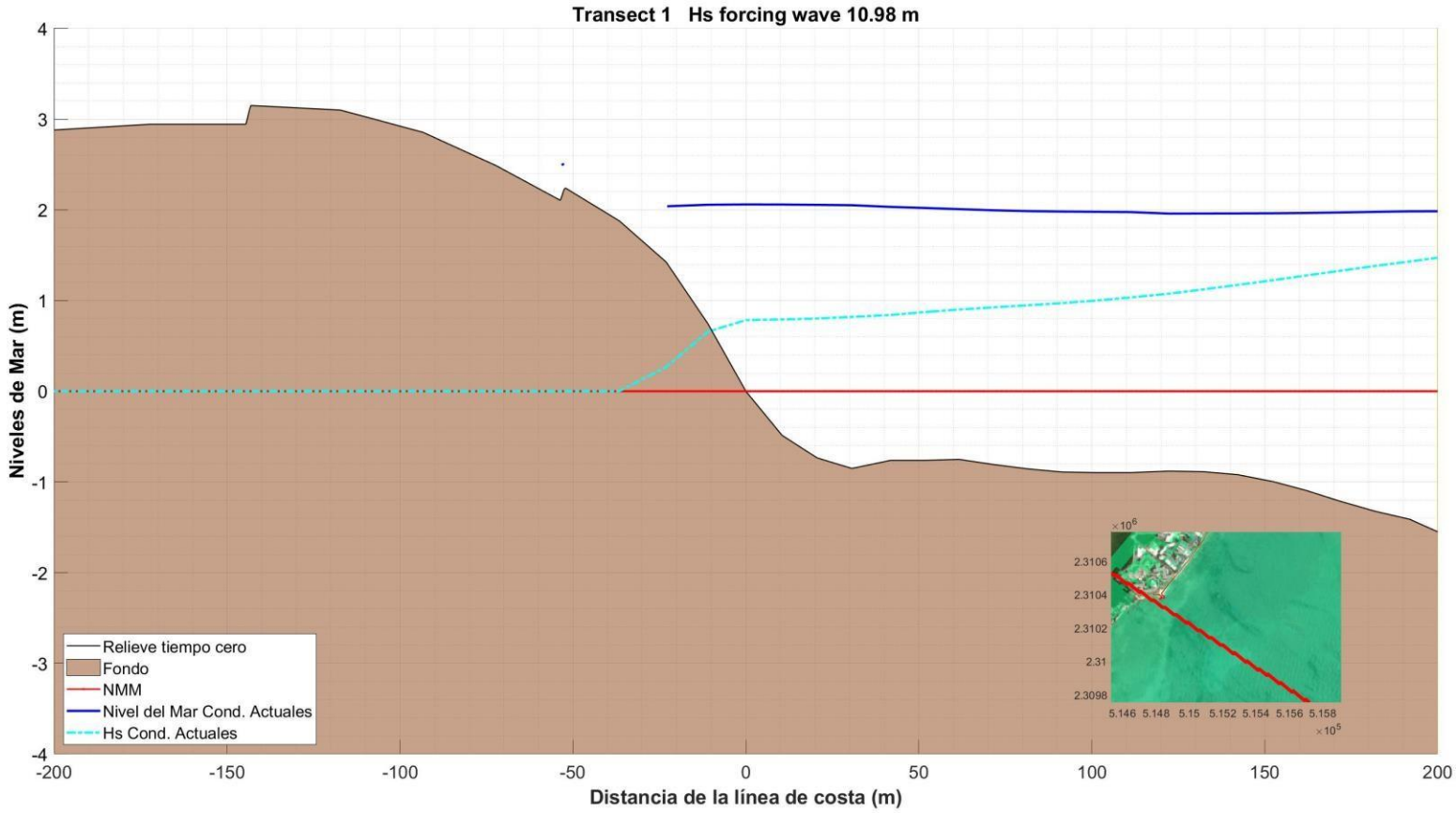
CAT 3


Transect 3 Hs forcing wave 10.98 m
Niveles de Mar (m)
Distancia de la línea de costa (m)
Relieve tiempo cero
Fondo
NMM
Nivel del Mar Cond. Actuales
Hs Cond. Actuales

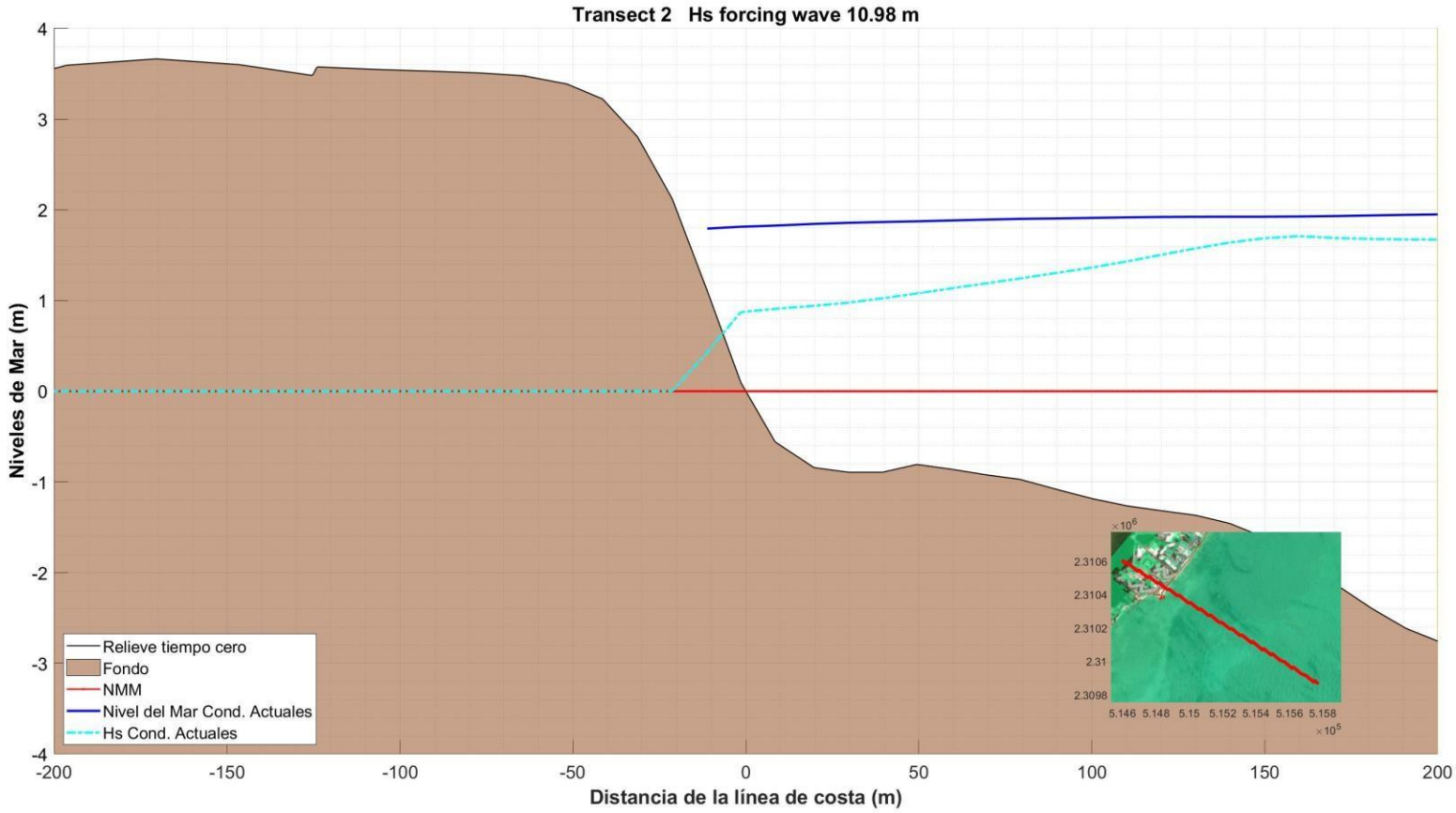
CAT 3


Transect 4 Hs forcing wave 10.98 m
Niveles de Mar (m)
Distancia de la línea de costa (m)
Relieve tiempo cero
Fondo
NMM
Nivel del Mar Cond. Actuales
Hs Cond. Actuales

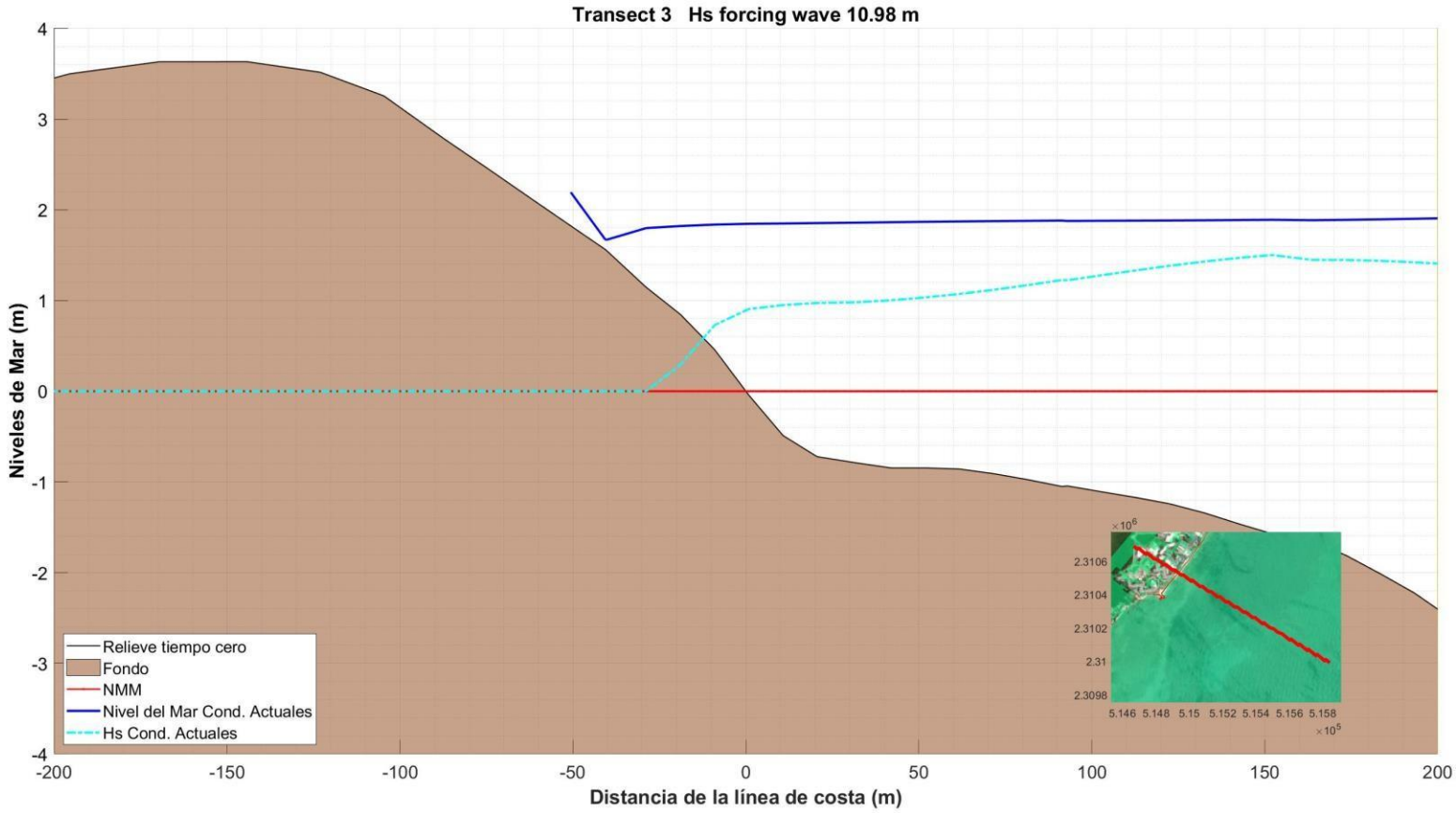
CAT 5


Transect 1 Hs forcing wave 10.98 m
Niveles de Mar (m)
Distancia de la línea de costa (m)
Relieve tiempo cero
Fondo
NMM
Nivel del Mar Cond. Actuales
Hs Cond. Actuales

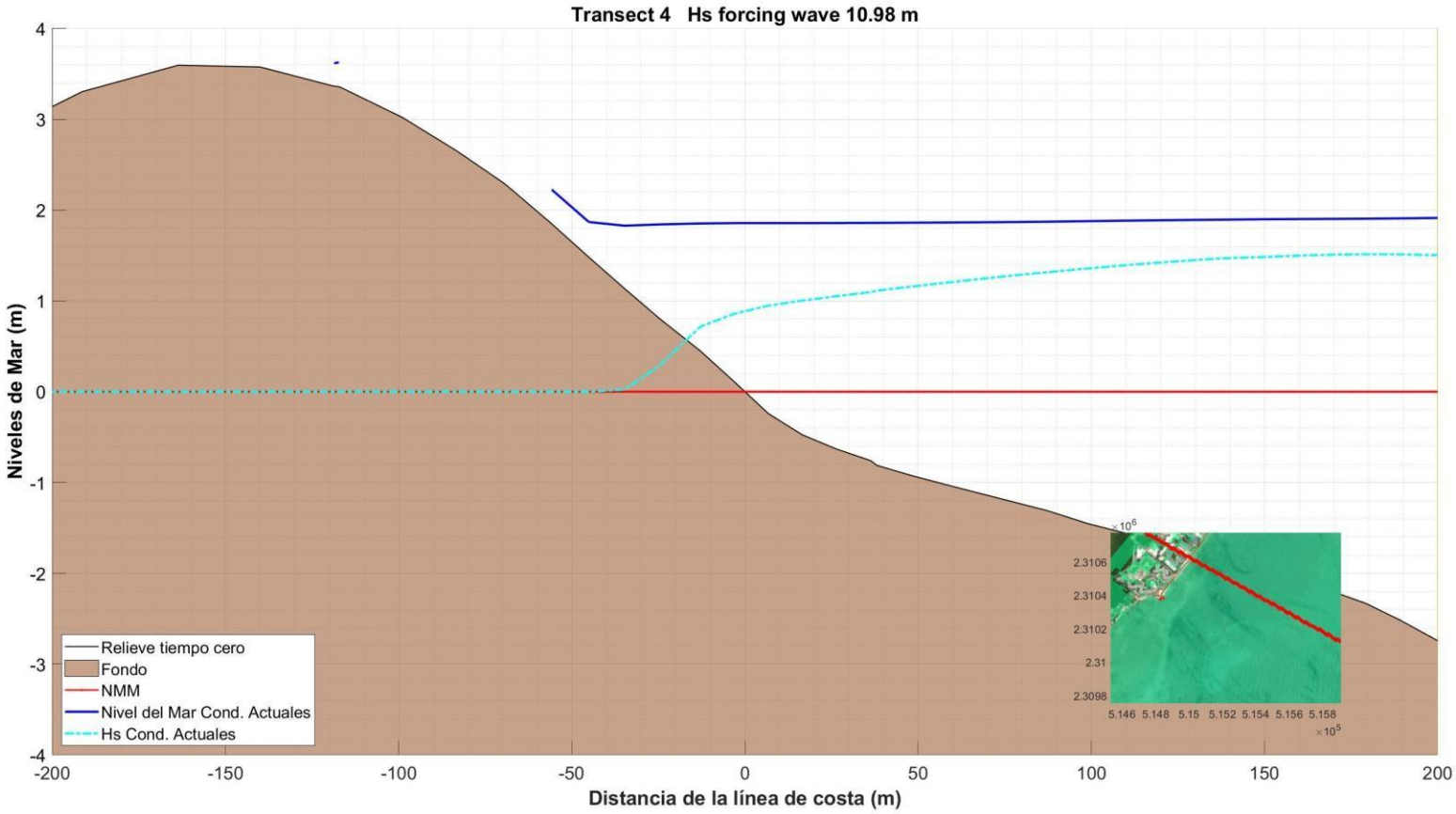
CAT 5


Transect 2 Hs forcing wave 10.98 m
Niveles de Mar (m)
Distancia de la línea de costa (m)
Relieve tiempo cero
Fondo
NMM
Nivel del Mar Cond. Actuales
Hs Cond. Actuales

CAT 5


Transect 3 Hs forcing wave 10.98 m
Niveles de Mar (m)
Distancia de la línea de costa (m)
Relieve tiempo cero
Fondo
NMM
Nivel del Mar Cond. Actuales
Hs Cond. Actuales

CAT 5


Transect 4 Hs forcing wave 10.98 m
Niveles de Mar (m)
Distancia de la línea de costa (m)
Relieve tiempo cero
Fondo
NMM
Nivel del Mar Cond. Actuales
Hs Cond. Actuales

8. Incremento del Nivel del Mar

La modelación mundial a partir de los escenarios de cambio climático (MAGICC, 2009) indica un aumento del nivel del agua de 3.1 mm/año, sin embargo, el margen de error ha incrementado en ±0.7 mm/año. También hace un énfasis que existen factores geológicos que alteran el rango de variación del nivel del mar, como son los fenómenos de hundimiento o procesos acumulativos.

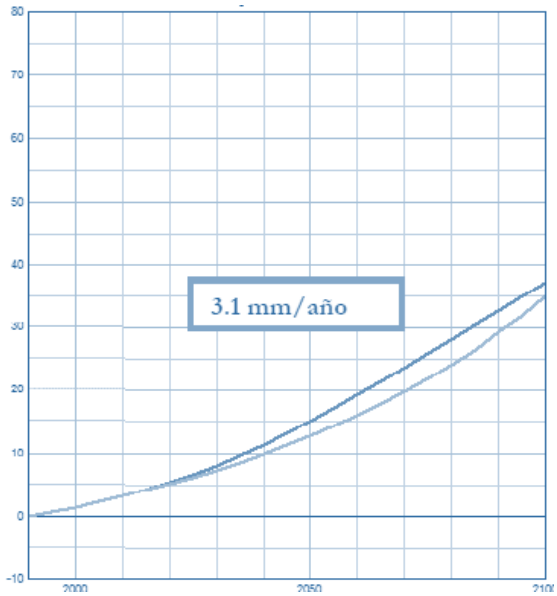


Figura 15. Gráfica del cambio de nivel del mar en (cm). Tomado de SRES AIB-AIM (1990).

La recopilación de datos de satélite (TOPEX/POSEIDON, Jason 1 y Jason 2) revela que existe una clara tendencia hacia el incremento en el nivel del mar durante la última década, a nivel mundial.

Debido a este importante tema de la elevación del nivel del mar y el cambio climático es muy importante que los desarrollos cercanos a la costa tomen conciencia de los riesgos que hay de erosión, inundación y los efectos devastadores de ser golpeados por tormentas estacionales y tormentas extraordinarias, tomar conciencia de que se deben tomar acciones a mediano y a largo plazo aun siendo costosas, ya que si no se contempla un escenario integral, solo se trabaja en arreglar un detalle y al cabo de un cierto tiempo saltara a la vista que fue un arreglo insuficiente y que el problema se agravó.

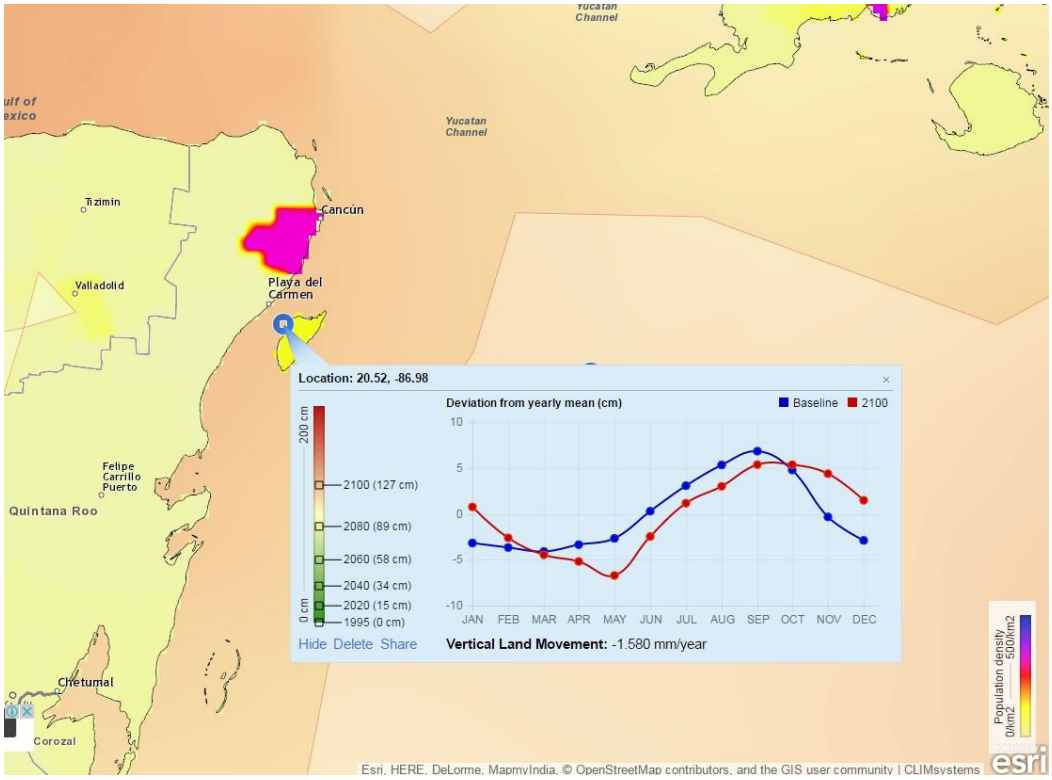


Figura 16. Predicción de nivel del mar para 2100 en la costa de Quintana Roo. Fuente: CLIMSystems.

La proyección del cambio del nivel del mar producto del cambio climático fue tomada en cuenta en la simulación realizada; esta lograra impactar en el nivel del mar a largo plazo. La altura de las obras de protección, el nivel de energía de la ola y la sobreelevación por tormenta serán los principales afectados.

Cabe recordar que los modelos numéricos son herramientas que nos ayudan a estimar qué sucederá en un futuro próximo y su precisión dependerá de la cantidad de datos disponibles. Por tanto, todo modelo puede ser mejorado con un programa de monitoreo en el que se coloquen instrumentos de medición para poder realizar un mayor ajuste (calibración) del modelo a lo largo de todas las estaciones del año.

Los resultados más sobresalientes son:

- Los niveles de inundación frente al predio son de 1.01 m, 1.13 m y 2.05 m, correspondientes al paso de un huracán categoría 1, 3 y 5.
- El sitio más vulnerable es aquel que se encuentra en el lado suroeste del predio Dreams Puerto Morelos, debido a que no cuenta con la protección natural que ofrece el arrecife de coral, ya que esta zona se sitúa frente a la ensenada norte, conocida localmente como Boca Grande. Así mismo, se identifica que esta zona está situada sobre una saliente natural del acuífero hacia el océano, factor que compromete la estabilidad natural de los sedimentos.
- La duna existente es un sistema natural de protección que ayuda a disipar la energía del oleaje; sugerimos no olvidar darle mantenimiento.
- En la siguiente tabla se resumen los valores (en metros) delante de la duna, es decir, la altura de ola y la marea de tormenta generados por los diferentes huracanes; así también los valores puntuales del incremento del nivel del mar dentro de 20 años y 40 años. Es importante destacar que los valores a continuación presentados son valores aditivos, como se muestra en la última columna.

Transecto	Marea de huracán			Oleaje			Incremento del nivel del mar		Nivel del mar final (MareaCAT3+Oleaje+INM)	
	CAT1	**CAT3**	**CAT5**	**CAT1**	**CAT3**	**CAT5**	**20 años**	**40 años**	**20 años**	**40 años**
1	0.99	1.13	2.05	0.63	0.71	0.78	0.18	0.43	2.02	2.27
2	0.95	1.07	1.81	0.75	0.78	0.87	0.18	0.43	2.03	2.28
3	0.99	1.1	1.84	0.71	0.79	0.89	0.18	0.43	2.07	2.32
4	1.01	1.13	1.85	0.69	0.78	0.88	0.18	0.43	2.09	2.34

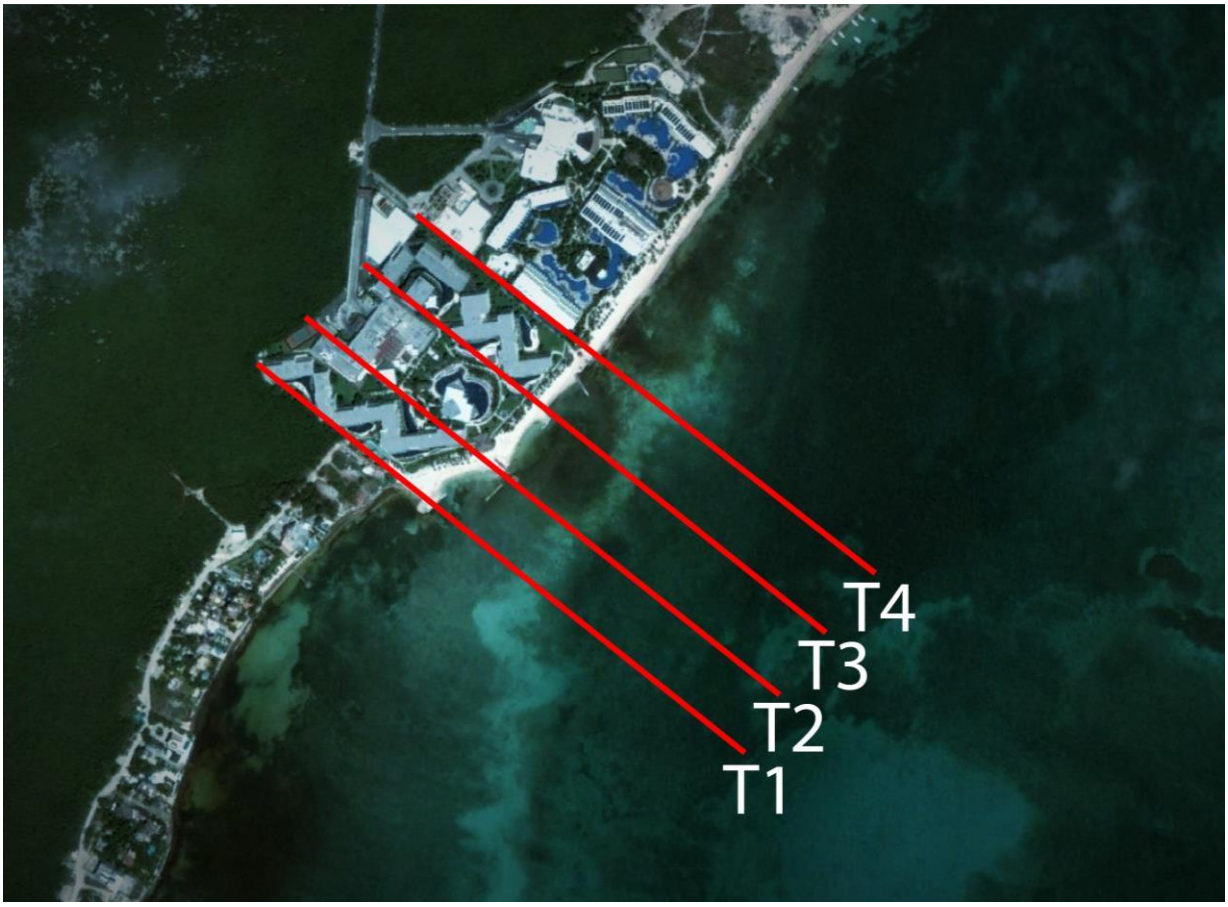


Figura 17. Localización y numeración de transectos.

9. Conclusiones y recomendaciones

En este trabajo se modelaron huracanes sintéticos para caracterizar las condiciones climáticas extremas de oleaje y marea de tormenta en el predio de Dreams Puerto Morelos. La base de datos de huracanes cubre un periodo de 169 años mientras que la base de datos de oleaje cubre solo 38 años, por lo que para periodos de retorno mayores a
50 años la estadística tiene cierto grado de incertidumbre. De los resultados modelados se concluye lo siguiente:

- El bajo relieve de la costa es un riesgo pues se permite que, en caso de huracán, el agua rebase la duna que separa el mar del predio.

- La erosión de playa es inminente. Si el mar sigue penetrando; si la intensidad y ocurrencia de eventos extremos incrementa y si no existe aporte sedimentario, el oleaje seguirá erosionando la costa. Por lo que se recomienda el reforzamiento de playa y duna, así como un programa de monitoreo y rehabilitación periódica.

- El software DELFT3D ha sido la herramienta ideal para evaluar los escenarios de marea y oleaje generados por huracanes de diferentes categorías y así como conocer los riesgos implícitos a ellos.

Dado que es imprescindible el desarrollo económico, se entiende que es necesario aprovechar la costa y se sugiere:

- Crear la duna.
- Sólo construir con palafitos en zonas inundables
- No construir “muros playeros”.
- Rehabilitar la dinámica de la costa.
- Cruzar la duna con andadores y puentes.

A continuación, se presenta una imagen de la recomendación a desarrollar donde el impacto es menor. Lo más aconsejable es construir zona de dunas y de ser posible rehabilitarlas con plantas nativas; darle altura de acuerdo con el perfil natural de la zona no erosionada y reforestarlas con la flora local.

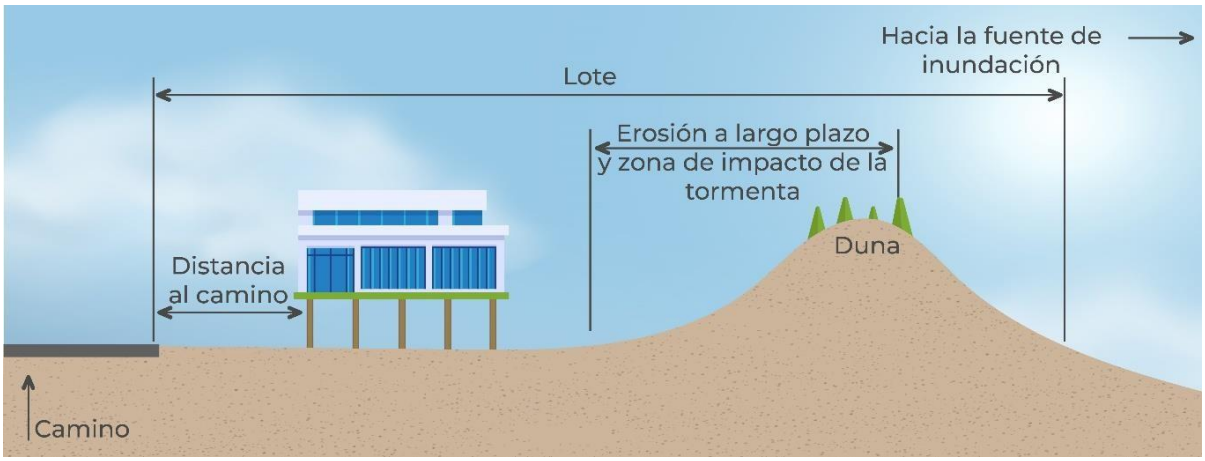


Figura 18. Diseño costero de ejemplo.

Si bien no es posible seguir todas las recomendaciones al pie de la letra, el seguir la mayor parte de ellas ayudará a reducir el número de daños (económicos y estructurales) así como a reducir problemas de erosión, intrusión del agua, pérdida de playa, inundaciones, entre otros.

10. Bibliografía

1. CICESE. (2013). Predictor de mareas MAR V. Ensenada, Baja California: http://predmar.cicese.mx/calendarios/.
2. INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Solidaridad, Quintana Roo. Solidaridad, Quintana Roo: INEGI.
3. Jensen, R. E. (1983). "Methodology for the Calculation of a Shallow-Water Wave Climate,". WIS Report 8, US Army Engineer Waterways Experiment Station.
4. Meehl Gerald A., W. W. (2005). How much global warming and sea level rise? science, vol. 307.
5. Meza-Padilla, J. (2015). Estimación de marea de tormenta y oleaje inducido por ciclones tropicales en mares mexicanes. Yucatán, México: Laboratorio de ingeniería y procesos costeros. Unidad Sisal, Yucatán.
6. NOAA. (2010). Wave Wacth III. http://csc-s mapsq.csc.noaa.gov/hurricanes/viewer.html.
7. Stewart, R. H. (2004). Introduction to physical oceanography. Texas.
8. Vatvani, D. (2012). Storm surge and wave simulations in the Gulf of Mexico using a consistent drag relation for atmospheric and storm surge models. Natural and hazards and earth system sciences.
9. Parra, Sabrina & Valle-Levinson, Arnoldo & Mariño-Tapia, Ismael & Enriquez, Cecilia. (2015). Salt intrusion at a submarine spring in a fringing reef lagoon. Journal of Geophysical Research: Oceans. 120. 10.1002/2014JC010459
10. Savenije, H. H. G., & Veling, E. J. M. (2005). Relation between tidal damping and wave celerity in estuaries. Journal of Geophysical Research, 110, C04007. https://doi.org/10.1029/2004JC002278
11. Van Rijn, L. C. (2011). Analytical and numerical analysis of tides and salinities in estuaries; Part I: Tidal wave propagation in convergent estuaries. Ocean Dynamics, 61(11), 1719– 1741. https://doi.org/10.1007/s10236-011-0453-0

Anexo 1: Tabla de eventos de tormenta

Huracán	Inicio		Final
UNNAMED	Oct 06, 1852	-	Oct 11, 1852
UNNAMED	Sep 24, 1857	-	Sep 30, 1857
UNNAMED	Oct 30, 1870	-	Nov 03, 1870
UNNAMED	Sep 26, 1873	-	Oct 10, 1873
UNNAMED	Sep 21, 1877	-	Oct 05, 1877
UNNAMED	Aug 04, 1880	-	Aug 14, 1880
UNNAMED	Oct 05, 1880	-	Oct 10, 1880
UNNAMED	Aug 16, 1881	-	Aug 21, 1881
UNNAMED	Jul 14, 1886	-	Jul 24, 1886
UNNAMED	Jul 20, 1887	-	Jul 28, 1887
UNNAMED	Sep 11, 1887	-	Sep 22, 1887
UNNAMED	Aug 31, 1888	-	Sep 08, 1888
UNNAMED	Aug 18, 1890	-	Aug 28, 1890
UNNAMED	Sep 27, 1893	-	Oct 05, 1893
UNNAMED	Jun 06, 1894	-	Jun 09, 1894
UNNAMED	Aug 22, 1895	-	Aug 30, 1895
UNNAMED	Sep 20, 1898	-	Sep 28, 1898
UNNAMED	Sep 11, 1900	-	Sep 15, 1900
UNNAMED	Aug 06, 1903	-	Aug 16, 1903
UNNAMED	Oct 08, 1906	-	Oct 23, 1906
UNNAMED	Aug 06, 1909	-	Aug 10, 1909
UNNAMED	Aug 20, 1909	-	Aug 28, 1909
UNNAMED	Oct 26, 1911	-	Nov 01, 1911
UNNAMED	Oct 11, 1912	-	Oct 18, 1912
UNNAMED	Jun 21, 1913	-	Jun 29, 1913
UNNAMED	Jun 28, 1916	-	Jul 10, 1916

Huracán	Inicio		Final
UNNAMED	Aug 18, 1944	-	Aug 23, 1944
UNNAMED	Sep 19, 1944	-	Sep 22, 1944
UNNAMED	Jun 20, 1945	-	Jul 04, 1945
CHARLIE	Aug 12, 1951	-	Aug 23, 1951
HOW	Sep 29, 1951	-	Oct 11, 1951
UNNAMED	Feb 02, 1952	-	Feb 05, 1952
HAZEL	Oct 07, 1953	-	Oct 16, 1953
CARLA	Sep 03, 1961	-	Sep 18, 1961
UNNAMED	Jun 03, 1964	-	Jun 11, 1964
DEBBIE	Sep 24, 1965	-	Sep 30, 1965
BEULAH	Sep 05, 1967	-	Sep 24, 1967
UNNAMED	Jun 12, 1969	-	Jun 15, 1969
ELLA	Sep 08, 1970	-	Sep 13, 1970
AGNES	Jun 14, 1972	-	Jun 23, 1972
BRENDA	Aug 18, 1973	-	Aug 22, 1973
DELIA	Sep 01, 1973	-	Sep 07, 1973
UNNAMED	Sep 06, 1973	-	Sep 12, 1973
UNNAMED	Sep 23, 1974	-	Sep 27, 1974
CAROLINE	Aug 24, 1975	-	Sep 01, 1975
ELOISE	Sep 13, 1975	-	Sep 24, 1975
UNNAMED	Nov 08, 1975	-	Nov 12, 1975
HENRI	Sep 15, 1979	-	Sep 24, 1979
ALBERTO	Jun 02, 1982	-	Jun 06, 1982
GILBERT	Sep 08, 1988	-	Sep 20, 1988
KEITH	Nov 17, 1988	-	Nov 26, 1988
UNNAMED	Sep 29, 1994	-	Sep 30, 1994

UNNAMED	Aug 12, 1916	-	Aug 20, 1916
UNNAMED	Nov 11, 1916	-	Nov 16, 1916
UNNAMED	Oct 11, 1922	-	Oct 22, 1922
UNNAMED	Sep 27, 1924	-	Oct 01, 1924
UNNAMED	Jun 24, 1931	-	Jun 28, 1931
UNNAMED	May 14, 1933	-	May 19, 1933
UNNAMED	Sep 16, 1933	-	Sep 25, 1933
UNNAMED	Aug 30, 1935	-	Sep 02, 1935
UNNAMED	Jun 12, 1936	-	Jun 17, 1936
UNNAMED	Aug 15, 1936	-	Aug 20, 1936
UNNAMED	Aug 23, 1938	-	Aug 29, 1938
UNNAMED	Jun 12, 1939	-	Jun 18, 1939
UNNAMED	Aug 17, 1942	-	Aug 23, 1942
UNNAMED	Aug 23, 1942	-	Sep 01, 1942
ROXANNE	Oct 07, 1995	-	Oct 21, 1995
GORDON	Sep 14, 2000	-	Sep 21, 2000
CLAUDETTE	Jul 07, 2003	-	Jul 17, 2003
EMILY	Jul 11, 2005	-	Jul 21, 2005
WILMA	Oct 15, 2005	-	Oct 26, 2005
OLGA	Dec 10, 2007	-	Dec 16, 2007
DOLLY	Jul 20, 2008	-	Jul 27, 2008
PAULA	Oct 11, 2010	-	Oct 15, 2010
RINA	Oct 22, 2011	-	Oct 29, 2011
KAREN	Oct 03, 2013	-	Oct 06, 2013
GAMMA	Oct 02, 2020	-	Oct 06, 2020
DELTA	Oct 04, 2020	-	Oct 11, 2020
ZETA	Oct 24, 2020	-	Oct 30, 2020
GRACE	Aug 13, 2021	-	Aug 21, 2021

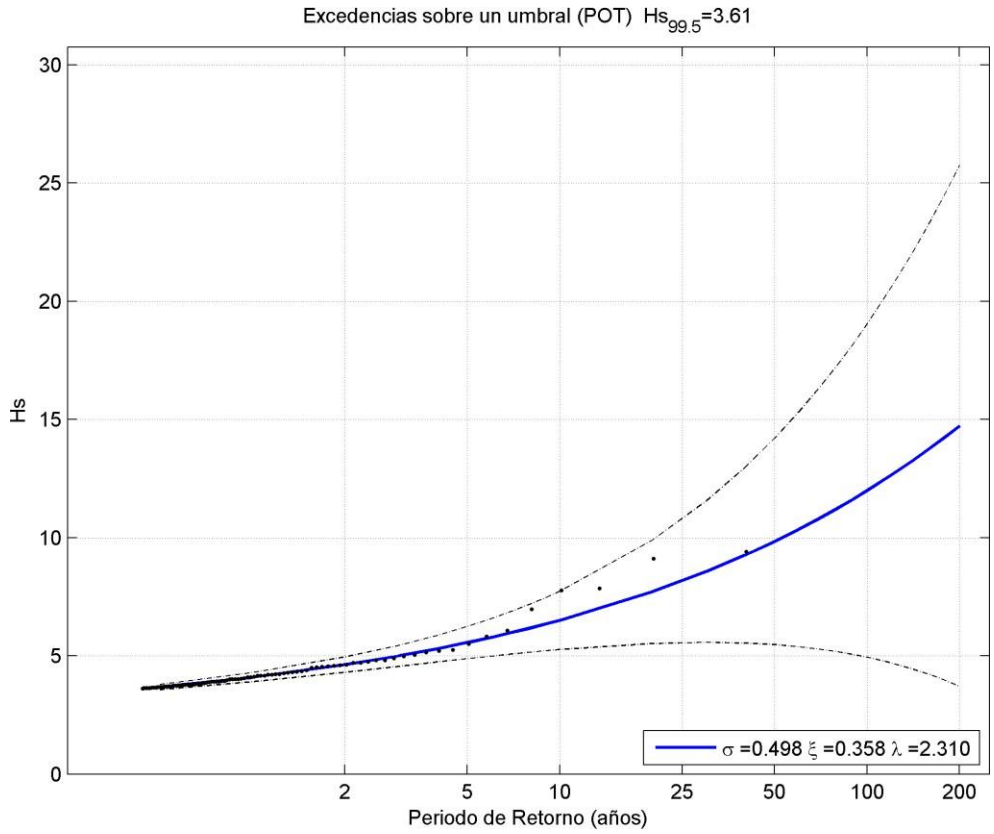
Anexo : Duna rehabilitada y pasos







Anexo 4: Análisis extremal mediante POT y tabla de periodos de retorno de huracanes



Periodo de retorno (años)	Oleaje mínimo (m)	Oleaje promedio (m)	Oleaje máximo (m)	Categoría de Huracán
25	2.9	5.7	8.5	CAT 1
50	2.9	7	11.2	CAT 3
100	2.9	7.9	12.8	CAT 5

Trabajo realizado por TECNOCEANO

M.C. Ernesto Gray Vallejo, ernesto@tecnoceano.com

Ing. Raúl López Minutti, raul@tecnoceano.com

www.tecnoceano.com

TECNOCEANO

Tecnoceano® —Líder en servicios de ingeniería, estudios marinos y proyectos costeros.

Tel. +52 (998) 884 7765 info@tecnoceano.com **tecnoceano.com**



Dreams Puerto Morelos

Reporte de estudios hidrográficos.



Cancún, Q. Roo

Índice

1. Introducción 4
2. Objetivo General 4
   2.1. Objetivos específicos de trabajo de campo 5
3. Metodología para la batimetría 5
   3.1. Datos Iniciales 6
   3.2. Información Geodésica 7
   3.3. Mareas 7
   3.4. Líneas auxiliares. 10
   3.5. Levantamiento batimétrico 10
4. Edición General de batimetría 13
   4.1. Carga de mareas 13
   4.2. Análisis de Lecturas Individuales. 14
   4.3. Obtención del archivo “SORT” (Depuración de datos) 15
   4.4. Modelo 3D, TIN MODEL 16
   4.5. Obtención de contornos o isobatas 17
5. Banco de Nivel, Topografía y Fotogrametría 18
   5.1. Banco de Nivel 18
   5.2. Levantamiento topográfico 19
   5.3. Post Proceso de datos de topografía 21
   5.4. Fotogrametría 22
6. Análisis de corrientes, oleaje y mareas con ADCP 24
   6.1. Resultados de Marea y Oleaje. 28
   6.2. Análisis de oleajes de ADCP y Mareómetros 32
7. Toma de muestras de sedimento y análisis de laboratorio de materiales. 37
   7.1. Granulometría, Densidad, D50 y velocidad de sedimentación de la arena 38
8. Comentarios y Resultados. 45
9. Precisión de equipos 46

Anexo 1. Equipo Usado 48

Anexo 2. Reporte de post proceso de banco de nivel..... 49
Anexo 3. Granulometrías. 50

1. Introducción

Con base en la petición del desarrollo Dreams Puerto Morelosen el municipio de Puerto Morelos de realizar estudios hidrográficos del frente de playa, se llevan a cabo los estudios hidrográficos de batimetría, topografía, fotogrametría. La información recabada se usará para conocer la dinámica costera actual. En los siguientes capítulos se describen dichos estudios, los cuales cumplen con las normas internacionales de levantamientos hidrográficos.

El predio se encuentra ubicado en el municipio de Puerto Morelos en el estado de Quintana Roo, presenta una playa con pequeña, con algunas zonas de roca expuesta, en general somera.

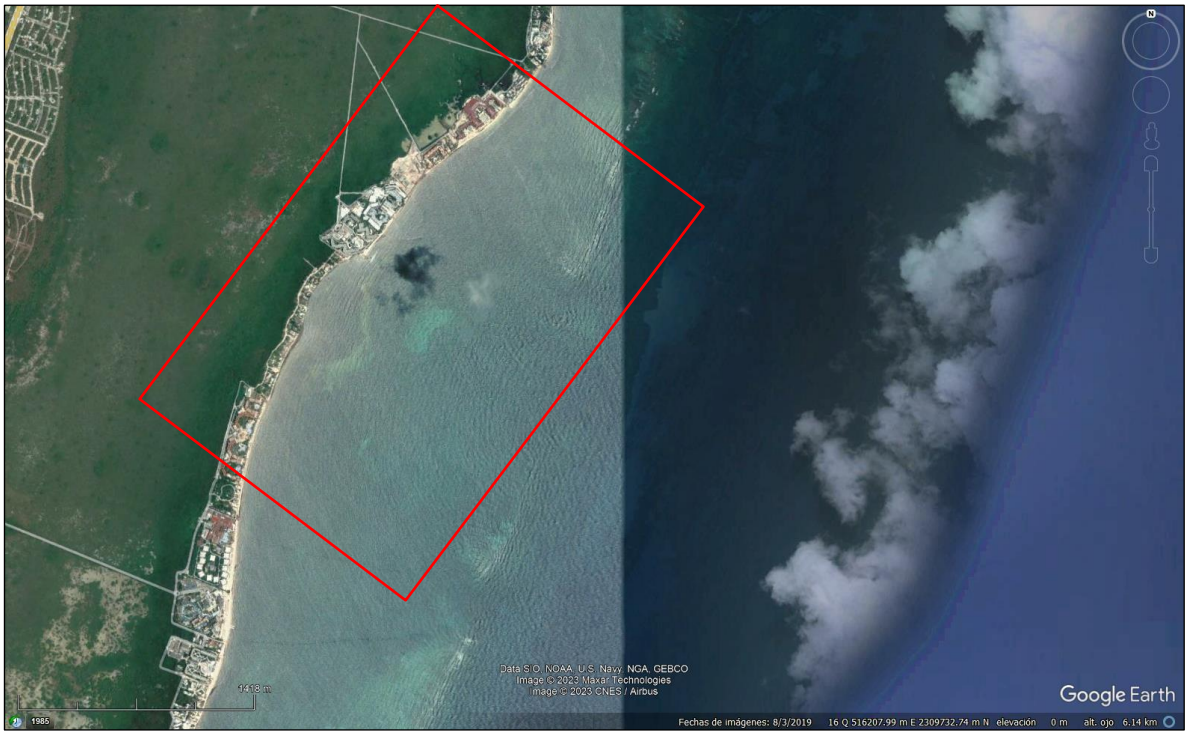


Figura 1. Imagen satelital de la zona de estudio.

2. Objetivo General

Obtener las características hidro-dinámicas del sitio para posteriormente diseñar un proyecto que permita la recuperación de la costa ante los efectos de la erosión del frente de costa del desarrollo.

2.1. Objetivos específicos de trabajo de campo.

A. Colocar un banco de nivel referido a Nivel Medio del Mar para control del proyecto.
B. Realizar un levantamiento topográfico a detalle de playa y de la parte somera del mar con líneas a cada 20 m en 250 m de frente.
C. Realizar un levantamiento topográfico general de la playa y de la parte somera del mar con líneas a cada 100 m a lo largo de 1 km al Norte y Sur partiendo del predio.
D. Un levantamiento batimétrico a detalle en una franja de 250 m de frente de costa por 500 m mar adentro con seccionamientos a cada 20 m.
E. A la par un levantamiento batimétrico general de 1 km al Norte y Sur con seccionamientos a cada 100 m y 4 km mar adentro.
F. Registro de mareas con sensor de presión durante los días del levantamiento
G. Caracterización de corrientes con Perfilador Acústico Doppler durante 28 días.
H. Análisis de sedimentos de playa mediante la toma de muestras y procesamiento en laboratorio de materiales.

3. Metodología para la batimetría.

El método consiste en realizar transectos sobre líneas planeadas, este procedimiento denominado levantamiento batimétrico; se auxilia de un programa de hidrografía (*Hypack 2022*®) cargado en una computadora portátil de uso rudo intemperizada conectada a un GPS Diferencial (Sistema de Posicionamiento Global), así mismo se conecta una ecosonda con un sensor introducido de 20 cm a 25 cm en el agua, el cual emite una onda sonora que posteriormente recibe el eco de la onda de sonido que produce al rebotar en el fondo.

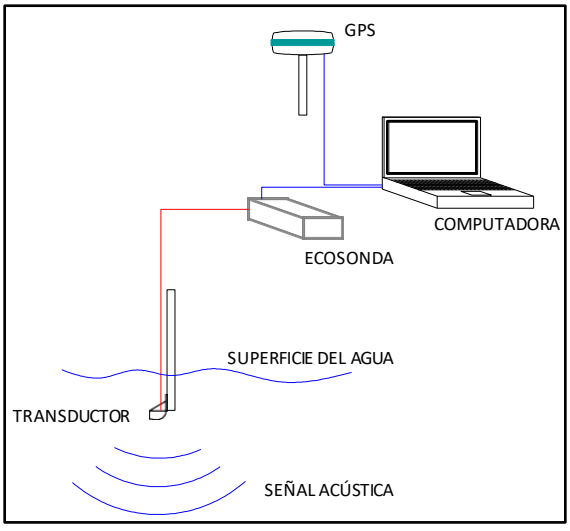


Figura 2. Diagrama de conexiones del equipo para levantamiento batimétrico.

Todo el equipo se monta en una embarcación de bajo calado capaz de navegar en aguas someras. La ecosonda mide la profundidad en un punto, y el GPS registra las coordenadas de dicho punto, de esta manera mientras la embarcación avanza se toman lecturas continuas de profundidad con sus respectivas coordenadas, generando una base de datos que puede ser interpretada en 2 o 3 dimensiones. La frecuencia de muestreo del software y equipo fue:

Tabla 1. Características de medición según el equipo.

Equipo	Frecuencia de muestreo
Software Hypack	60 Hz
Ecosonda Sonarmite	2 Hz
GPS A100	Variable, de 1 a 10 Hz

La batimetría se complementó con la medición de elevaciones a todo lo largo de la costa de estudio utilizando equipo RTK (Real Time Kinematic o Lectura en Tiempo Real). La información cruda (RAW) dentro del software se acumula cada vez que se encuentra un dato nuevo de cualquiera de los aparatos. Más detalles del equipo usado puede verse en el Anexo 1.

3.1. Datos Iniciales

Se carga las cartas marinas disponibles y fotografías satelitales calibradas del sitio, las cuales nos ayudan a ver detalles que puedan ser importantes para la modelación y estos se verifican durante el levantamiento en sitio. Posteriormente se trazan líneas perpendiculares a la costa de acuerdo con el plan de trabajo y al detalle requerido. Se identifican las zonas de arrecifes someros para evitarlas durante el levantamiento batimétrico.

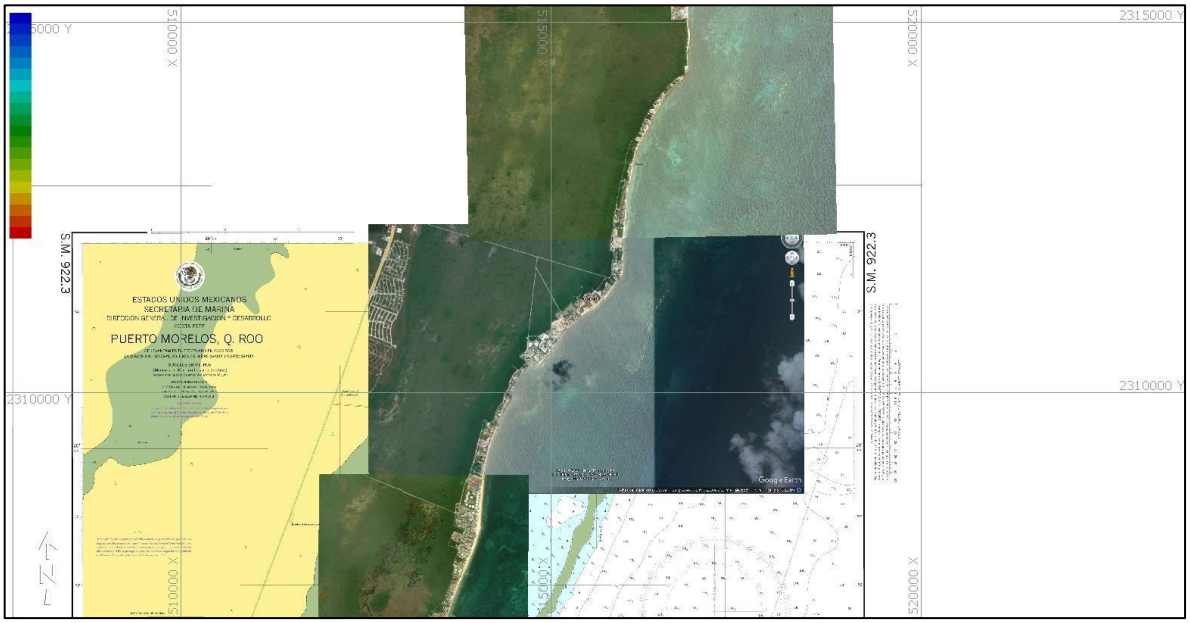


Figura 3. Imagen satelital calibrada y carta náutica.

3.2. Información Geodésica.

Se introdujeron los datos del geoide para la zona en estudio en el programa. El **Elipsoide** (Datum) y **Proyección** utilizados son los siguientes:

Tabla 2. Características geodésicas.

Zona	16 (90W-84W)
Elipsoide	WGS-84
Proyección	Mercator Transversal (UTM)

3.3. Mareas.

El comportamiento de la marea es muy importante para el levantamiento, la edición de los datos obtenidos y el procesamiento final de la información de profundidades ya que los datos finales serán referidos a **Nivel Medio del Mar.** Las mareas de cada día de levantamiento se deben tener para realizar la edición de los datos obtenidos en cada sesión de levantamiento; para esto se descargaron las tablas de marea, del CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada).

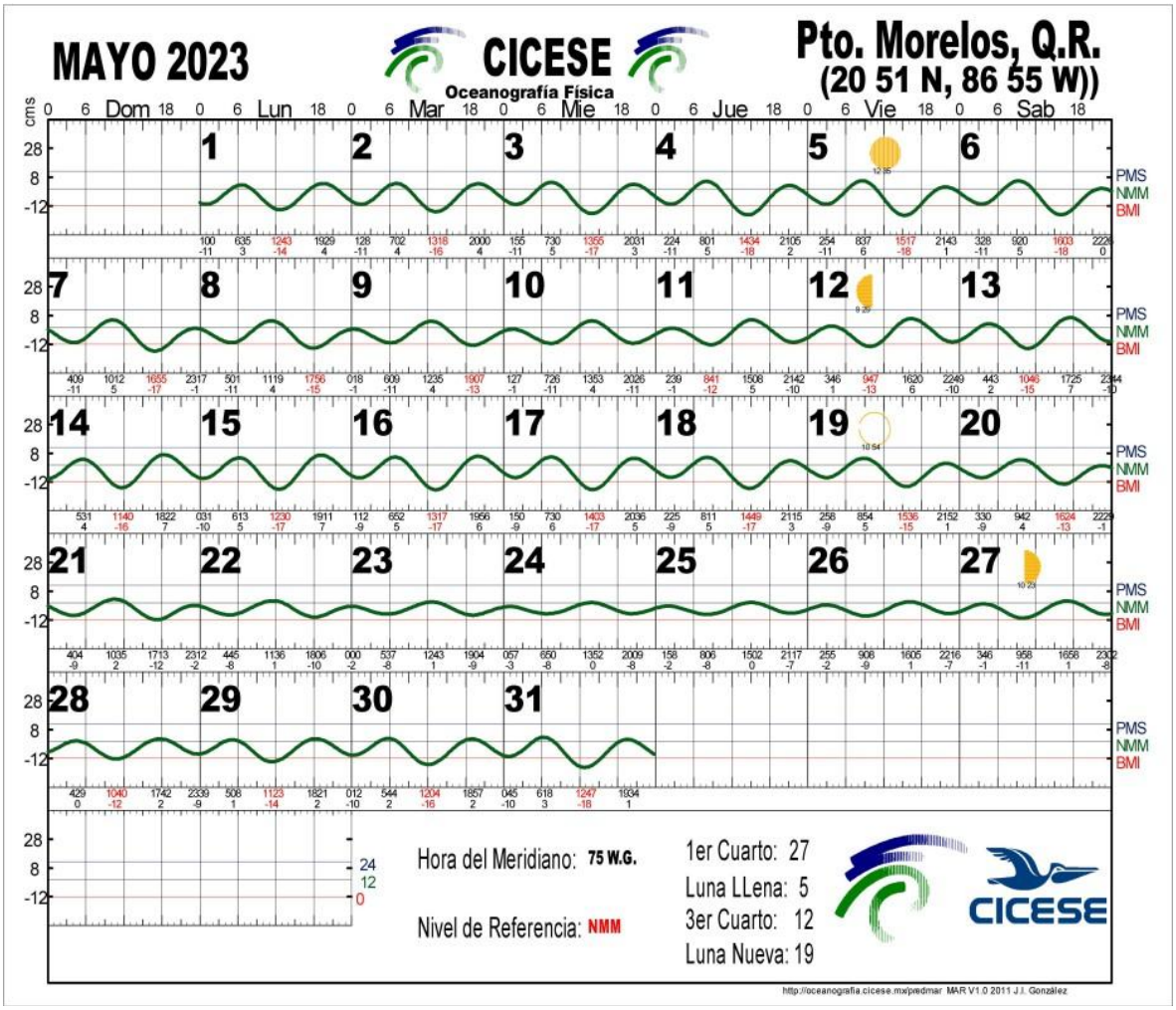


Figura 4. Calendario de Mareas para estación de mareas en Puerto Morelos, Q.R. Mayo 2023.

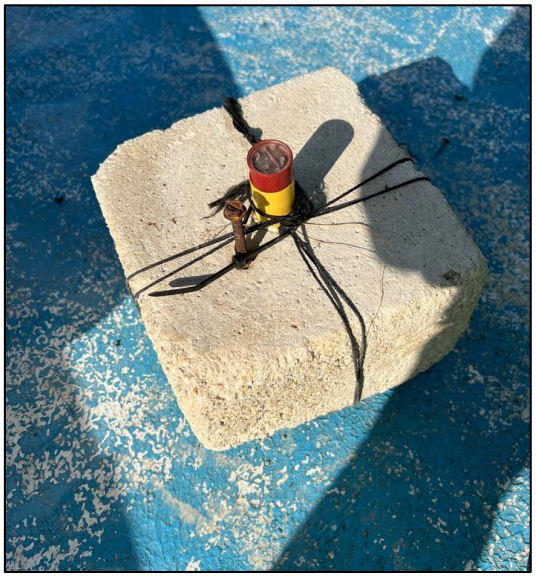


Figura 5. Sensor de mareas tipo RBR.

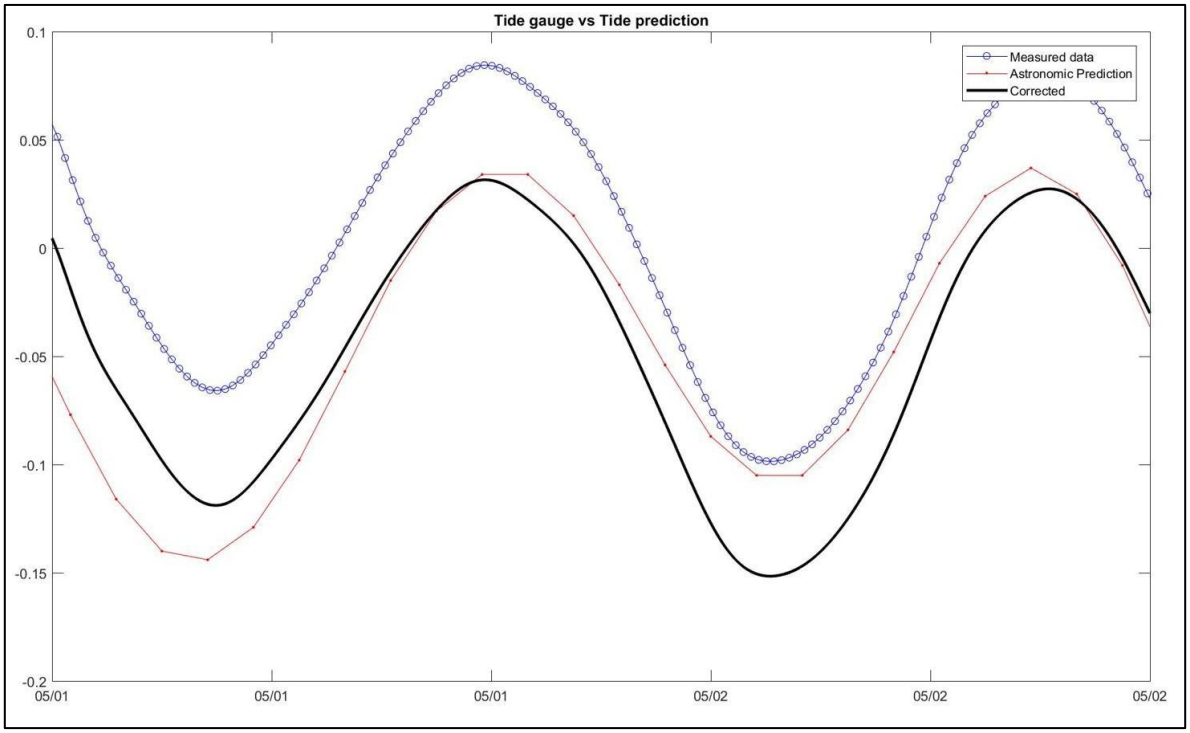


Figura 6. Lecturas de marea registradas en azul, predicción de mareas en rojo y corrección de mareas en negro.

3.4. Líneas auxiliares.

Se realiza el plan de levantamiento con base en los rasgos de interés sobre la imagen satelital, en donde para el levantamiento a detalle se trazaron líneas perpendiculares a la línea de costa tal como se describió en los objetivos a alcanzar. Los recorridos de la embarcación con sus lecturas originales se pueden ver en los archivos de AutoCAD en la capa “CVL_PUNTO”.

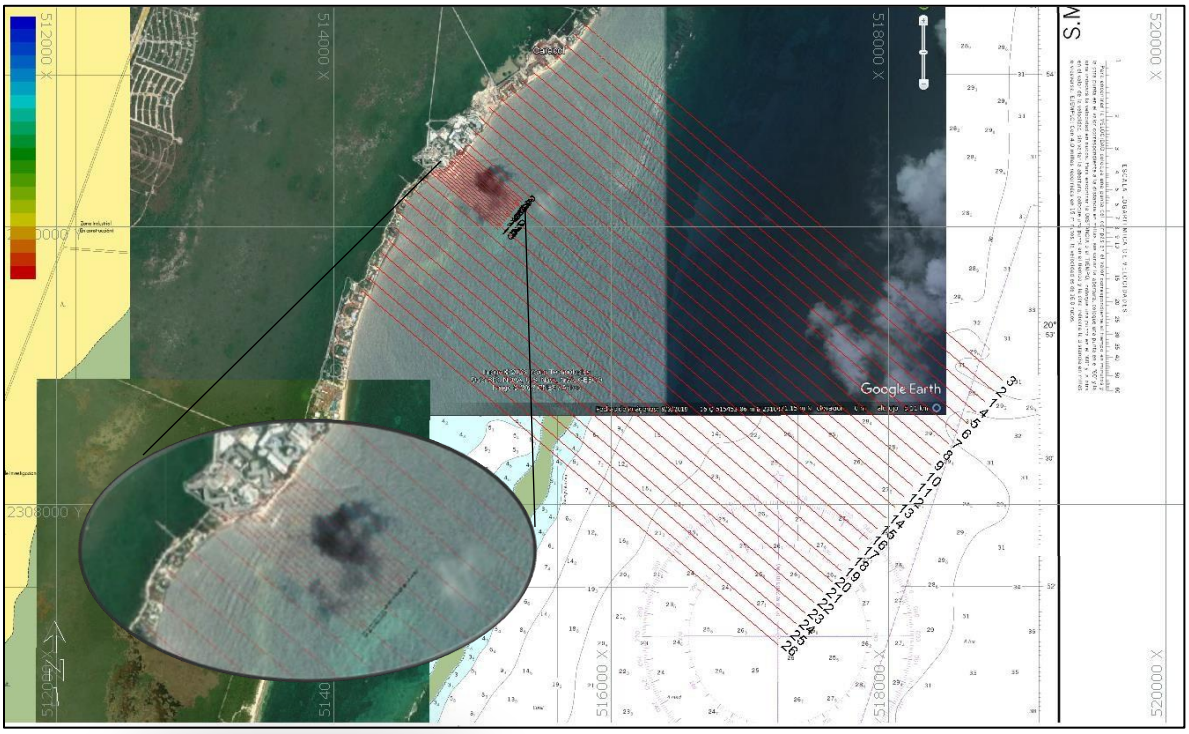


Figura 7. Figura de los recorridos a detalle y generales para el levantamiento batimétrico

3.5. Levantamiento batimétrico

Una vez cargada la información básica en el programa de hidrografía se monta el equipo en la lancha. Utilizando una cinta métrica y con un peso muerto se verifica que la profundidad leída sea la real (procedimiento conocido como “bar check”). A continuación, se inician los recorridos siguiendo las líneas planeadas.



Figura 8. Equipo utilizado durante la batimetría. GPS, Transductor y Computadora de uso rudo.



Figura 9. Izq. Lamina para calibración en sitio. Der. Trabajos de levantamiento batimétrico.

El levantamiento se realizó en una embarcación con las características ideales para aproximarse lo más posible a la orilla y tener datos que puedan ser ligados con el levantamiento topográfico en la costa. Es importante seleccionar un día con oleaje bajo para que poder navegar de forma segura.

A continuación, se muestran las lecturas recolectadas durante el levantamiento en color rojo, se procuró la toma lecturas lo más cercano a la línea de costa que fue posible de manera segura. La información somera permite que se pueda interpolar mejor con los datos de la topografía y generar un modelo lo más real posible.

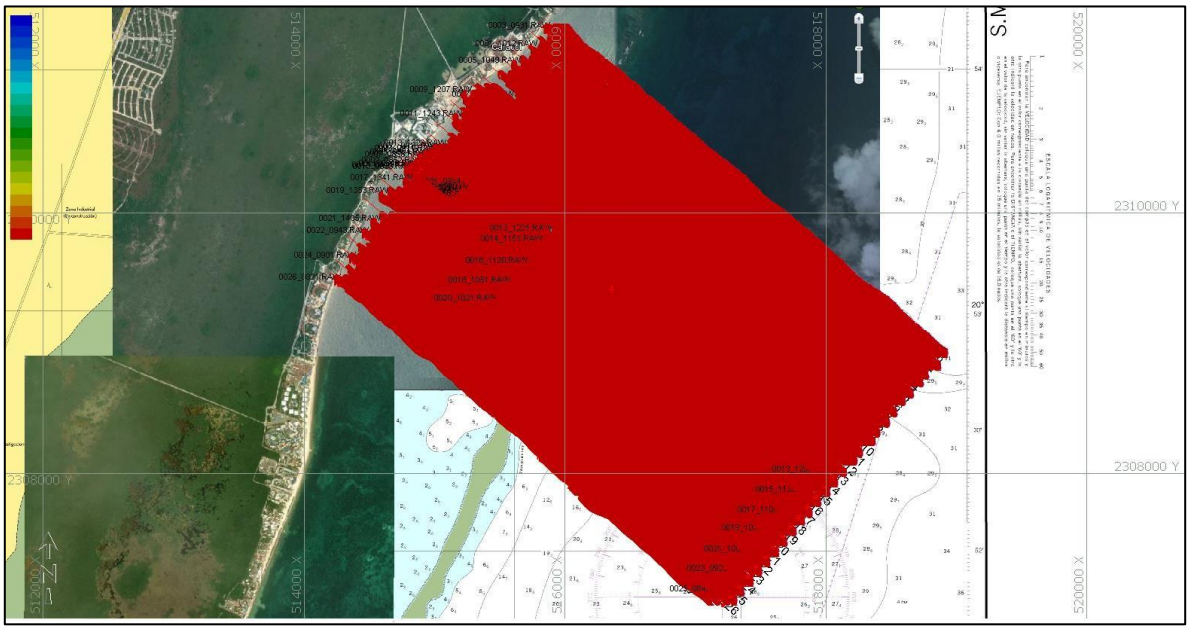


Figura 10. Lecturas crudas de batimetría.

4. Edición General de batimetría.

Una vez terminado el levantamiento, el siguiente paso corresponde al procesamiento de los datos; en estos se consideran las mareas registradas y su posterior referencia.

4.1. Carga de mareas.

Con el análisis de los datos del predictor de mareas del Departamento de Oceanografía Física del CICESE de la estación de Puerto Morelos, Q. Roo. y las lecturas de presión se analizaron mediante una rutina de MATLAB (Matrix Laboratory), de tal modo que se obtiene un archivo TDX o TID ajustado a **NIVEL MEDIO DEL MAR (NMM).**

Primeramente, se descargan los datos de mareas crudos obtenidos con el sensor de presión instalado en el mar frente al sitio de estudio durante el trabajo y se coteja con las lecturas de las estaciones de marea para previsualizar los datos.

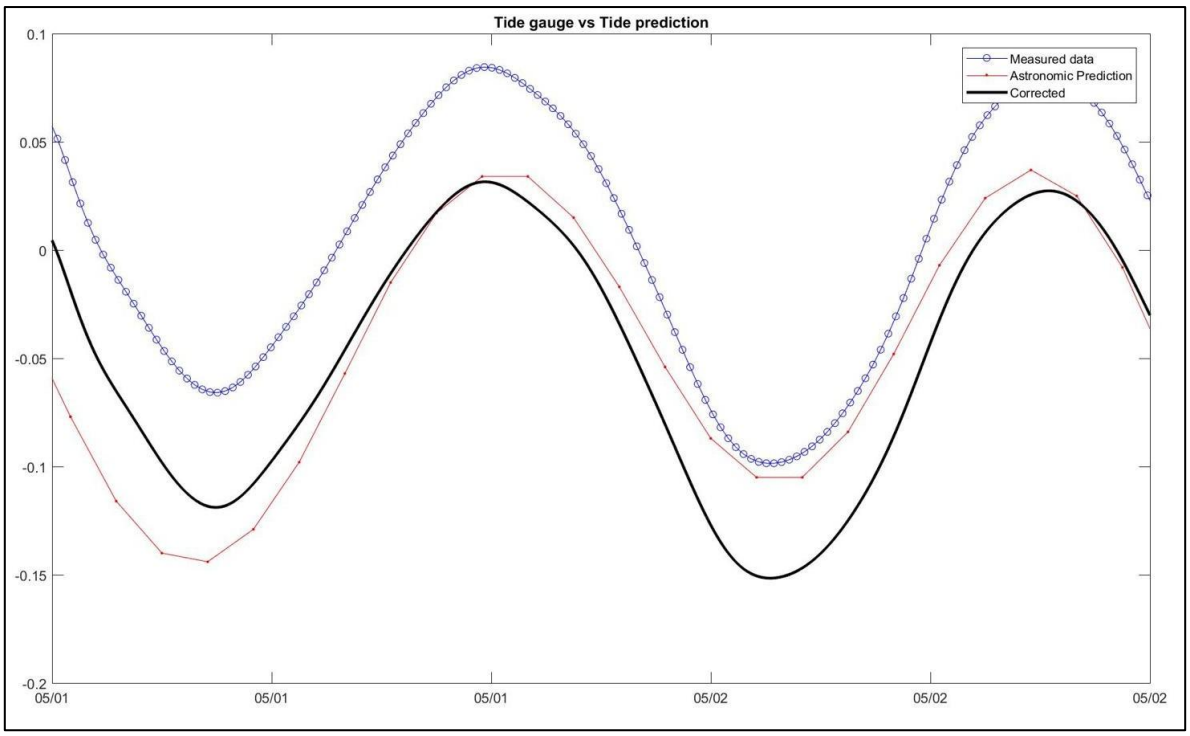


Figura 11. Gráfica del predictor de mareas para la estación de Puerto Morelos (en rojo) contra las lecturas obtenidas con el sensor de marea (en azul) y la curva para corrección de mareas calculada (en negro).

Como segundo paso se procede a calcular la mejor aproximación de mareas para generar con los datos un archivo TDX o TID de mareas para corregir durante el post proceso de datos de batimetría y así referir los datos a **Nivel Medio del Mar.**

Dentro del programa de hidrografía se crea un archivo de mareas con la fecha del levantamiento y finalmente se verifican que los resultados obtenidos para la corrección de mareas correspondan a la realidad graficando la serie de datos en el subprograma Manual Tides del Hypack para procesamiento de mareas.

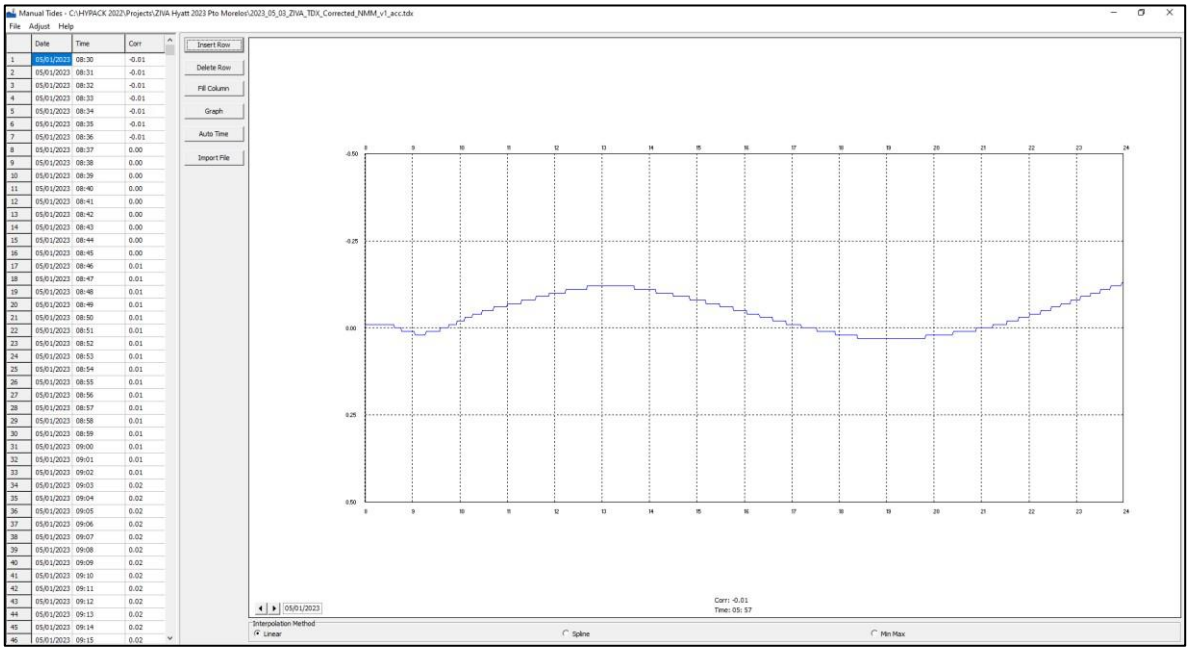


Figura 12. Archivo TDX/TID para corrección de levantamiento batimétrico a NMM.

4.2. Análisis de Lecturas Individuales.

Al desplegar la información recolectada en campo en el editor es posible verificar todas las desviaciones y aplicar las correcciones por mareas a cada uno de los archivos recolectados. Todos los datos se pueden visualizar en un plano de manera individual, así como los recorridos.

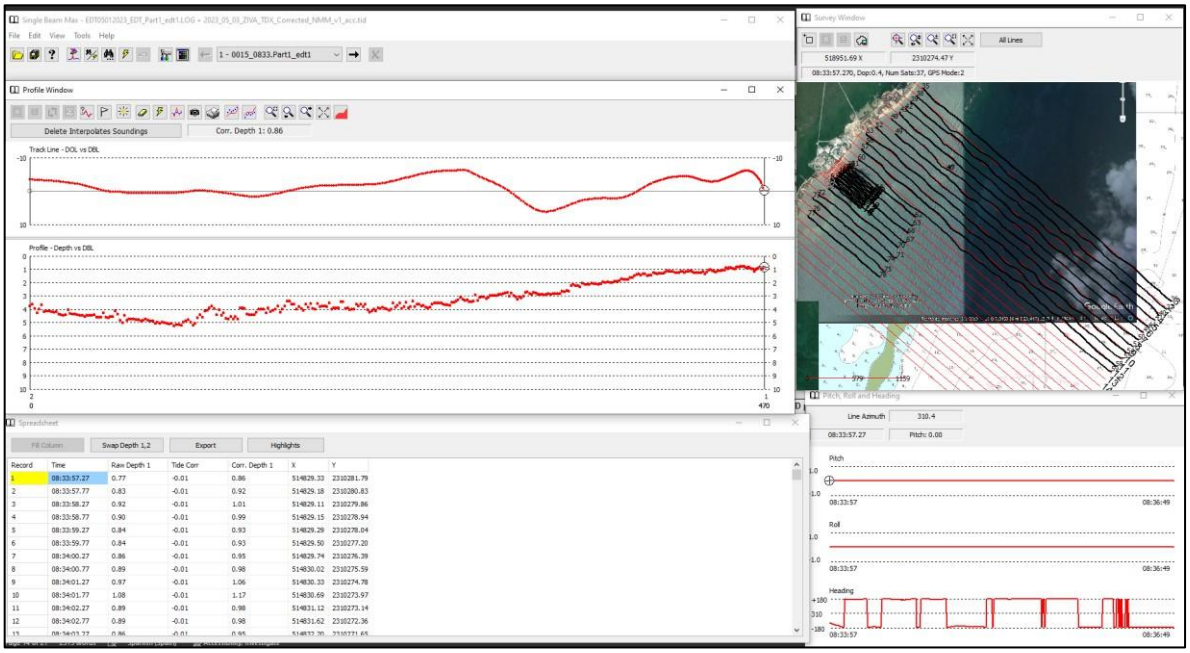


Figura 13. Ventana del editor de lecturas individuales.

4.3. Obtención del archivo “SORT” (Depuración de datos).

Una vez generado los archivos editados del área de estudio se puede obtener el Sort de esta zona; es decir, una depuración de datos, el proceso para obtenerlo consiste en indicar un radio de análisis al programa, el cual calcula las profundidades promedio en áreas pequeñas definidas por el radio establecido. Se obtiene un solo dato promedio de una serie de datos en áreas que en general son planas y no presentan cambios importantes de profundidad, así se simplifica el número de datos a procesar. El valor del radio se asigna de acuerdo con las condiciones en que se hizo el levantamiento, el tamaño del área de estudio y la experiencia del manejo del programa de tal manera que se puedan obtener todos los cambios geomorfológicos del fondo marino.

En las siguientes figuras se puede apreciar el Sort final del área de estudio. El resultado del Sort se puede ver en los archivos de AutoCAD dentro de la capa “soundings”, la cual se encuentra apagada al entregar los mismos o bien en el archivo XYZ de los puntos del proyecto.

Al archivo obtenido de batimetría se le añaden los datos de topografía recolectados durante el levantamiento topográfico, de esa forma es posible generar un modelo 3D de la zona de estudio.

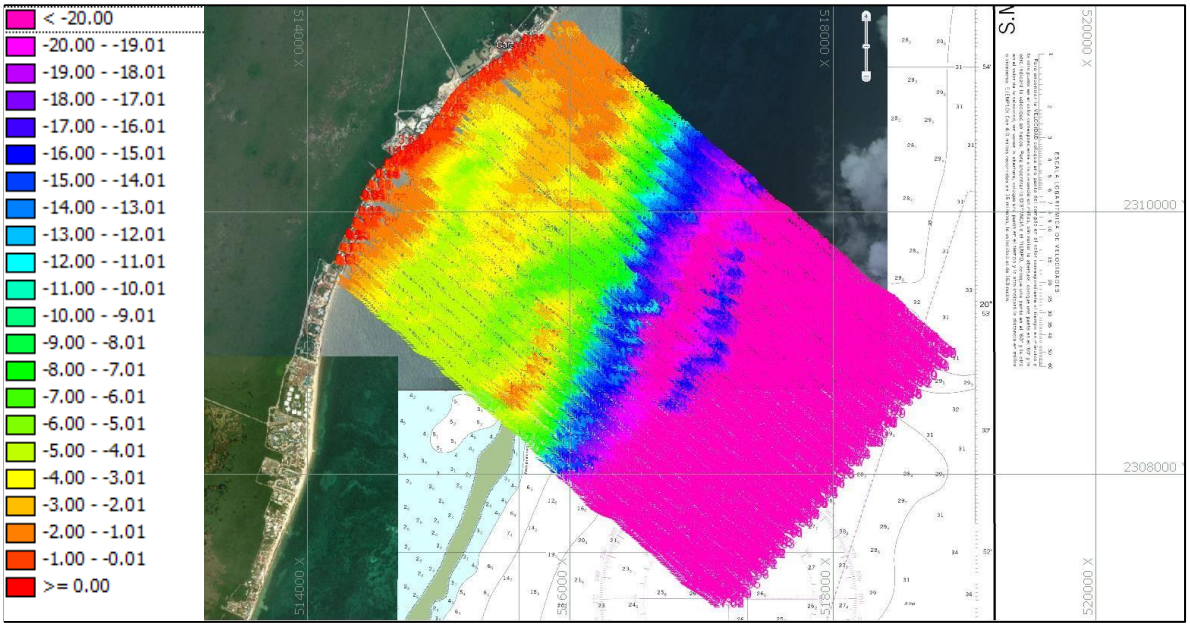


Figura 14. Archivo de depuración de datos XYZ (SORT).

4.4. Modelo 3D, TIN MODEL.

Usando el archivo XYZ del Sort en un subprograma del Hypack ® denominado TIN Model, permite la generación de un modelo en 3 dimensiones que modela los relieves y formas del fondo; en dado caso que exista alguna lectura que no corresponda a la realidad es posible regresar al editor de lecturas individuales y reprocesar la información.

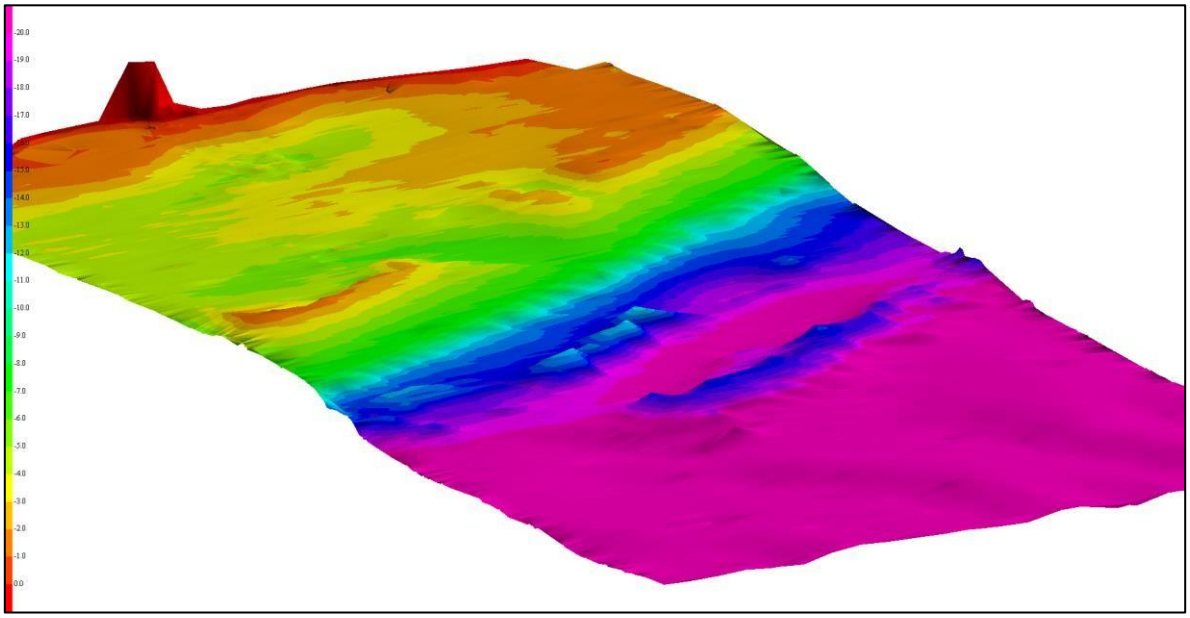


Figura 15. Modelo 3D. Todas las lecturas están exageradas 10 veces en el eje Z.

4.5. Obtención de contornos o isobatas.

Haciendo uso del archivo Sort y el modelo 3D se obtiene un archivo de contornos o isobatas, las cuales son las curvas batimétricas de igual profundidad y son ampliamente usadas en cartas marinas para navegación, también son común mente utilizadas para localizar áreas de desplante, cálculo de volúmenes de relleno para las recuperaciones de playa o construcciones marinas. Las curvas de nivel, contornos o isobatas se pueden visualizar en programas tipo CAD.

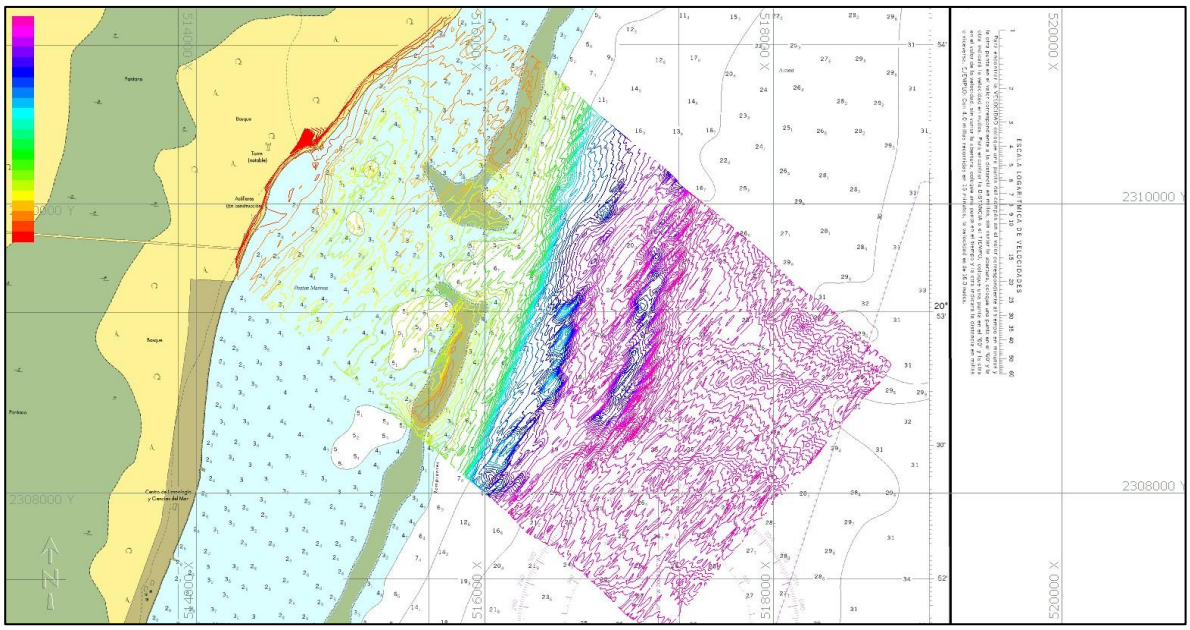


Figura 16. Contornos o Isobatas frente al desarrollo, Puerto Morelos.

5. Banco de Nivel, Topografía y Fotogrametría.

Se ejecutó el levantamiento topográfico haciendo uso de 2 GPS de alta precisión, los equipos usados fueron dos antenas GeoMax Serie ZGP800. Los parámetros utilizados durante el levantamiento fueron:

- **Sistema cartográfico:** UTM-16N
- **Proyección:** Transversal Mercator
- **Datum:** WGS84
- **Elipsoide:** WGS84
- **Geoide:** GGM-10
-

5.1. Banco de Nivel.

Se colocó un banco de nivel en el edificio 7 del hotel Dreams Puerto MorelosRiviera Cancún, este fue colocado con un clavo y una rondana con la leyenda “TECNOCEANO” y pegado con epóxico. Las coordenadas del banco se presentan en la **Error! Reference source not found.**1.



Figura 17. Banco de nivel físico instalado en el sitio.

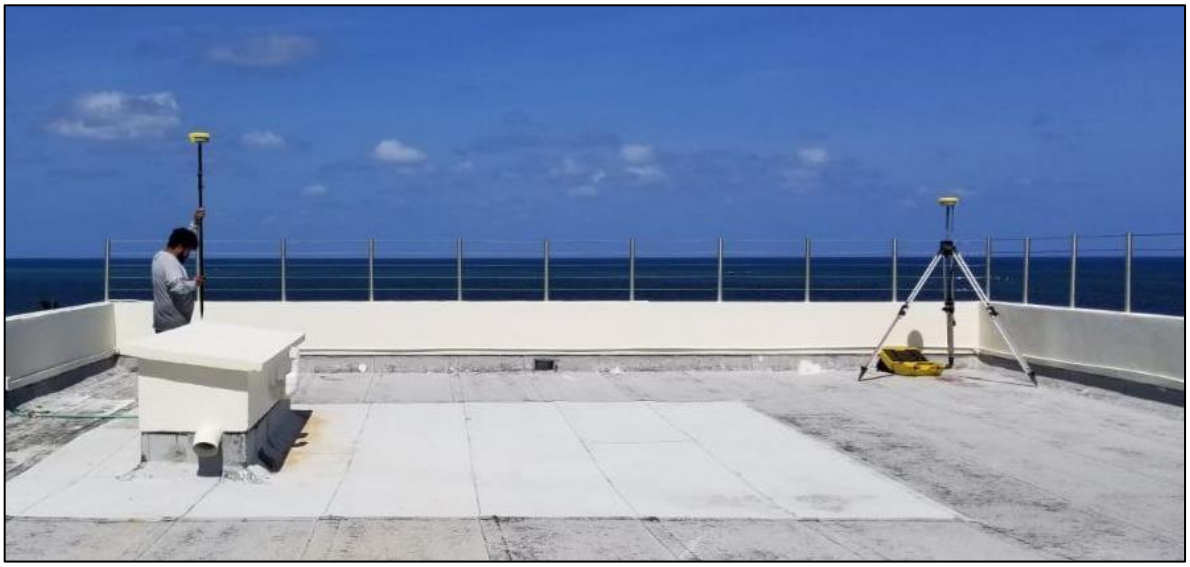


Figura 18. Equipo RTK colocado.

Para la obtención del banco de nivel, se dejó el equipo como mínimo 3 horas para realizar el post Proceso, este proceso se coteja con dos estaciones base de la Red Geodésica Nacional Activa del INEGI. Esto nos servirá para la obtención de las coordenadas “X” y “Y”, para el cálculo de la “Z” se tomaron medidas de marea para corregirlas con los resultados dados por el RBR colocado con anterioridad.

Tabla 3. Coordenada Banco de nivel.

NOMBRE DEL BANCO	COORDENADA X UTM	COORDENADA Y UTM	ELEVACION NMM
HZ Tec 1	514794.690	2310430.757	16.36

5.2. Levantamiento topográfico.

Finalizado el tiempo de recolección de datos se configura para el inicio del levantamiento topográfico. Con el uso de un GPS RTK móvil y las líneas del levantamiento cargadas en la computadora de mano se procede a recorrer todo el frente de playa que comprende el estudio.

Partiendo desde la parte alta de la duna o predio hasta algún limite físico que impida el paso hasta +- 0.50 m dentro del agua o hasta una profundidad segura y caminable, se obtienen los datos topográficos que posteriormente serán procesados y unidos a los datos de la batimetría.



Figura 19. Levantamiento topográfico



Figura 20. Levantamiento topográfico

En este levantamiento se realizaron secciones a cada 20 metros (detalle) sobre la costa para obtener información de la playa en el complejo, esto para saber el comportamiento de esta, al mismo tiempo se realizó el levantamiento con secciones a cada 100 metros (generales) para complemento del levantamiento a detalle.

La topografía se complementó con fotogrametría, esto servirá para ver más detalle la costa.

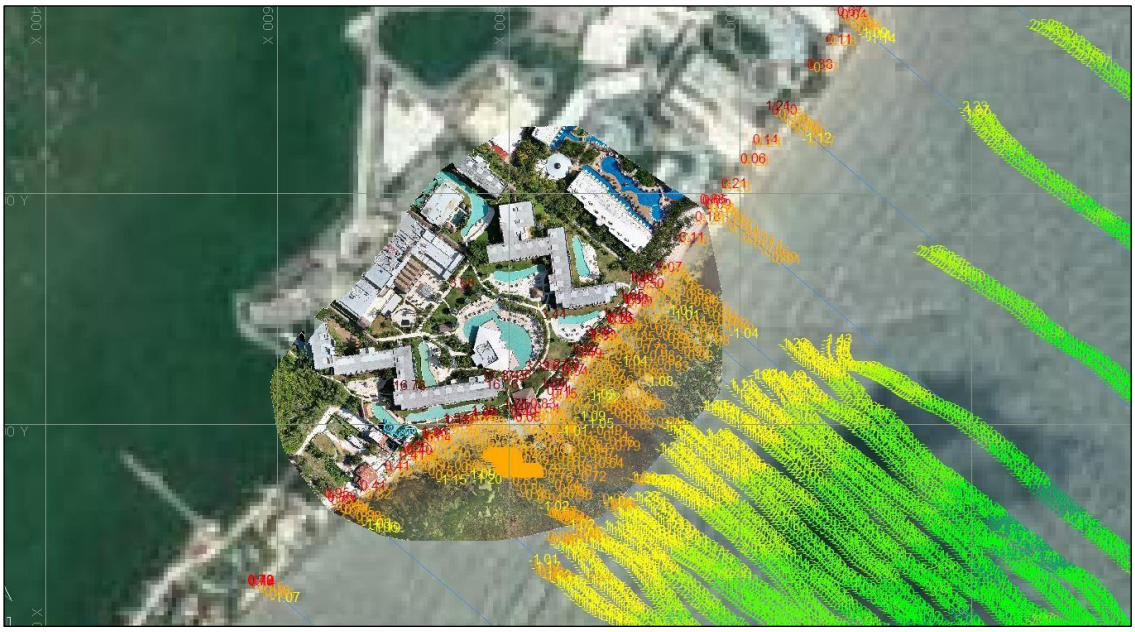


Figura 21. Secciones a detalle en el predio de Dreams Puerto MorelosRiviera Cancún.

5.3. Post Proceso de datos de topografía.

Una vez finalizado el levantamiento se procedió a procesar la información obtenida por el GPS para el banco de nivel, mareas y de la topografía respectivamente.

La información del Banco de nivel se ligó con la estación RGNA del INEGI situada en Mérida Yucatán. Dicho proceso calculó una coordenada resultante del periodo de lectura.

Toda la información obtenida pasa por una rutina de MatLAB que calcula y refiere las lecturas de marea a un nivel especificado, **para el presente estudio la información fue referida a Nivel Medio del Mar.** El programa calcula los datos y genera un archivo de mareas corregido que posteriormente se utiliza para realizar los cálculos del banco de nivel y para referir la topobarimetria a un mismo nivel de referencia.

Con el archivo de corrección de mareas se procede a analizar las lecturas obtenidas con el GPS RTK móvil para corrección y referenciación del Banco de Nivel un nivel del mar real.

5.4. Fotogrametría.

Se realizó un levantamiento con Drone para obtener una orto-foto que ayude a visualizar el proyecto a detalle y actual, detectar arrecifes, rasgos geomorfológicos importantes o áreas de posible conflicto. Para el levantamiento se utilizó un Drone DJI Air 2S el cual permite tomar fotografías aéreas con un ángulo perpendicular al terreno a una altura de 100 m continuamente, el dispositivo cuenta con un GPS propio el cual optimiza los trabajos para la realización de la fotogrametría, además de una cámara de 20 megapixeles, sensor 1” CMSOS con un tamaño de píxel de 2.4 µm.
Dentro del software del Drone se programaron las misiones en donde el dispositivo sigue las líneas planeadas para el levantamiento del área de estudio, en total se realizó 1 misión de vuelo para cubrir la toda la costa del estudio.

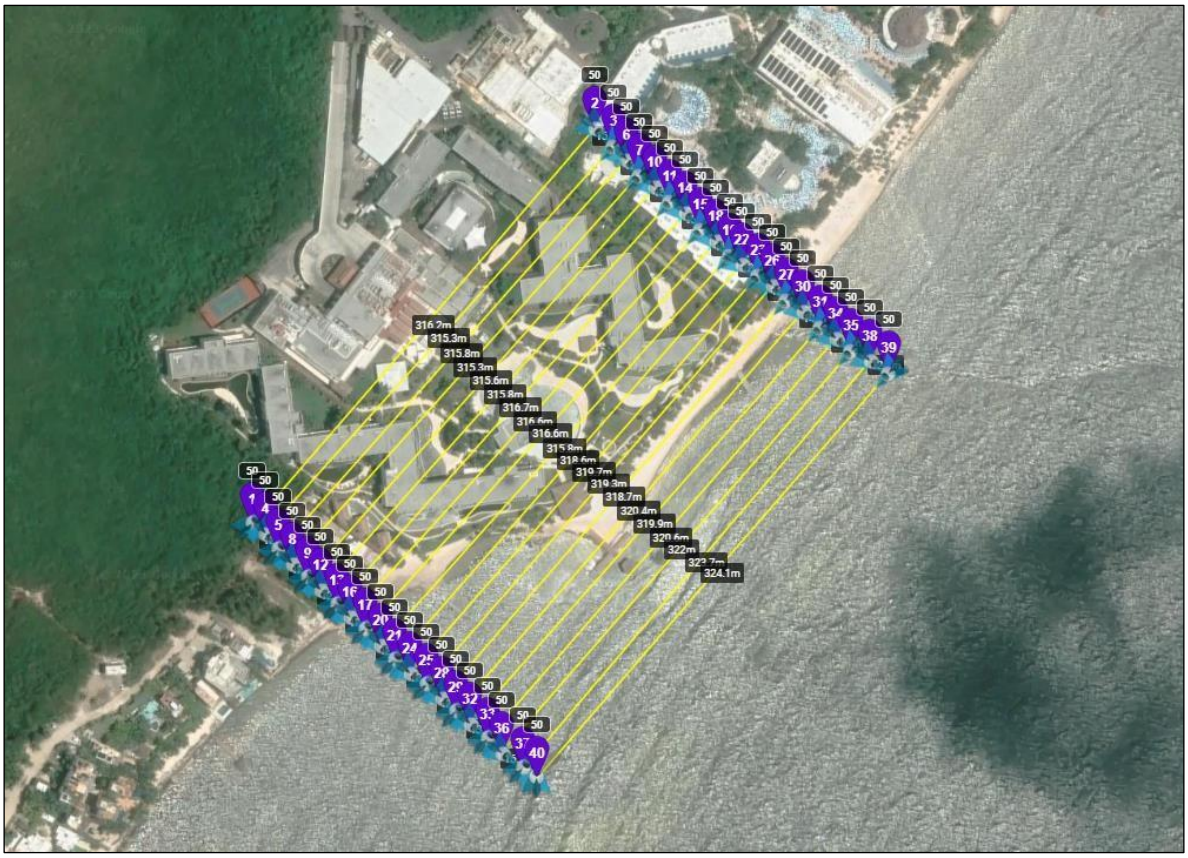


Figura 22. Misión 1

Una vez terminadas las misiones y obtenidas todas las imágenes se procede con el post proceso de los datos, para este trabajo se utiliza la herramienta Pix4D, que es un programa que mediante procesamiento de imagen calibra cada una de las fotografías aéreas generando un mosaico, con sus coordenadas de Latitud, Longitud y Elevación. El objetivo de contar con su información de localización es que el programa cuente con los datos suficientes para georreferenciar la fotogrametría.

El primer paso que realizar consiste en crear una nube de puntos del terreno, el programa toma distintas fotografías de un mismo patrón o punto y las interpola, el proceso se realiza fotografía por fotografía con todos los puntos que localice. Después comienza con la realización de un mosaico (Orto-Foto) que ya es la combinación de la nube de puntos para crear la imagen georreferenciada.

Una vez finalizado el procesamiento, se obtiene una imagen en diferentes formatos que puede ser utilizada en programas de posicionamiento, hidrografía o tipo CAD, donde claramente se pueden visualizar rasgos mejor que en imágenes satelitales de uso libre y con una precisión real para todo tipo de proyectos por la calibración con puntos de control topográficos.

.

6. Análisis de corrientes, oleaje y mareas con ADCP.

El ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) es capaz de medir corrientes en toda la columna de agua, además oleaje (altura, dirección, periodos y marea). El perfilador de corrientes basa su funcionamiento en el efecto Doppler, el cual consiste en emitir una onda acústica y recibir el eco que producen los elementos de la columna a de agua (plancton, sedimentos, burbujas, etc.), el perfilador cuenta con 5 ecosondas inclinadas una de la otra por un pequeño ángulo, de tal manera que las partícula que lee una ecosonda son captadas por la siguiente ecosonda unas milésimas de segundo después, esto permite conocer la velocidad y dirección de las partículas que viajan por debajo del perfilador (o por encima de él si se coloca en el fondo con las ecosondas apuntando hacia arriba) y cuyo flujo es perpendicular al abanico de lectura.

El perfilador Doppler se programa para emitir señales que reboten a media agua y señales que rebotan en la superficie, los ecos que proveen estas señales al regresar son usados para hacer un “ensamble” y determinar la corriente en cada celda de la “columna de agua” analizada, es decir, cada celda de agua por encima del perfilador puede tener 1, 1.5 o 2 m (según la configuración que se haga) y en esa celda se calcula una velocidad local de la corriente. Normalmente la corriente tiene menor intensidad cerca del fondo debido a la fricción con el mismo, rocas y formaciones crean obstáculos para el flujo de agua. A profundidades intermedias la corriente tiene mayor intensidad debido a que existe menor fricción con el fondo marino y finalmente, en la superficie la corriente tiene la mayor velocidad ya que está completamente libre de fricciones, esta distribución de velocidades o “perfil de velocidades” es arrojado por el perfilador Doppler.

Como primera parte de los estudios hidrográficos se instaló un perfilador acústico de corrientes Sentinel V50 Teledyne de 5 sensores de forma estática para el periodo tiempo que comprende del 23 de Junio al 09 de Agosto del 2023, en total 44 días.



Figura 24. Ubicación de ADCP.

X	Y
516,348	2,308,305

Siguiendo la metodología para la medición de forma estática se instaló el equipo ADCP en el fondo marino a una profundidad aproximada de 18 m, es decir; con apoyo de una estructura de acero inoxidable y múltiples lastres el equipo se instaló en fondo. Dicha metodología permite la recolección de datos durante 44 días en intervalos de 1 hora para corrientes y mareas, y 20 minutos para oleaje respectivamente durante cada día de levantamiento.

Todo el equipo es calibrado y configurado en sitio de tal manera que las condiciones físicas existentes puedan ser confirmadas y programadas previo a la medición.



Figura 25. Programación y calibración de equipo ADCP.

Una vez recuperado el equipo, se procede a extraer el equipo todos los datos colectados y se pasa al análisis y post proceso de información.



Figura 26. Izq. ADCP Colocado. Der. ADCP Retirado.

Al paso de 44 días con apoyo de equipo de buceo y un GPS de alta precisión se recupera el equipo ADCP. Los datos del perfil se visualizan en el software Velocity ® en donde se realiza un primer procesamiento de datos para la visualización de los datos crudos de las velocidades de la corriente en la columna de agua y el oleaje registrado durante el levantamiento. muestra todas las ventanas que se pueden visualizar con los datos correspondientes a Altura de Oleaje (Hs), Periodo (T), Dirección de la corriente (°), Velocidad de la Corriente (m/s) entre otros datos que alimentan y calibran el modelo.

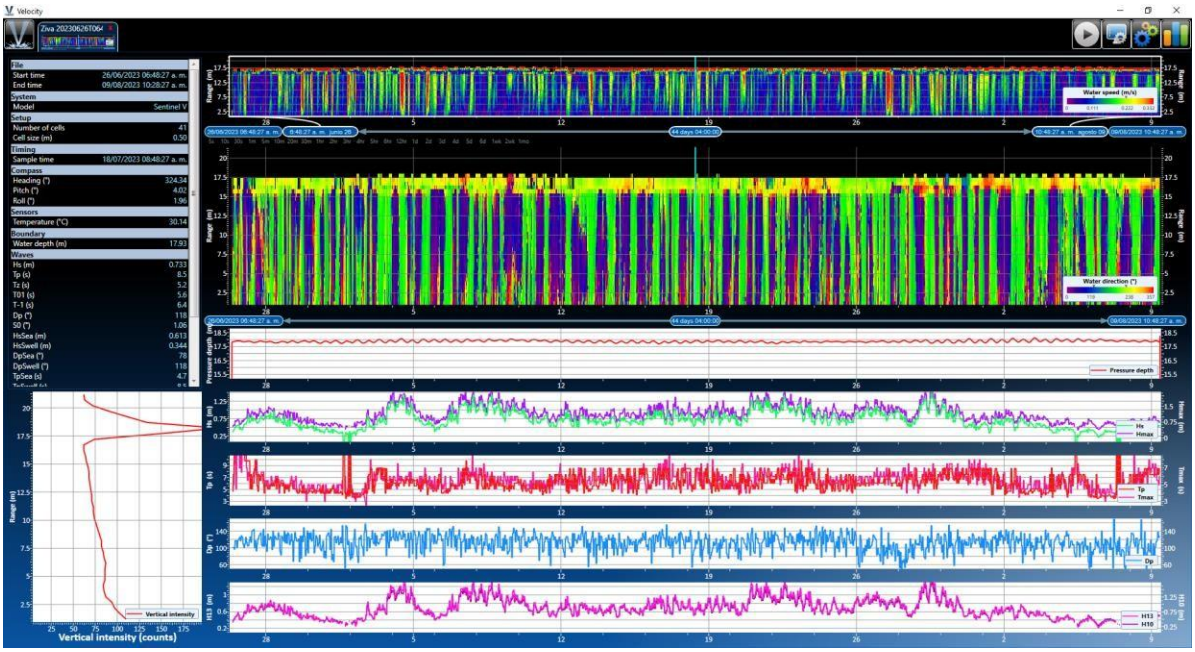


Figura 27. Interfaz del Velocity.

Finalmente, con apoyo de una rutina programada de MatLab (Matrix Laboratory) se procesan los datos y se generan las gráficas entregables de los resultados a partir las lecturas obtenidas durante el periodo de estudio.

Adicionalmente se realizó un arreglo de sensores en el área de estudio, en la cual se colocaron tres sensores de marea capaces de recolectar datos de altura de ola, con el objetivo de poder conocer la evolución del olaje desde mar abierto hasta la costa.

La ubicación de los sensores fue determinada en conjunto entre el equipo Tecnoceano e Investigadores de la UNAM, el objetivo es conocer las características del oleaje en mar abierto el cual sería registrado por el ADCP, en seguida los datos registrados en la parte frontal del arrecife (área que recibe el oleaje), nuevamente los datos registrados en la parte posterior al arrecife (área protegida) una vez que la ola ha pasado por el arrecife y finalmente se colocó un sensor más frente al área de estudio en el desarrollo. De esa manera es posible conocer la evolución de la ola.

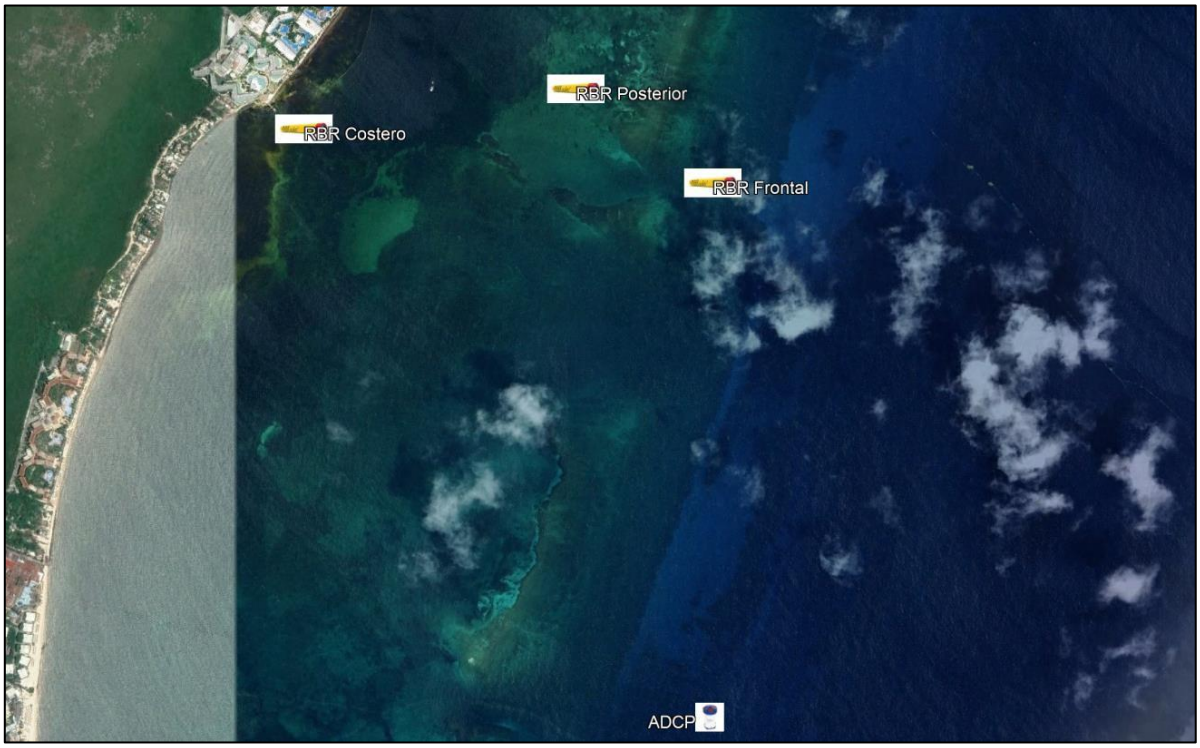


Figura 28. Arreglo de sensores para medición en el área de proyecto Hyatt Ziva.

Tabla 4. Coordenadas UTM de la localización de los sensores en Hyatt Ziva.

ID	Coord. X	Coord. Y
ADCP	516,348	2,308,305
RBR Costero	514,951	2,310,313
RBR Posterior Arrecife	515,886	2,310,451
RBR Frontal Arrecife	516,357	2,310,130

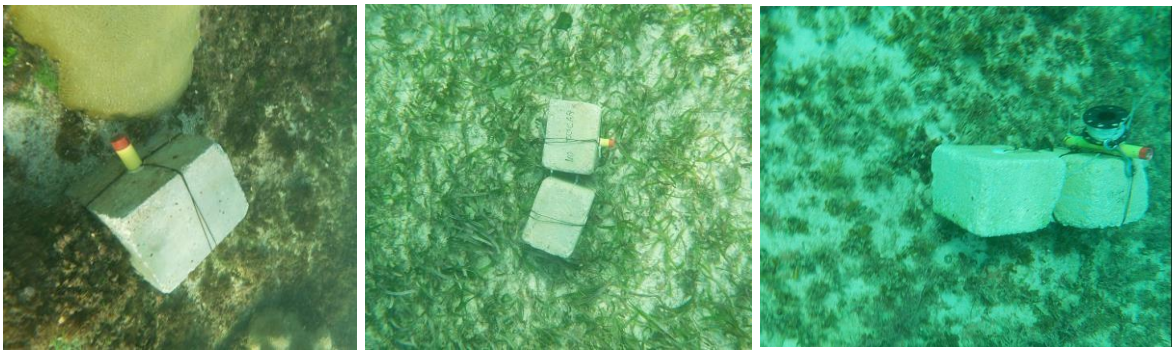


Figura 29. Izq. RBR Costero. Central. RBR Posterior al Arrecife. Der. Frontal al Arrecife.

6.1. Resultados de Marea y Oleaje.

Los equipos ADCP según sea su capacidad pueden registras distintos tipos de olas que facilitan la caracterización del sitio bastante precisa. El presente reporte incluye los resultados obtenidos por los sensores de marea y el ADCP; con el fin de conocer las características del oleaje.

Las mareas son el resultado de la atracción gravitacional ejercida en el océano por el Sol y la Luna. Para el caso de estudio la amplitud de las mareas es importante dado los cambios que ocurren cercanos a la costa.

Como es posible visualizar en la **Figura 30** los rangos de marea están referidos a Nivel Medio del Mar (NMM), rondan +0.27 m a -0.24 m respectivamente para el periodo de estudio.

Conocer el rango de mareas es importante porque controla la elevación sobre la cual las olas y las corrientes son efectivas para dar forma a las costa, y junto con la pendiente de una línea de costa. Conocer el rango de marea determina el área entre las mareas alta y baja respectivamente (Summerfiled, 1991).

El siguiente parámetro registrado corresponde a las corrientes. Los equipos ADCP de “Haz Múltiple” registran la información en la columna de agua en diferentes direcciones detectando así las componentes de la velocidad; es decir a donde apunten los haces del dispositivo permitirán el registro de las componentes al Norte, Sur, Este y Oeste. Por lo tanto, como se aprecia en las **Figura 31** y **Figura 32** en promedio las corrientes registradas fueron entre 0 m/s y 0.6 m/s en componentes principalmente de Suroeste y Noroeste.

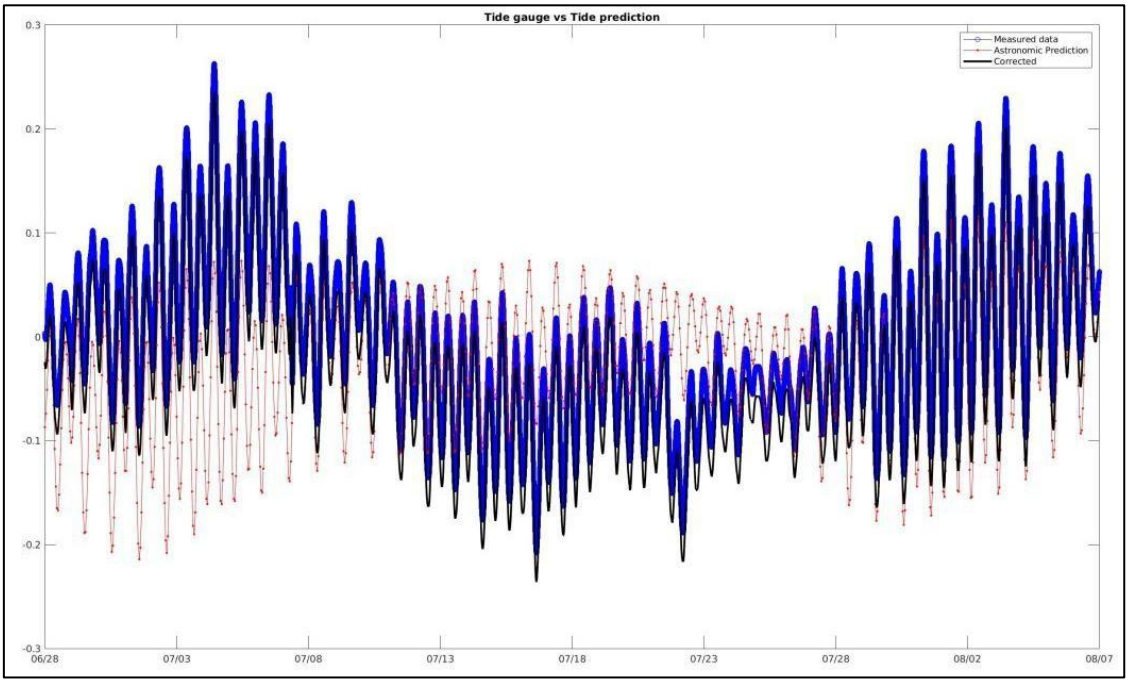


Figura 30. Carrera de mareas registrada por sensor cercano a la costa de Julio a Agosto del 2023.

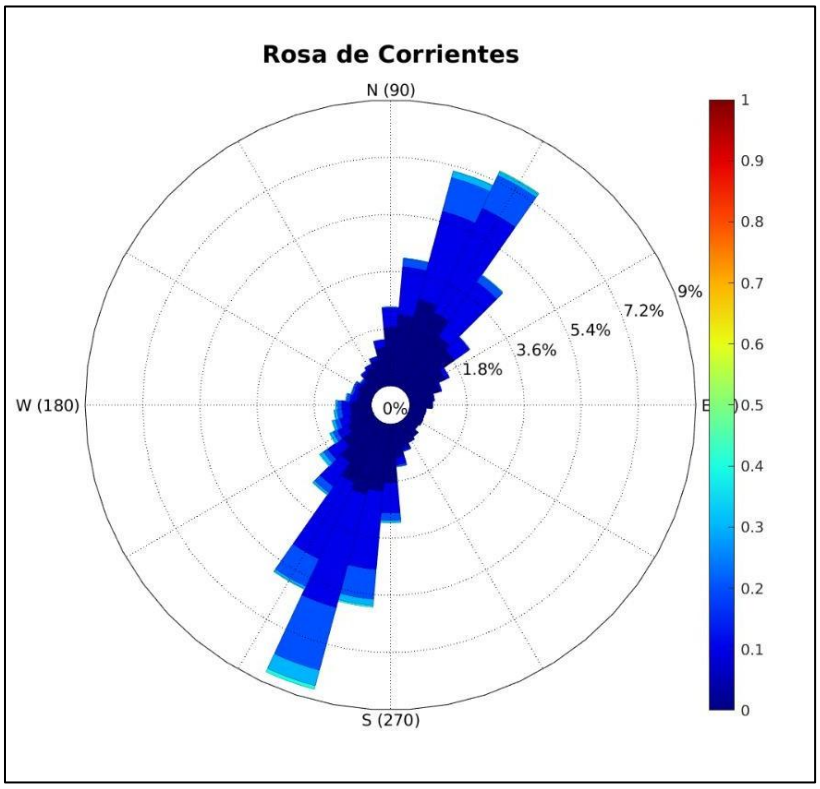


Figura 31. Rosa de Corrientes para el Proyecto Hyatt Ziva.

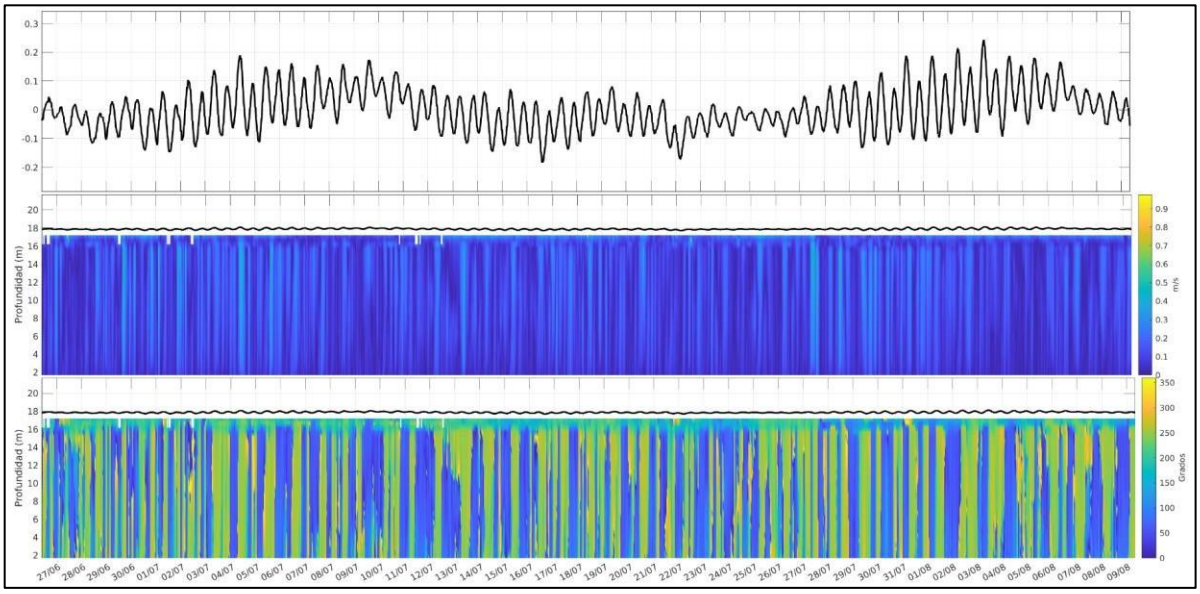


Figura 32. Gráfica de datos de mareas y corrientes en la columna de agua para la zona de estudio.

En seguida el parámetro a revisar corresponde a las alturas de ola. El movimiento de las corrientes de aire en relación con la superficie de la Tierra es responsable mayormente de generar los movimientos ondulatorios, oscilaciones periódicas de la superficie del mar formando crestas y valles que se desplazan horizontalmente; entre otros. Las olas se caracterizan por su: longitud de ola, periodo, pendiente, altura, amplitud y velocidad de propagación entre otros.

La gráfica en la **Figura 33** muestra tres diagramas; el primero de ellos corresponde a las alturas de ola registradas, siendo en color naranja todas las alturas de ola máxima registradas (Hmax) siendo la máxima cercana a los 2.5 m, en azul la altura de ola significativa (Hs); la cual se define como la altura de ola promedio de las olas de un tercio de las olas más altas en el espectro de olaje (NOAA, 2018), parámetro típicamente usado para diseño y para alimentar los modelos de simulación matemática, el valor es Hs es cercano al 1.5 m.
El segundo gráfico corresponde a los periodos de olaje registrados durante el periodo de estudio, mientras que para el tercer gráfico se muestran las direcciones de olaje durante el periodo de estudio, predominantemente en dirección Este.

Con el ADCP se registraron las alturas de ola que se presentaron durante el periodo de estudio, los datos registrados y procesados mediante el método Zero Crossing.

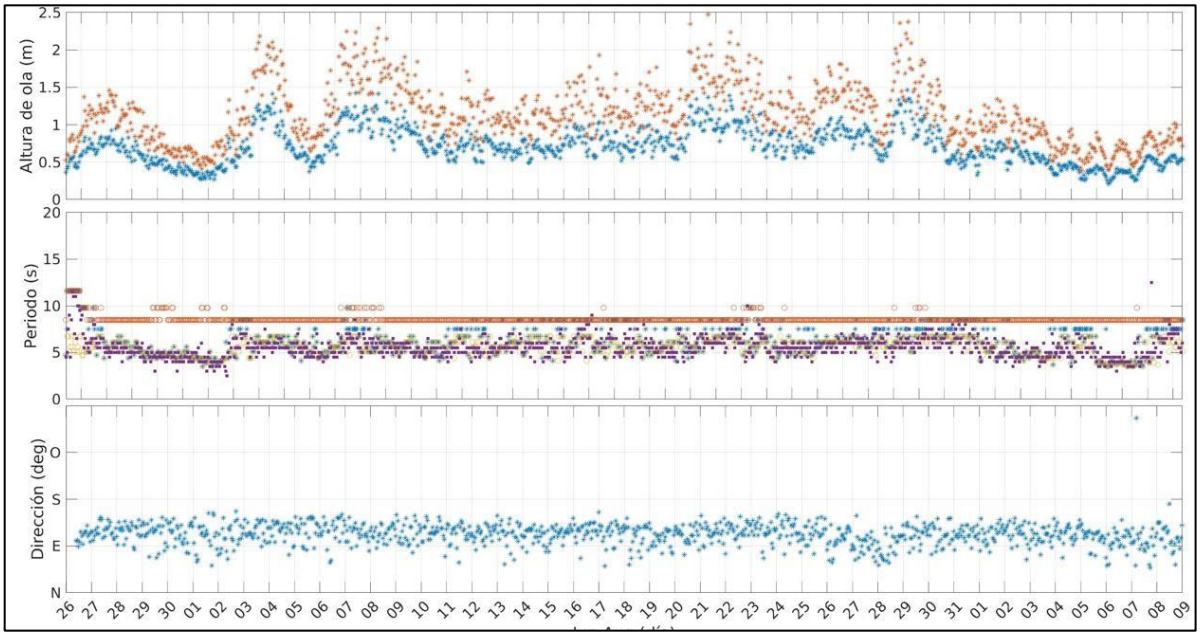


Figura 33. Alturas, Periodos y Dirección de oleaje.

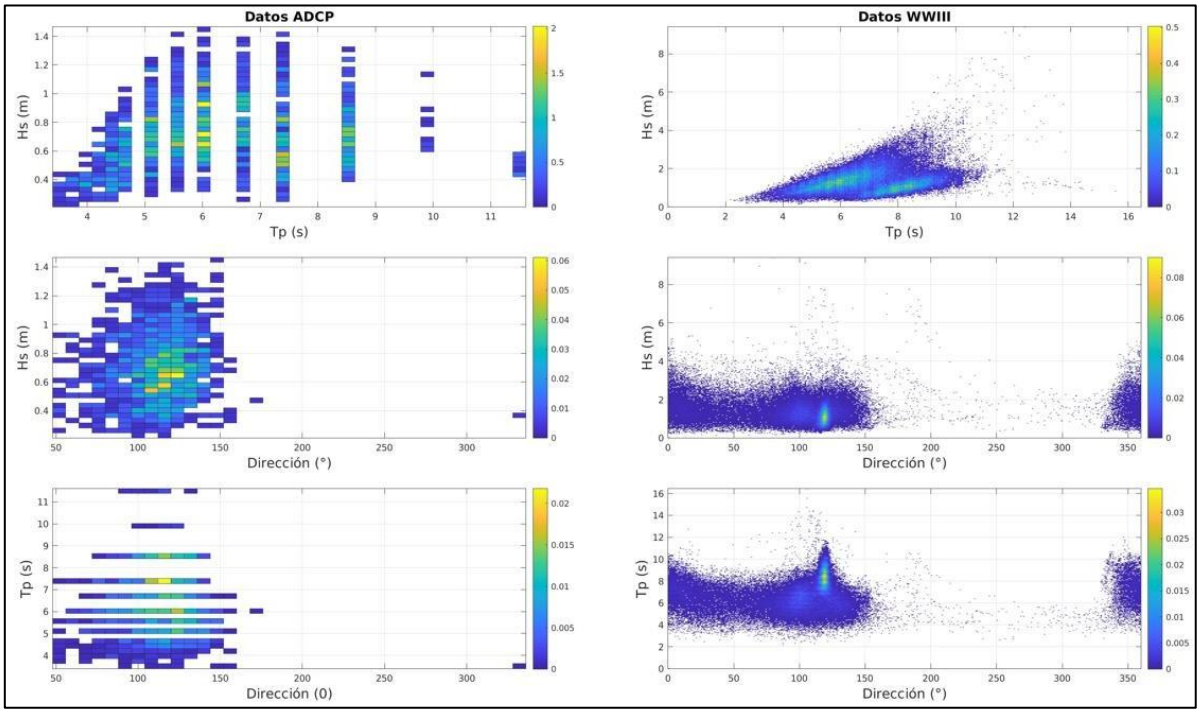


Figura 34. Análisis de datos de Altura de ola medidos con ADCP y Modelo Wave Watch III.

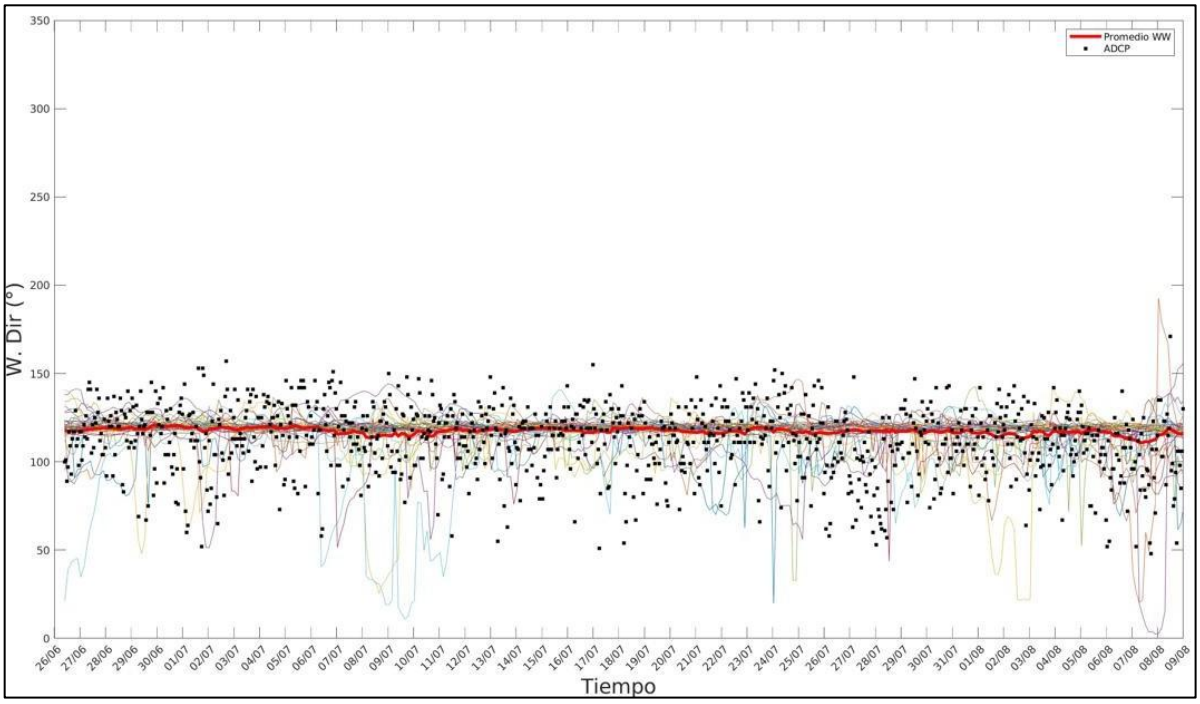


Figura 35. Análisis de Dirección de ola registrados contra WWIII.

6.2. Análisis de oleajes de ADCP y Mareómetros.

A continuación, se presentan los datos obtenidos para el experimento en el que se instalaron los distintos sensores para conocer la energía transmitida desde aguas abiertas hasta la costa. La **Figura 36** corresponde a los datos colectados por el ADCP en aguas abiertas en donde es posible visualizar un paquete de energía compacto, mientras que para las **Figura 37** y **Figura 38** una vez que la energía se aproxima y pasa el arrecife natural existente ésta se atenúa también descompone el olaje en otras de sus componentes, como lo son las ondas infragravitacionales las cuales como se aprecia en la **Figura 39** llegan a la costa, las cuales son uno de los principales responsables del transporte de los sedimentos en la costa.

Con la información presentada se puede observar que la energía del olaje que llega desde aguas abiertas hasta la costa.

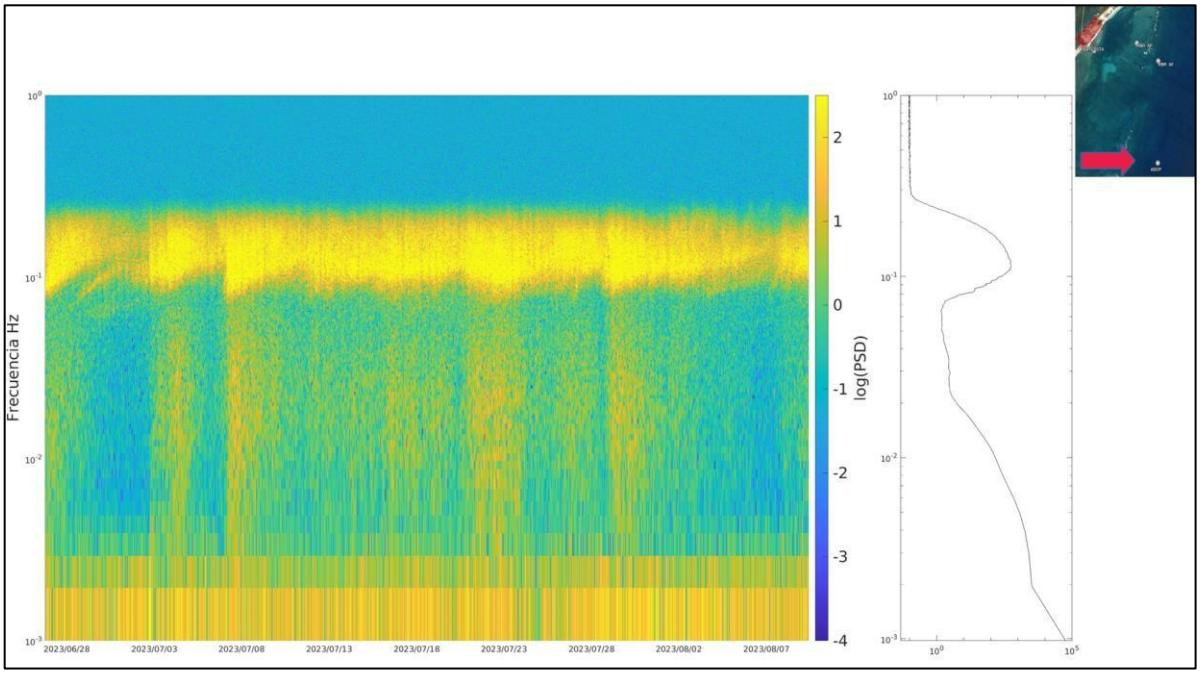


Figura 36. Energía del olaje registrado con equipo ADCP en aguas abiertas.

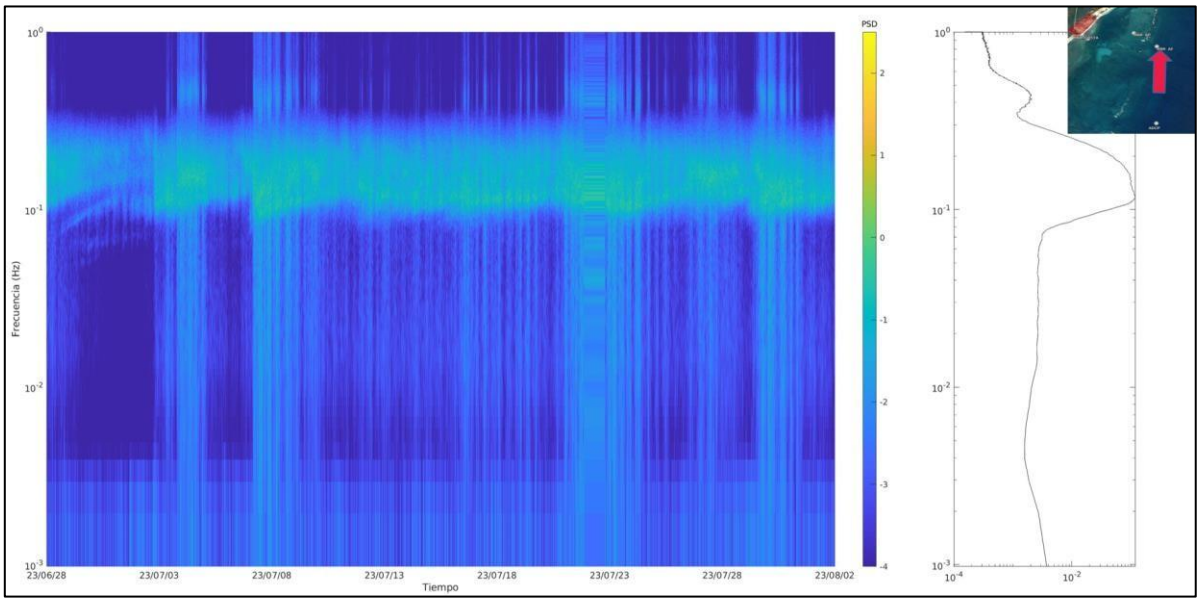


Figura 37. Energía del olaje registrado por sensor de presión en la parte frontal del arrecife existente.

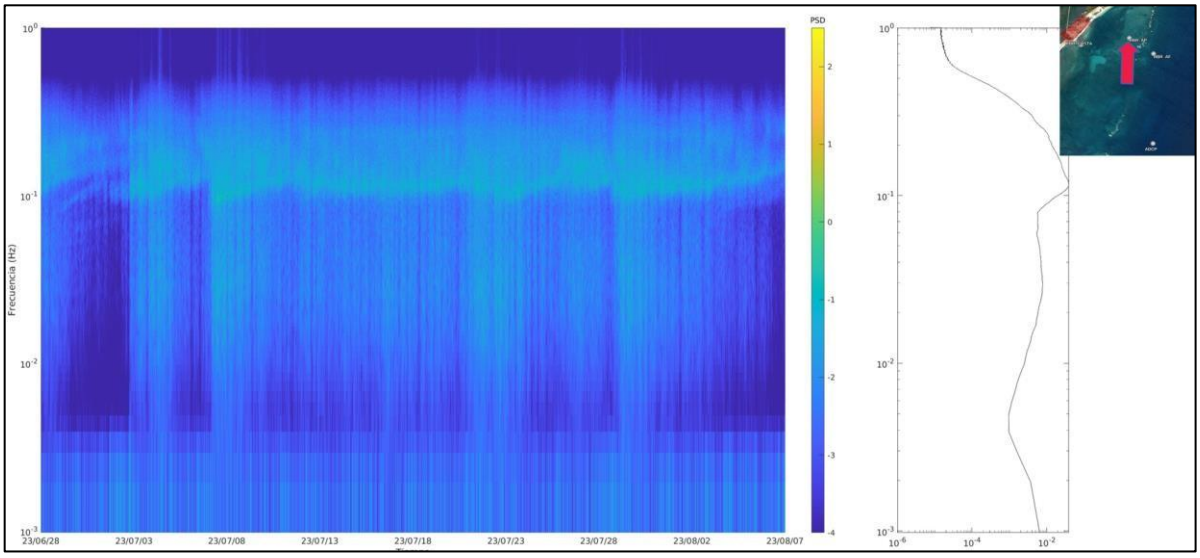


Figura 38. Energía del olaje registrado por sensor de presión en la parte posterior del arrecife existente.

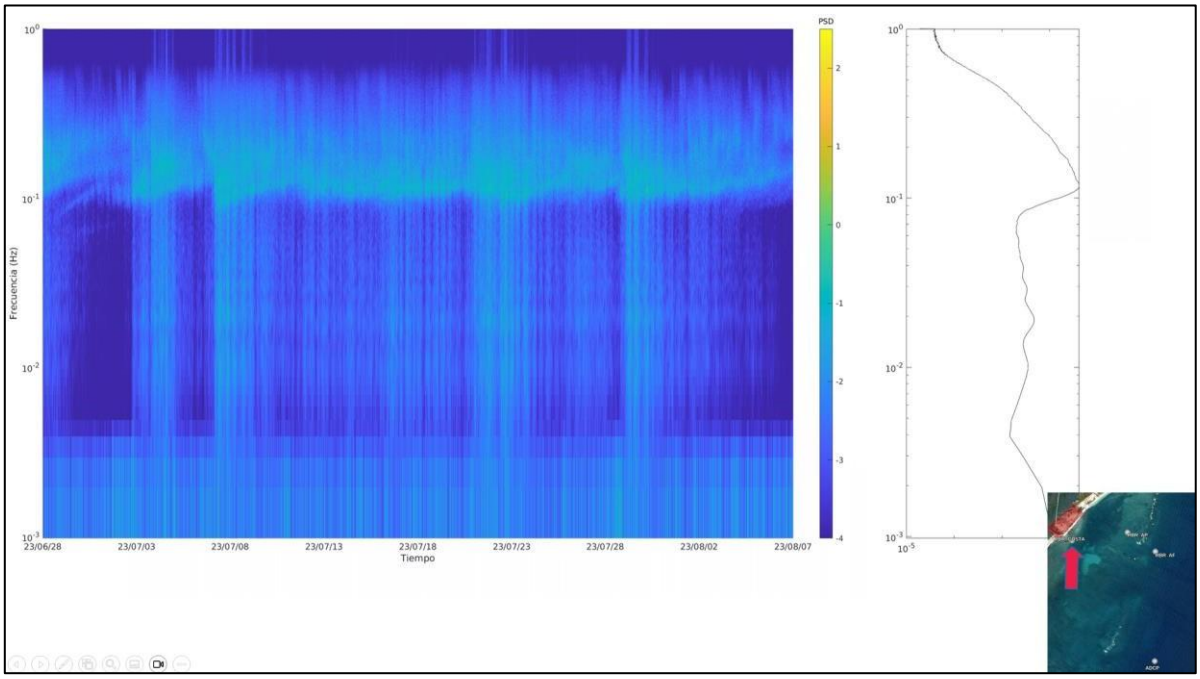


Figura 39. Energía del olaje registrado por sensor de presión en la costa frente.

La altura de ola que llega en la parte frontal del arrecife se muestra en la **Figura 40**, la altura de ola que se registró en la parte posterior al arrecife se muestra en la **Figura 41** finalmente la altura de ola registrada que llega a la costa frente a la zona de estudio se muestra en la **Figura 42**.

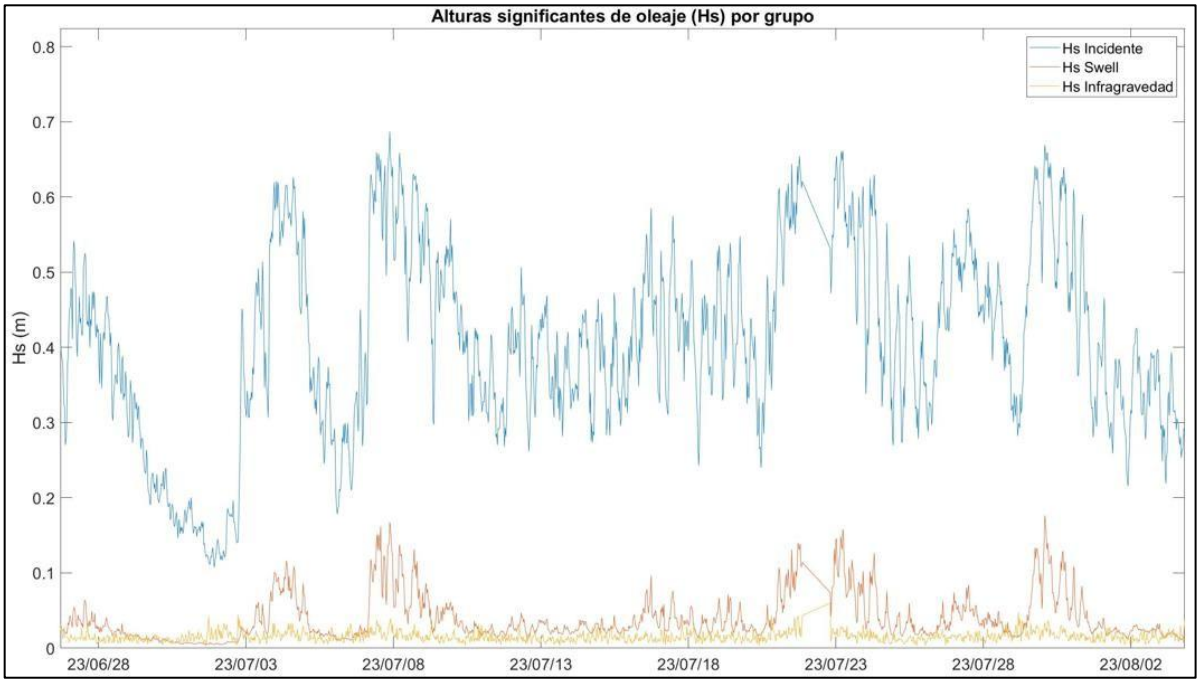


Figura 40. Alturas de ola registradas por sensor de presión instalado en la parte frontal del arrecife.

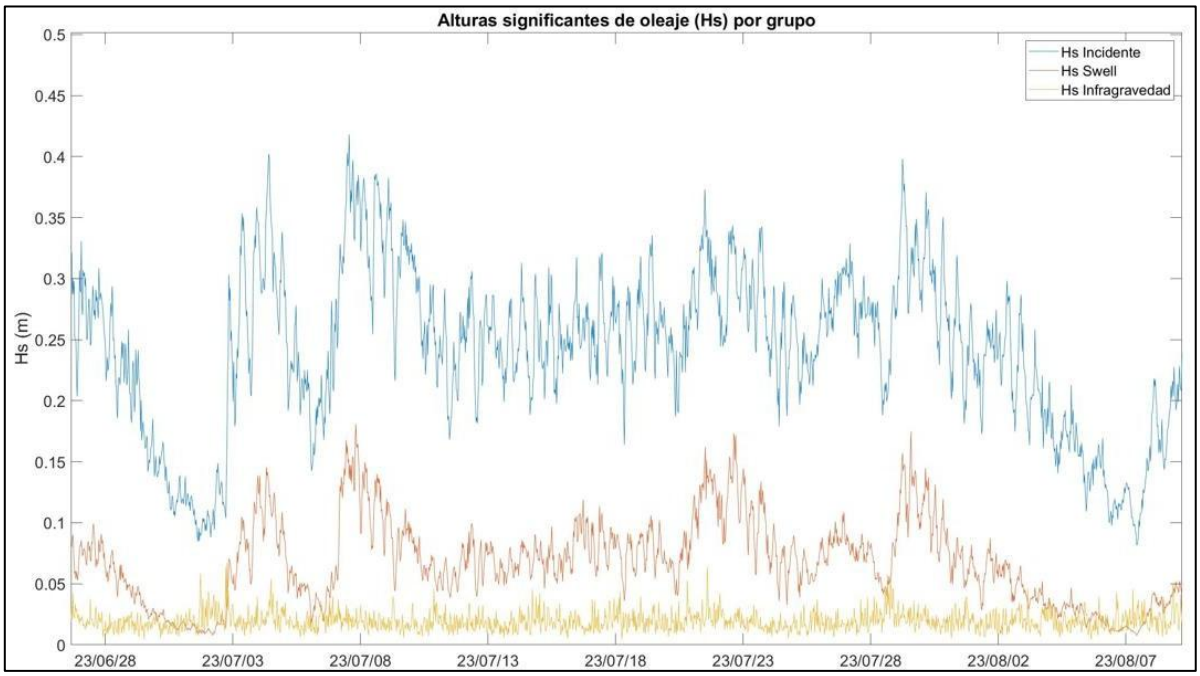


Figura 41. Alturas de ola registradas por sensor de presión instalado en la parte posterior del arrecife.

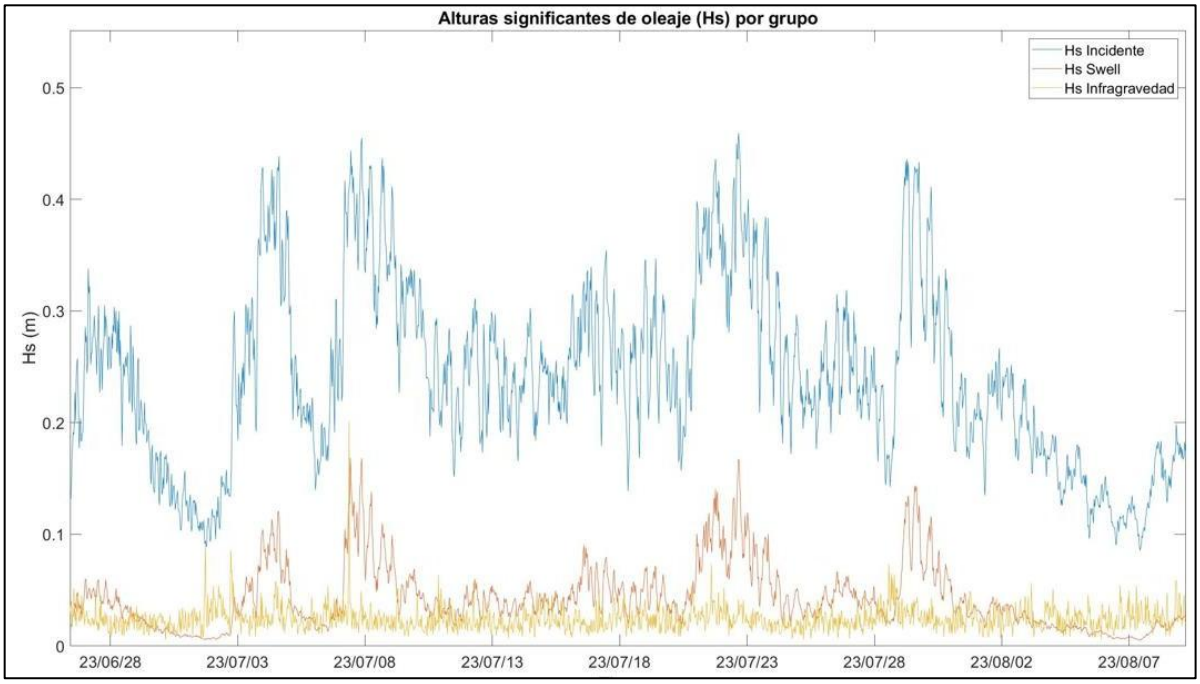


Figura 42. Alturas de ola registradas por sensor de presión instalado frente a la costa del predio de estudio.

7. Toma de muestras de sedimento y análisis de laboratorio de materiales.

A fin de conocer las características del sedimento predominante del sitio; se realizaron diversas extracciones de dicho material, se procedieron a muestreo para obtener granulometría, peso específico y D50. Se presentan a continuación las ubicaciones del retiro de los núcleos y muestras. De distintas partes del proyecto. Entre muestras del sitio de estudio y del material que cuenta la propiedad en el Hotel Sapphire.



Figura 43. Izq. Localización de muestras extraídas en predio Sapphire. Der. Localización de muestras de playa frente al Hotel.

Tabla 5. Coordenadas UTM de Muestreos de arena.

Tabla de Coordenadas UTM de Muestras de Arena			
ID	**X**	**Y**	**Descripción**
Muestra 3	514806.64	2,310,404.56	Frente al Hotel
Muestra 4	514,807.94	2,310,397.26	Frente al Hotel

7.1. Granulometría, Densidad, D50 y velocidad de sedimentación de la arena.

Para los siguientes análisis se ocupa normativa avalada por la SCT y ASTM.

- Granulometría de materiales compactables para terracerías (M-MMP-1-06-03)
- Gravedad especifica del suelo (ASTM D 854-10)

El objetivo principal de la granulometría es “determinar la composición de los granos por tamaños, esto mediante a una serie de mallas con aberturas determinadas, se vierte una cantidad específica de arena y se procede a cribar, después se retienen los datos de los pesos por malla y al final se calcula la cantidad de sedimento que pasa para introducirlo en una rutina de Matlab y concebir una gráfica semilogarítmica.



Figura 44. Muestras extraídas colocadas en el horno para su posterior secado (Imagen izquierda), Mallas para granulometría (Imagen derecha).



Figura 45. Izq. Muestreos para Granulometría. Der. Muestreos para densidad.



Figura 46. Tamizaje de muestra de arena.

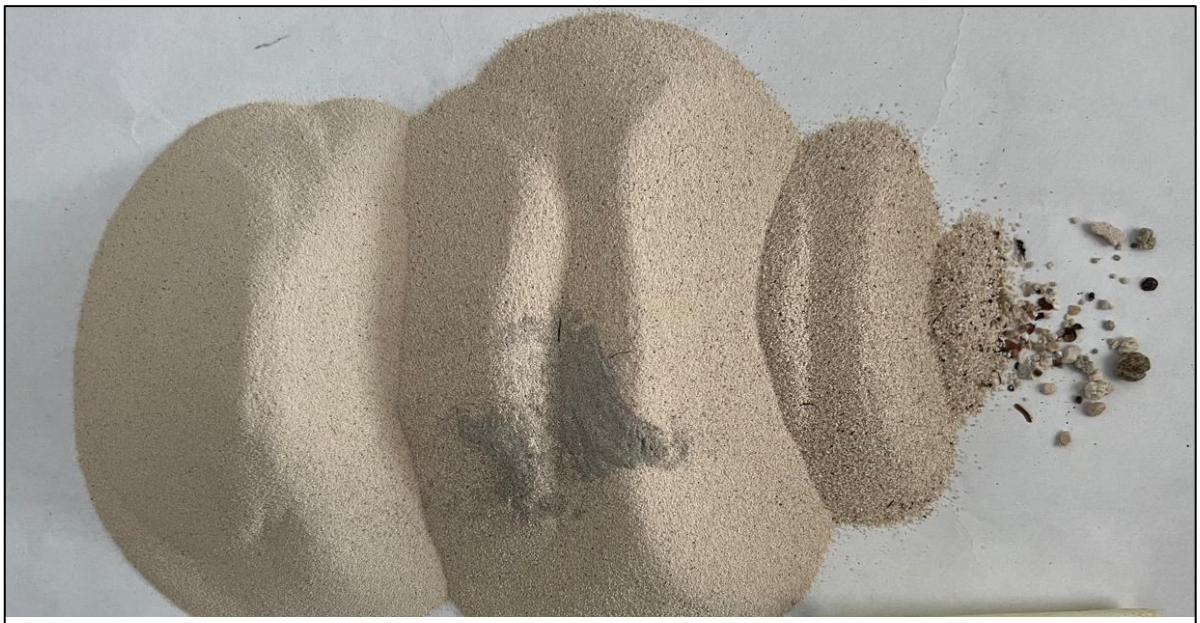


Figura 47. Tamizaje de muestra de arena 4.



Figura 48. Tamizaje de muestra de arena 3.



Figura 49. Tamizaje de muestra de arena.

Tabla 6. Tamaño de Partículas según su porcentaje determinado. Unidades en Milímetros

Sample	M-3	M-4
D10	0.33	1.32
D16	0.27	0.93
D30	0.21	0.57
D50	0.16	0.36
D60	0.14	0.3
D85	0.11	0.18
C Uniformity	0.42424	0.22727
C Curvature	0.95455	0.82045
Density (Ton/m3)	2.75	2.61

El siguiente proceso consistió utilizar un matraz previamente calibrado y conforme a la normativa especificada con anterioridad determinar los pesos correspondientes considerando la temperatura de la muestra, volumen correspondiente de acuerdo con el matraz y los 100 gramos de la muestra.

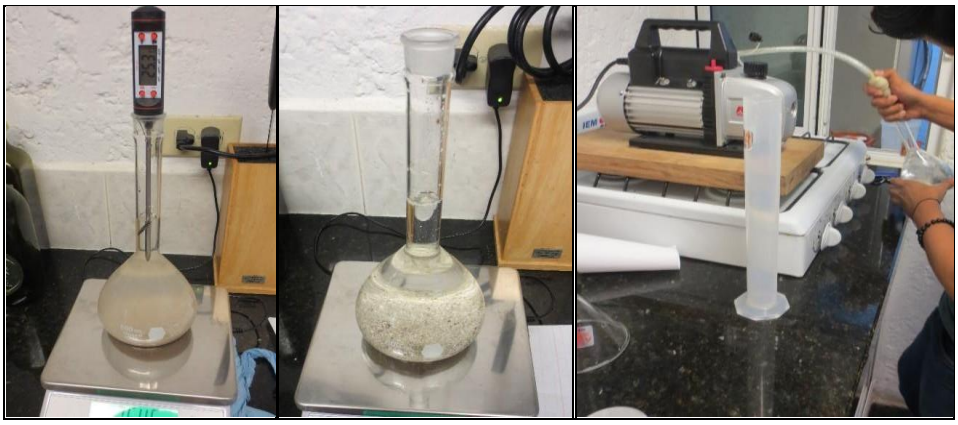


Figura 50. Medición de temperatura a la muestra (Imagen izquierda), Peso real de la muestra aforada (Imagen central), extracción de partículas de aire a la muestra (Imagen derecha).

Tabla 7. Resultados de densidad de muestras de arena.

ID	M-3	M-4
Sample weight (g)	100	100
Weight of laboratory flask with distilled water (g)	715.30	658.20
P2	779.00	719.90
Temperature°	33.00	32.50
Density R (Ton/m3)	2.75	2.61

El tercer proceso dentro de laboratorio contempló la estimación del tiempo de sedimentación de las partículas de cada una de las muestras. Se sometieron a ensayo físico cada una de las muestras en la que se cronometró el tiempo de caída que tardó cada muestra en recorrer una distancia conocida (1.0 m) en laboratorio. De tal manera que sea posible calcular una velocidad de precipitación del sedimento.

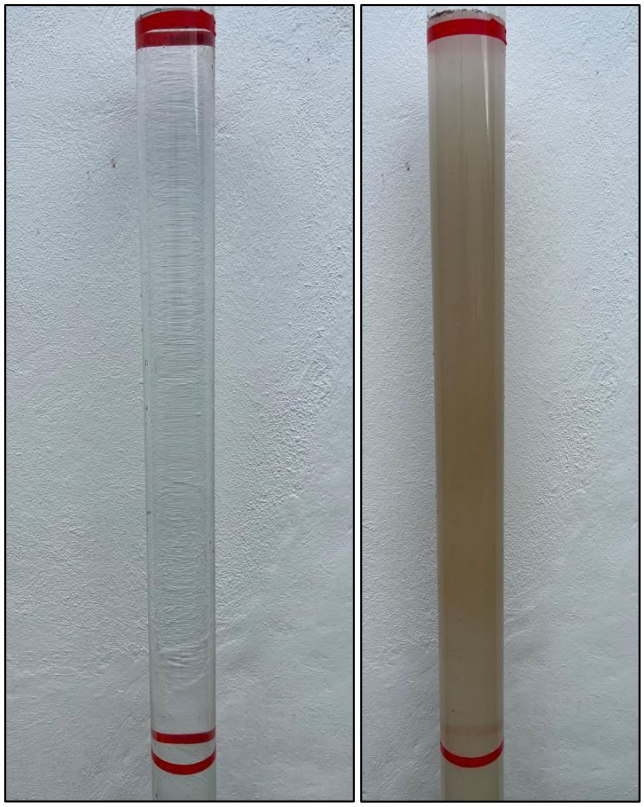


Figura 51. Probeta de Ensayo para velocidad de precipitación en laboratorio

Tabla 8. Velocidades de precipitación del sedimento por muestra.

Velocidad de Precipitación			
Muestra	**Distancia Conocida (m)**	**Tiempo (s)**	**Velocidad de Caída (m/s)**
M-3	1.00	6.31	0.1585
M-4	1.00	3.43	0.2915

A continuación, se muestran las gráficas de las curvas granulométricas por muestra.

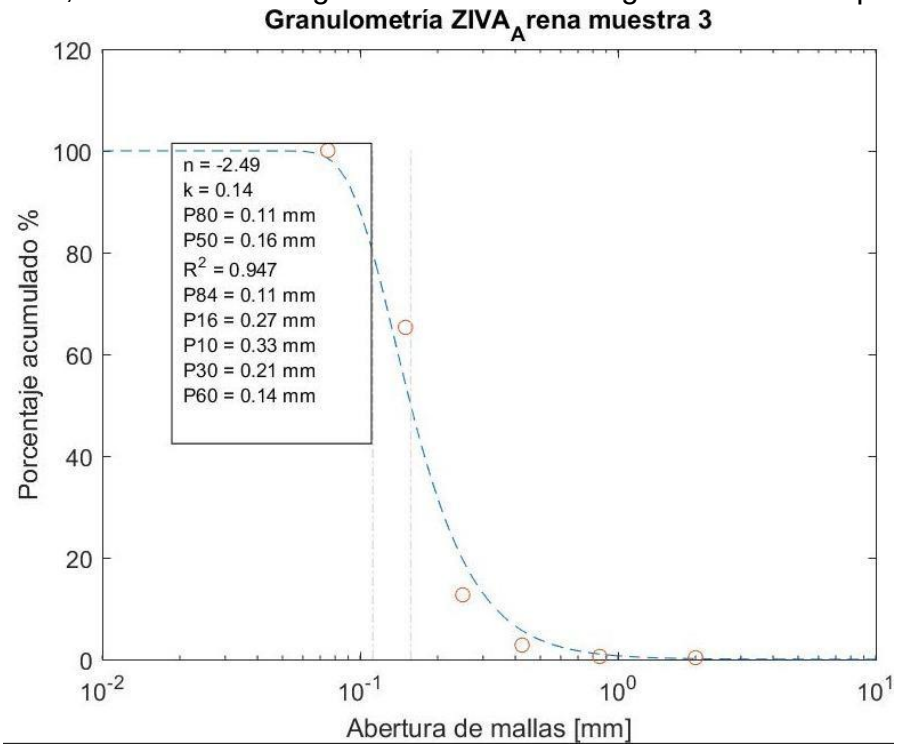


Figura 54. Resultados de cura granulométrica para Muestra 3.

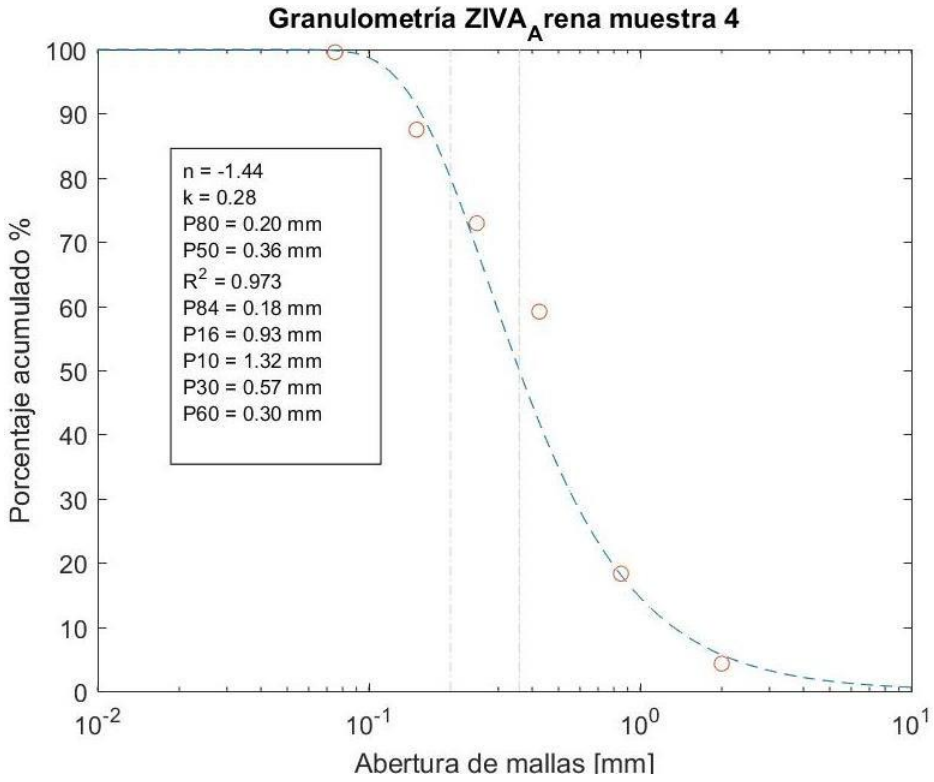


Figura 55. Resultados de cura granulométrica para Muestra 4.

8. Comentarios y Resultados.

1. La zona de estudio se encuentra en una zona donde tanto la topografía como la batimetría tienen una pendiente suave.
2. La zona de estudio tiene dos bocas naturalmente delimitadas, conocidas como “boca chica” y “boca grande” por los locales, en donde se puede navegar perfectamente.
3. La zona de estudio sufre definitivamente de un proceso erosivo severo que debe ser atendido antes de que cause problemas en las instalaciones del hotel.

9. Precisión de equipos.

Toda medición es susceptible a tener un rango de precisión en la medición ya sea por el instrumento empleado, metodología o tipo de ambiente por lo que es importante conocer las variaciones o fuentes que pudieran llegar a existir.

La precisión de las lecturas del GPS en la embarcación puede variar en un rango de 0.15 cm a 0.60 cm, en todo caso son precisiones submétricas y son las especificadas por el fabricante.

Las mediciones con sistema RTK pueden tener una incertidumbre máxima de 10mm + 1ppm en la horizontal y 20 mm +1ppm en la vertical.

Trabajo realizado por TECNOCEANO.

Levantamiento y edición:

M.C. Ernesto Gray Vallejo. **Ced. Prof. 3946251** _____

Ing. Raúl López Minutti. **Ced. Prof. 2047490** _____

Tels. 998-884 7765

Email: *Ernesto@tecnoceano.om*
raul@tecnoceano.com
Aviram@tecnoceano.com

Anexo 1. **Equipo Usado**

Batimetría:

1. **Software para hidrografía HYPACK 2022**, con capacidad de adquisición y procesamiento de instrumentos ilimitados de forma simultánea, edición y post-proceso para obtener cartografía, imagen falsa (de multihaz, sidescan sonar y doppler), modelos en 3D, imagen virtual, cálculo de volúmenes y secciones, ploteo, archivos DXF, digitalización de cartas S57, etc. Este paquete es utilizado actualmente por la Royal Navy, Guardia Costera de EE. UU. y NOAA para la elaboración de cartografía.
2. **Software para análisis de datos MatLAB (laboratorio de matrices).** Sistema de cómputo numérico que ofrece un entorno de desarrollo integrado con un lenguaje de programación propio para análisis de datos, desarrollo de algoritmos y creación de modelos numéricos
3. **Laptop Panasonic ToughBook CF-31**, intemperizada, Pentium M 750, 1.5 GB RAM, 80 GB HD, Pantalla Touchscreen visible al sol, GPS interno y Bluetooth.
4. **GPS de mano** Garmin modelos varios, corrección por WAAS, puerto USB protocolo NMEA.
5. **GPS Hemisphere A631** Multifrecuencia GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo y QZSS. Precisión desde 0.15 m a 0.60 en diferencial y hasta 8 mm + 1ppm a 15 mm + 2 ppm en RTK Atlas. IP67 conexión serial.

Topografía:

6. **GPS ZGP800** Módulo de radio UHF con integración total Puertos de comunicación Bluetooth® Potencia de transmisión 0.5 W, 1W Radio opcional para la referencia de 10 y 35 Watts Soporte para teléfono móvil GSM, GPRS, CDMA módems/teléfonos mediante puerto de comunicaciones Bluetooth®.

Calibración:

7. **Sensor de presión RBR Solo3** equipo para calibración y análisis de mareas, capaz de medir temperatura y presión. 2Hz, temperatura y presión.

Perfilador de corrientes:

8. **ADCP Sentinel V20.** Marca Teledine con 5 trasductores, 200 m profundidad nominal, 1000 kHz, conexión Wireless/Ethernet. Memoria interna de 16 GB y compartimiento contenido para baterías.

Fotogrametría.

9. **Drone DJI Ari 2S.** 2.4 GHz – 5.8 GHz. GPS, GLONASS, GALILEO. Brújula interna, IMU. Sensor 1” CMOS, Píxeles efectivos 20 MP con tamaño de píxel de 2.4 µm. Objetivo 88° (22 mm), apertura f/2.8, distancia de enfoque 0.6 m a infinito.

Anexo 2. **Reporte de post proceso de banco de nivel.**

tecnoceano

Project data report

Project name	Hyatt_Ziva
Project folder	D:\Rodolfo\MAGNET Tools Jobs\
Creation time	03/05/2023 09:35:43 a. m.
Created by	Rodolfo Callejas
Linear unit	Metros
Angular unit	DMS
Datum	WGS84
Geoid	GGM10_MAGNET

GNSS Occupations

Nombre del punto	Nombre original	Hora de inicio (GMT-5:00)	Método
Hyatt	Hyatt	26/04/2023 09:34:40 a. m.	Estático
CHET	CHET	25/04/2023 07:00:00 p. m.	Estático
MERI	MERI	25/04/2023 07:00:00 p. m.	Estático

GNSS Observations

Nombre	dE (m)	dN (m)	dHt (m)	RMS horizontal	RMS vertical
CHET–Hyatt	151954.422	264954.904	1.930	*0.063*	*0.054*
CHET–MERI	-135274.082	276694.958	4.983	*0.047*	*0.069*
Hyatt–MERI	-287228.502	11740.032	2.983	*0.065*	0.048

GNSS Occupations

Nombre del punto	Nombre original
Hyatt	Hyatt
CHET	CHET
MERI	MERI

Resumen del punto

Name	X (m)	Y (m)	Z (m)	Altura elipsoidal (m)	Distancia al norte de cuadrícula (m)	Distancia al este de cuadrícula (m)	Elevación (datum)
CHET	179584.735	-6048080.661	2010447.358	2.955	2045475.830	362840.271	9.389
Hyatt	326767.732	-5952300.017	2260443.761	4.954	2310430.757	514794.690	15.998
MERI	39480.739	-5957733.099	2269335.127	7.863	2322170.767	227566.223	21.053

TECNOCEANO

Tecnoceano® —Líder en servicios de ingeniería, estudios marinos y proyectos costeros.

Tel. +52 (998) 884 7765 info@tecnoceano.com **tecnoceano.com**



Dream's Puerto Morelos Resort & SPA

Memoria Técnica de Modelaje



Cancún, Q. Roo,

Índice

1. INTRODUCCIÓN 4
2. OBJETIVO GENERAL 5
   2.1. Objetivos 5
3. FUENTES DE INFORMACIÓN 6
4. FACTORES MARINOS REGIONALES 7
   4.1. Marea regional 7
   4.2. Corrientes regionales 8
   4.3. Oleaje regional 9
5. FACTORES ATMOSFÉRICOS REGIONALES 12
   5.1. Viento regional 12
   5.2. Huracanes 14
6. FACTORES TERRESTRES REGIONALES 15
   6.1. Acarreo litoral regional 16
   6.2. Cálculo cualitativo del acarreo litoral regional 16
   6.3. Perfil de costa regional 18
7. FACTORES ANTROPOGÉNICOS REGIONALES 20
8. FACTORES MARINOS LOCALES 21
   8.1. Marea local 22
   8.2. Corrientes locales 22
   8.3. Oleaje local 24
9. FACTORES TERRESTRES LOCALES 26
   9.1. Características del sedimento 27
   9.2. Acarreo litoral local 28
   9.3. Definición de celda litoral 28
   9.4. Retroceso de la línea de costa 30
10. FACTORES ANTROPOGÉNICOS LOCALES 32
11. EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIANTE MODELOS NUMÉRICOS 37
   11.1. Evaluación hidro-morfodinámica del proyecto 38
      11.1.1. Características de los dominios 39

[redacted]

11.1.2. Parámetros de entrada 42
11.1.2.1. Oleaje 42
11.1.2.2. Viento 43
11.1.2.3. Marea 43
11.1.2.4. Topo-Batimetría 43
11.1.2.5. Consideraciones morfológicas 45
11.1.2.6. Consideraciones de rugosidad 46
11.1.3. Calibración del modelo 48
12. RESULTADOS DE MODELACIÓN HIDRO-MORFODINÁMICA 49
12.1.1.1. Nivel de agua 50
12.1.1.2. Corrientes 52
12.1.1.3. Oleaje 54
12.1.1.4. Morfología 58
12.2. Cambio climático 60
13. CONCLUSIONES 71
14. REFERENCIAS 72

1. INTRODUCCIÓN

Como parte de los estudios para evaluar el impacto en la morfología e hidrodinámica por la construcción del proyecto de protección en Dreams Pto Morelos, se ha realizado un ejercicio de modelación numérica. El objetivo central de esta modelación es analizar escenarios futuros del sitio considerando que la línea de costa tendrá una alteración. Dicho análisis servirá de base para demostrar que el proyecto es sustentable y efectivo, además de proponer alternativas tecnológicas enfocadas en mejorar las condiciones de la costa.

Para realizar las modelaciones numéricas se ha utilizado la siguiente información hidrográfica: batimetría, topografía, intensidad y dirección de corrientes/oleaje y propiedades mecánicas de los sedimentos.

Para la caracterización morfodinámica se han considerado tanto las condiciones de oleaje reinantes como los escenarios de tormenta que se presentan frente a la costa del desarrollo Dreams Pto Morelos. La información de oleaje y viento se obtuvo del modelo WaveWatch III de la National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) de los Estados Unidos de América, reportada a intervalos de 3 horas en un periodo de aproximadamente 39 años (enero de 1979 a noviembre de 2018) en aguas profundas frente a la costa. Los datos de información de mareas fueron obtenidos mediante un Perfilador Acústico Doppler y fueron comparados y ajustados a marea media a partir de las tablas del predictor de mareas de la estación Pto. Morelos, Q.R. (20 51 N, 86 55 W), del Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada Baja California. (CICESE) http://predmar.cicese.mx/calendarios/ (ver 3. Fuentes de Información).

El documento recopila información bibliográfica del sitio de interés. Posteriormente realiza un resumen de los datos más relevantes recopilados en campo. Posteriormente se presentan los impactos hidro-morfodinámicos del proyecto, basados en la interpretación de modelos numéricos.

En la sección exclusiva de modelación numérica, se detallan los parámetros de calibración de modelo para demostrar que efectivamente se representa la dinámica del sitio. Posteriormente se estudia el comportamiento de la costa en un ciclo anual (incluidas las tormentas típicas de la región) en condiciones actuales y con el proyecto de recuperación de playa planteado, para finalizar con la evaluación del cambio climático.

[redacted]

2. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la dinámica costera en la zona de influencia alrededor de Dreams Pto Morelos, ubicado en Puerto Morelos, Quintana Roo, con coordenadas 20.8949° N, 86.8582° W, para realizar una proyección anual considerando las condiciones actuales y contemplando la construcción del proyecto ejecutivo de protección de costa paralelos a la costa para defender ante la erosión provocada por el oleaje.

2.1. Objetivos

a) Calibrar un modelo hidrodinámico en la costa del predio de Dreams Pto Morelos capaz de reproducir las condiciones locales basados en la recopilación de datos in situ y extrapolados a la base de datos oceanográfica más cercana al sitio y con 39 años de información.

b) Una vez hecho el análisis de las condiciones reinantes y establecidas las condiciones hidrodinámicas anuales promedio, modelar un año bajo estas condiciones para evaluar los efectos hidro-morfodinámicos sobre la costa del desarrollo Dreams Pto Morelos considerando la transformación que sufre el oleaje desde aguas profundas hasta la zona del proyecto.

c) Por medio de la evaluación del oleaje, revisar la eficiencia de diferentes arreglos de protección.

d) Una vez que se haya elegido el arreglo de protección que más se ajuste a las necesidades del predio, evaluar el impacto que tendrá el Proyecto de Protección y Restauración Costera del Desarrollo Dreams Pto Morelos en sitio y alrededores.

e) De acuerdo con los resultados obtenidos del modelo numérico, emitir recomendaciones para mitigar cualquier efecto secundario que pudiera causar la presencia del proyecto.

f) Considerando el cambio climático, proyectar que sucederá con la costa con y sin proyecto.

3. FUENTES DE INFORMACIÓN

Para elaborar un modelo matemático que simule los elementos básicos que definen el comportamiento de la costa en la zona del desarrollo Dreams Pto Morelos se utilizaron las siguientes herramientas y fuentes de información:

- Las condiciones de oleaje normal y de tormentas estacionales relevantes provienen de la caracterización anual de una base de 38 años de datos océano-climatológicos del modelo WaveWatch III, estación 20.5, -86.
- Los datos medidos in-situ provenientes de campañas de trabajo en campo realizadas por Tecnoceano.
- Redes topo-batimétricas de levantamientos realizados por Tecnoceano.
- Marea obtenida del predictor de marea MAR V desarrollado por el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada Baja California (CICESE).
- Fotografías satelitales georreferenciadas.
- Información proporcionada por el cliente.
- Modelos numéricos para evaluar la hidro-morfodinámica (Delft 3D).

4. FACTORES MARINOS REGIONALES

Resumen: El presente apartado aborda la marea, corrientes y oleaje en la región de Dreams Pto Morelos, utilizando datos de más de tres décadas provenientes de dos fuentes principales (CICESE y WWIII). Se destaca la marea mixta semidiurna con variaciones anuales de hasta 0.50 m, basada en el predictor de marea MAR V desarrollado por el CICESE y datos de series históricas de estaciones mareográficas de la UNAM, la Secretaría de Marina y el CICESE. Además, se analizan las corrientes de sur a norte en la costa de Quintana Roo y la presencia de una contracorriente cerca de la línea de costa, utilizando información recopilada por Merino y Otero (1991) (Figura 2). En cuanto al oleaje, se emplean datos del modelo WaveWatch III de la NOAA en la estación ubicada a no más de 100 km mar adentro de la costa de Dreams Pto Morelos, con coordenadas 20.5, -86, donde se aprecia que las direcciones predominantes de donde proviene el oleaje en la zona son del ESE con eventos esporádicos del N. (Figuras 4 y 5).

Este apartado describe las generalidades del clima marítimo y atmosférico de la región de Dreams Pto Morelos y alrededores mediante el análisis de más de 3 décadas de datos de oleaje y viento obtenidos del nodo ubicado en las coordenadas 20.5, -86 del modelo Wave Watch III (WWIII) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Además, se incluye un análisis armónico y estadístico de una serie de marea la estación de Pto. Morelos, Q.R. (20 51 N, 86 55 W), obtenida por medio del predictor de marea MAR V basado en registros históricos de estaciones mareográficas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la secretaría de Marina y Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada (CICESE).

4.1. Marea regional

La marea astronómica es un fenómeno natural que ocurre en los océanos debido a la atracción gravitacional entre la Tierra, la Luna y el Sol. Estos cuerpos celestes ejercen fuerzas de atracción sobre la Tierra, particularmente en el agua de los océanos. Cuando la Luna y el Sol se alinean, sus fuerzas de atracción se combinan

y causan mareas más altas. Por otro lado, cuando la Luna y el Sol están en ángulos rectos entre sí, sus fuerzas se contrarrestan y se producen mareas más bajas.

La marea en la región de Dreams Pto Morelos es clasificada como mixta semidiurna (Sosa, 2007). Las variaciones de la marea son de poca amplitud (aproximadamente 0.30 m) sin embargo la variación anual máxima puede hacer que el agua alcance los
0.25 m por arriba del nivel medio del mar (NMM), es decir una marea con amplitud de hasta 0.50 m. En el siguiente gráfico se observa la marea obtenida del MARV09, el cual es un software predictor de mareas, desarrollado en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

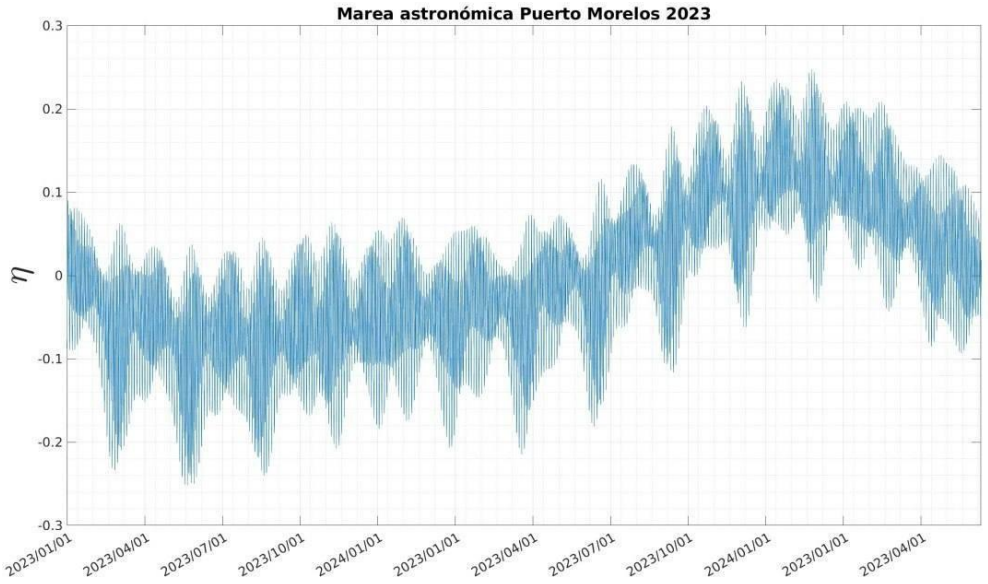


Figura 1. Variaciones interanuales del nivel medio del mar. Fuente: Predictor de marea MARV en la estación de Puerto Morelos.

Al hacer un análisis armónico mediante transformadas de Fourier para obtener el espectro de la serie anual de marea, se encontraron 5 componentes armónicas esenciales (M2, S2, N2, O2 y K1) para poder describir el movimiento del agua.

4.2. Corrientes regionales

Las corrientes regionales son flujos de agua que se desplazan en los océanos, siguiendo patrones específicos en regiones particulares. Son como "ríos" dentro del océano. Estas corrientes son causadas por varios factores, como el viento, la temperatura del agua y la rotación de la Tierra.

Es bien sabido que en la costa de Quintana Roo, las corrientes van de sur a norte. La corriente de Yucatán entra al Canal de Yucatán e ingresa eventualmente al Golfo de México (Merino y Otero, 1991). Al acercarse a la zona costera, el panorama cambia pues se presenta una contracorriente que fluye paralela al litoral sujeta a variaciones estacionales y a la orografía del sitio. Esta contracorriente caracteriza a ciertas porciones internas de la costa quintanarroense la cual tiene influencia de los arrecifes, lagunas arrecifales y bahías, por lo que podría decirse que la hidrodinámica cerca de la línea de costa es aislada y con característica del sitio.

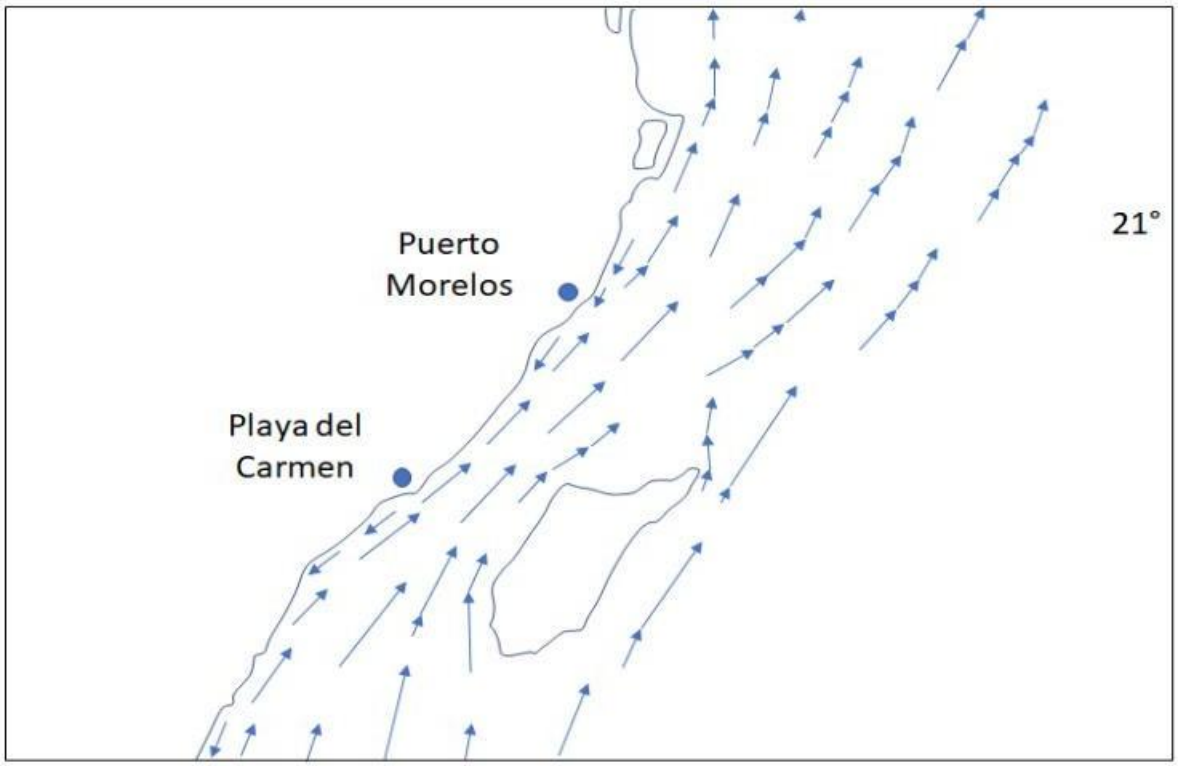


Figura 2. Dinámica de las corrientes en la costa de Quintana Roo. Tomada de Merino y Otero, 1992.

4.3. Oleaje regional

La forma de la costa y la profundidad del agua son factores que influyen en el oleaje regional. En algunos lugares, la costa puede tener forma de bahía o estar protegida por arrecifes, lo que puede suavizar las olas. Además, si el agua es poco profunda, las olas pueden romper más cerca de la orilla y ser más altas.

Es importante tener en cuenta que el oleaje regional puede cambiar a lo largo del día o del año. Las estaciones del año, los sistemas de tormentas y otros factores climáticos pueden alterar las condiciones del oleaje en una región determinada.

Los datos del modelo de propagación de oleaje WaveWatch III de la NOAA en la estación ubicada a no más de 100 km mar adentro de la costa de Dreams Pto Morelos, con coordenadas 20.5, -86 fueron analizados a fondo para caracterizar el clima marítimo y atmosférico de la zona en aguas profundas.



Figura 3. Ubicación del nodo de WWIII respecto a Dreams Pto Morelos.

La altura promedio fue de 1.37 m. Durante los meses de junio a noviembre existió un periodo de oleaje energético, tiempo que coincidió con la temporada de huracanes. Durante la temporada de invierno, se observaron eventos esporádicos de mar de fondo generando oleaje de hasta 9 m de altura. Por otra parte, la dirección del oleaje mostró una dirección predominantemente del ESE (110.35°). Durante los meses de otoño e invierno hubo una ventana donde el oleaje tendió a provenir del N, debido a la temporada de frentes fríos. El periodo promedio fue de 6.95 segundos.

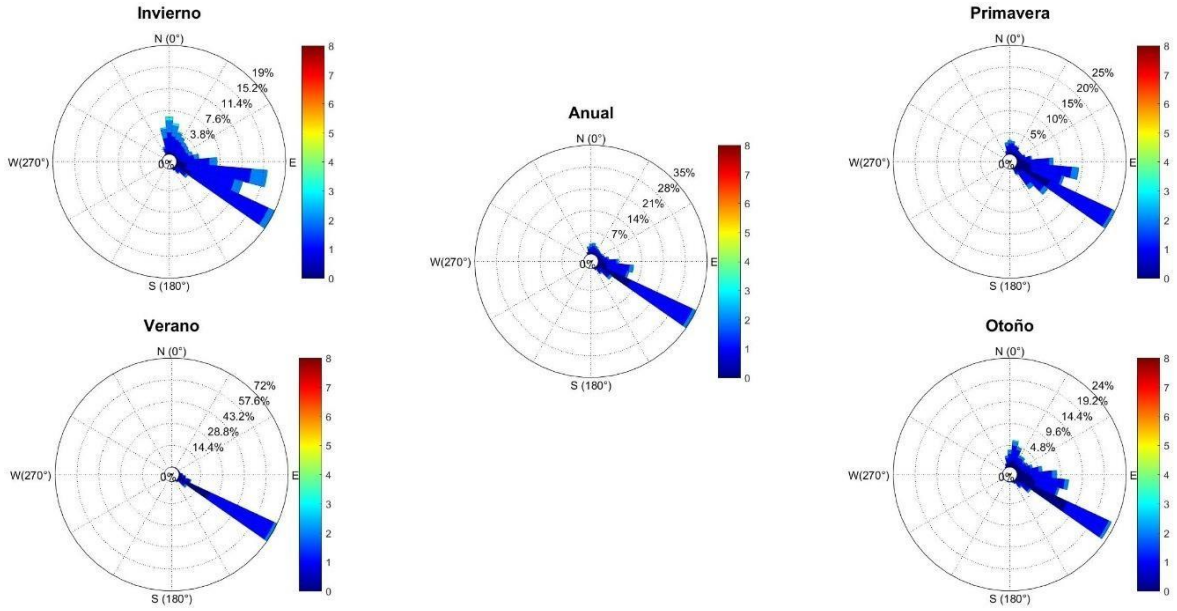


Figura 4. Rosas de oleaje de condiciones normales obtenidas de la base de datos de reanálisis WWIII.

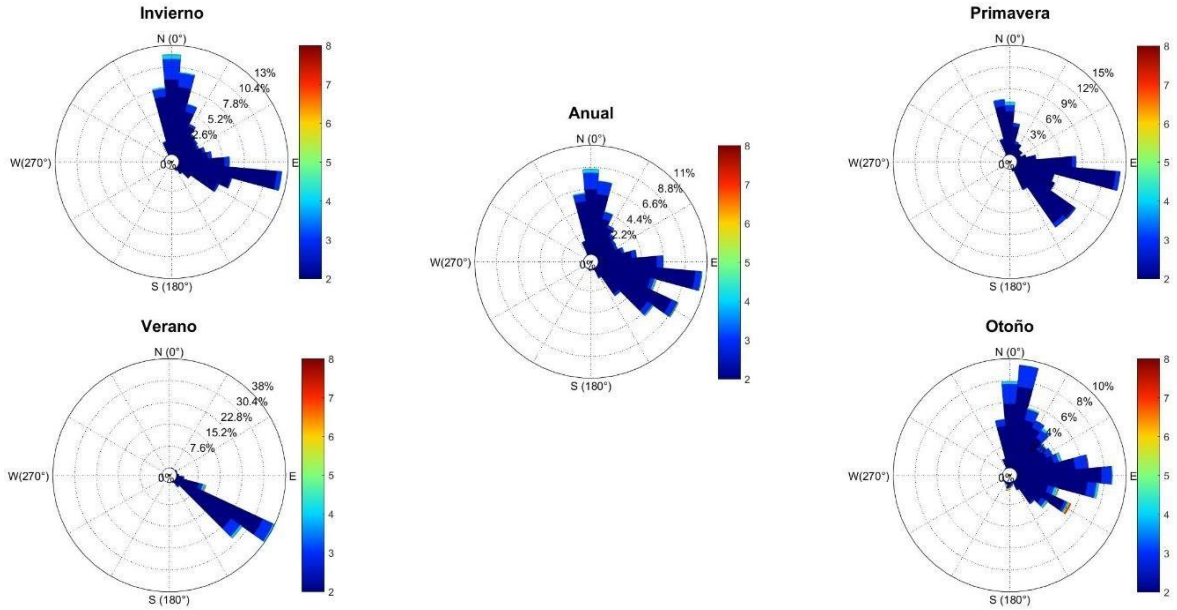


Figura 5. Rosas de oleaje de condiciones de tormenta obtenidos de la base de datos de reanálisis WWIII.

5. FACTORES ATMOSFÉRICOS REGIONALES

Resumen: El presente apartado aborda el viento regional y la presencia de huracanes en la región de Dreams Pto Morelos, utilizando datos de análisis climáticos y eventos históricos relevantes.

Se analizan las características del viento regional. Además, se emplea una base de datos de oleaje para obtener un análisis detallado de las condiciones climáticas en aguas profundas cerca de Dreams Pto Morelos. Se presenta una rosa de viento de condiciones normales obtenida de la base de datos de reanálisis WWIII donde destaca una dirección predominante del E. (Figura 6).

Por otro lado, se describe la presencia y el impacto de los huracanes en la zona costera. Los más relevantes fueron Gilbert, Wilma y Dean. Se muestra la trayectoria de tormentas y huracanes que han pasado dentro de un radio de 100 km a la redonda de Dreams Pto Morelos desde 1852 al 2021 (Figura 7), así como la ocurrencia de eventos ciclónicos clasificados según la escala de Saffir-Simpson (Figura 8).

5.1. Viento regional

En diferentes partes del mundo pueden encontrarse distintas características en los vientos regionales. Algunas regiones pueden experimentar vientos constantes y fuertes, mientras que otras pueden tener vientos más suaves y cambiantes.

Estas diferencias en el viento son influenciadas por diversos factores. Uno de ellos es la temperatura del aire. El aire caliente tiende a ascender, creando áreas de baja presión, mientras que el aire frío tiende a descender, generando áreas de alta presión. Esta diferencia de presiones da lugar a vientos que fluyen desde las zonas de alta presión hacia las de baja presión.

La forma del terreno, la presencia de cuerpos de agua y las características geográficas también influyen en el viento. Por ejemplo, las áreas cercanas a la costa pueden experimentar vientos costeros, que son vientos que soplan desde el mar hacia la tierra debido a las diferencias de temperatura entre ambos.

[redacted]

De la base de datos de oleaje se obtiene un análisis y caracterización de las condiciones climáticas en aguas profundas del punto más cercano a Dreams Pto Morelos.

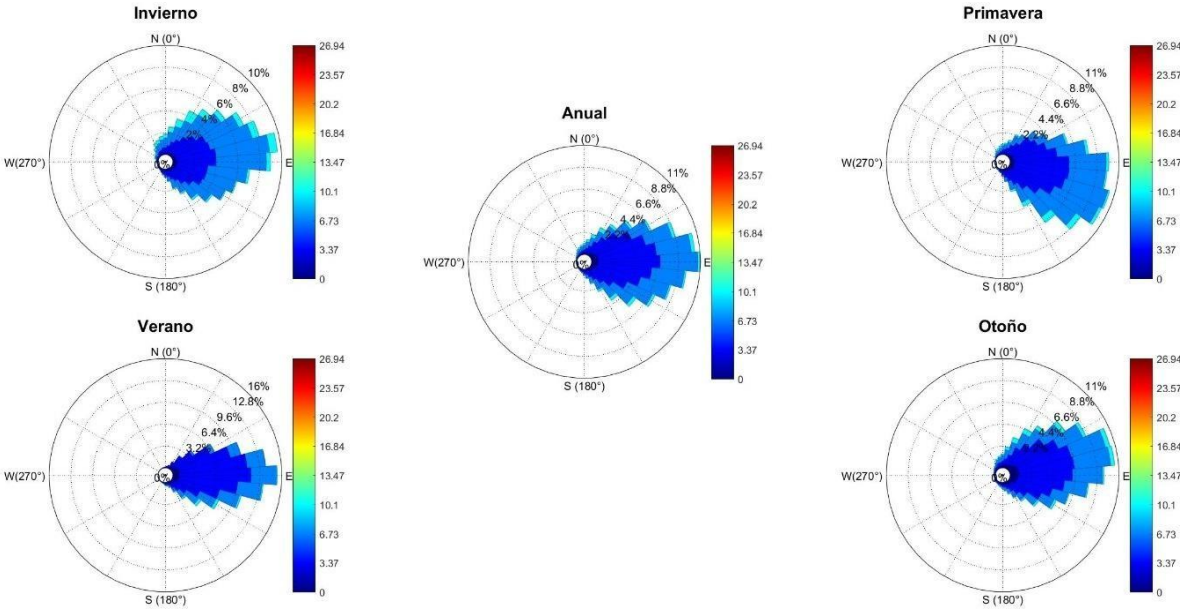


Figura 6. Rosas de viento de condiciones normales obtenidas de la base de datos de reanálisis WWIII.

5.2. Huracanes

Dentro de los elementos de los factores atmosféricos, resulta relevante la presencia de las tormentas tropicales. Los huracanes son eventos en los cuales se combinan la presencia de fuertes vientos, lluvias, marea de tormenta y oleaje intenso. Según su intensidad, los huracanes se dividen en diferentes categorías y tienen un importante impacto sobre la zona costera. Los más relevantes presentes en la zona fueron Gilbert, Wilma y Dean.

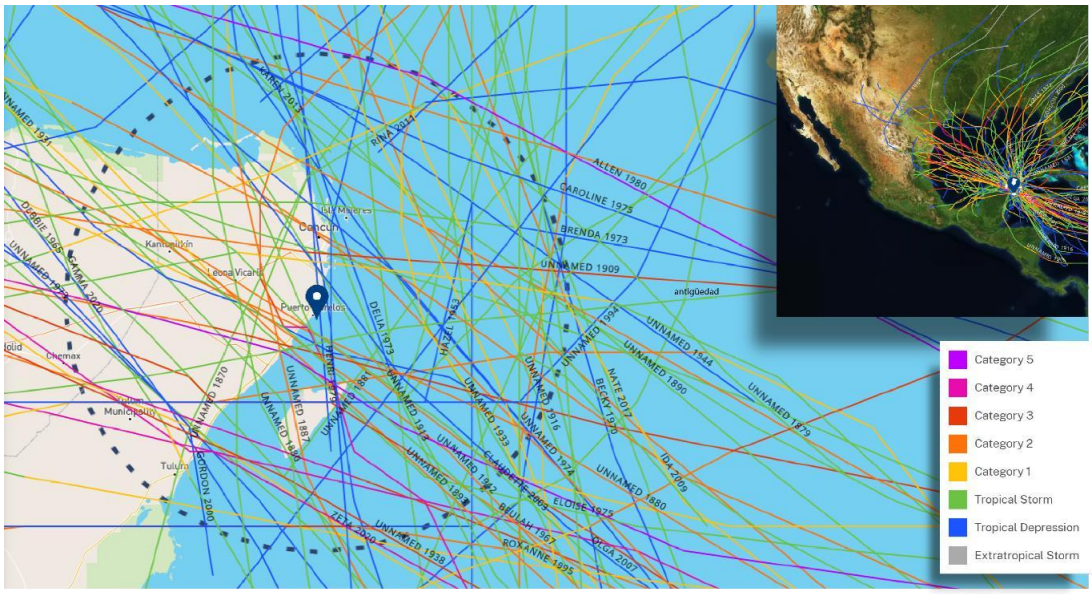


Figura 7. Trayectoria de tormentas y huracanes que han pasado sobre un radio no mayor a 100 km a la redonda de Dreams Pto Morelos desde 1852 al 2021.

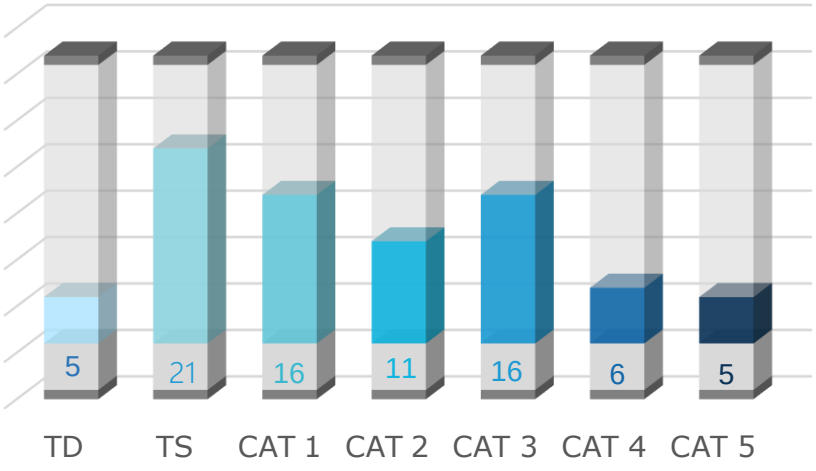


Figura 8. Ocurrencia de eventos ciclónicos que han pasado sobre un radio no mayor a 100 km a la redonda de Dreams Pto Morelos y divididos en categorías según la escala de Saffir-Simpson.

6. FACTORES TERRESTRES REGIONALES

Resumen: El presente apartado aborda diversas características geológicas y morfológicas de la península de Yucatán y su influencia en el acarreo litoral regional en Puerto Morelos.

Se destaca la estabilidad tectónica y la orografía plana de la península, así como la composición del sedimento calcáreo en las playas de Quintana Roo. Además, se describe el acarreo litoral regional, influido por corrientes marinas, vientos y mareas, con una dirección predominante de sur a norte. La topografía y las características geológicas de Puerto Morelos modulan el transporte de sedimentos, mientras que las barreras naturales como manglares y arrecifes también juegan un papel importante en la dinámica costera (Figura 10).

La clasificación y regionalización de las playas facilita su manejo y seguridad en el desarrollo de actividades costeras. Se menciona el perfil típico de distribución de la costa en la Riviera Maya, con sistemas dunares y de manglares, y se utiliza el parámetro adimensional de velocidad de asentamiento para clasificar las playas, destacando la predominancia de playas de tipo disipativa en la región (Figuras 11 y 12).

La península de Yucatán es considerada tectónicamente estable y con orografía plana. Este tipo de orografía ocasiona la ausencia de flujos superficiales promoviendo que el agua se filtre hacia el subsuelo dificultando el aporte de sedimentos de tierra a mar. Una de las características más representativas de las costas norte de Quintana Roo son sus playas color azul turquesa compuestas de sedimento calcáreo compuesto por oolitas (esferas calcáreas de 2 mm de diámetro o menos) las cuales por sus características de color y textura impulsan el turismo y economía del estado. La Península de Yucatán está formada de una matriz kárstica de alta permeabilidad debido a fracturas y conductos de disolución donde el agua de lluvia se filtra rápidamente y fluye a través de ríos o interconexiones subterráneas; sobre terrenos ocupados por selvas, manglar y tular (INEGI, 2009).

6.1. Acarreo litoral regional

Alcérreca Huerta en su tesis Determinación de los umbrales de movimiento de arenas de la Península de Yucatán (2013); realiza mapas de las características del sedimento en dónde evalúa el tamaño de grano D50 en la zona de berma, lavado y playa sumergida. En donde el D50 es el tamaño de partícula correspondiente al 50% que pasa y representa el tamaño medio de grano. La interpretación espacial del tamaño de grano nos permite intuir el vector de transporte de sedimentos (LeRoux, 1994). A nivel regional, el sedimento en la costa de Quintana Roo está clasificada como arena fina a media (0.19 a 0.55 mm) y el transporte de sedimento regional es de sur a norte.

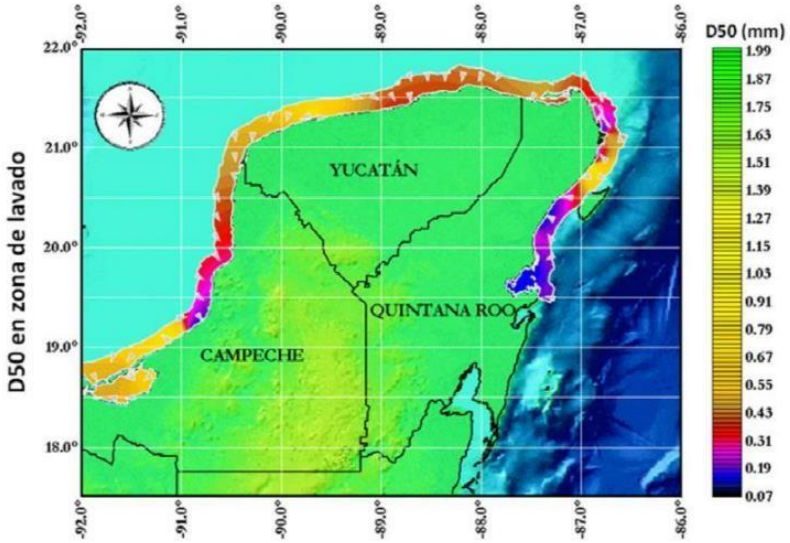


Figura 9. Mapas de la distribución del D50 de la arena que puede encontrarse a lo largo de las costas de la Península de Yucatán.

6.2. Cálculo cualitativo del acarreo litoral regional

Diversos procesos naturales inciden en el acarreo litoral de Puerto Morelos, siendo las corrientes marinas, los vientos y las mareas algunos de los principales actores. Las corrientes marinas transportan sedimentos a lo largo de la costa, mientras que los vientos influyen en la dirección y velocidad del transporte de estos materiales. Las mareas, por su parte, afectan la cantidad y distribución de los sedimentos costeros.

La topografía de Puerto Morelos desempeña un papel esencial en el acarreo litoral, influenciando la dirección y velocidad de las corrientes marinas que transportan sedimentos a lo largo de la costa. Las características geológicas, como la composición del suelo y la presencia de formaciones rocosas, afectan la disponibilidad y el tipo de sedimentos presentes en las playas. Así mismo, la presencia de barreras naturales, como manglares o arrecifes, son las responsables de modular el flujo de sedimentos y tener un impacto en la dinámica costera.

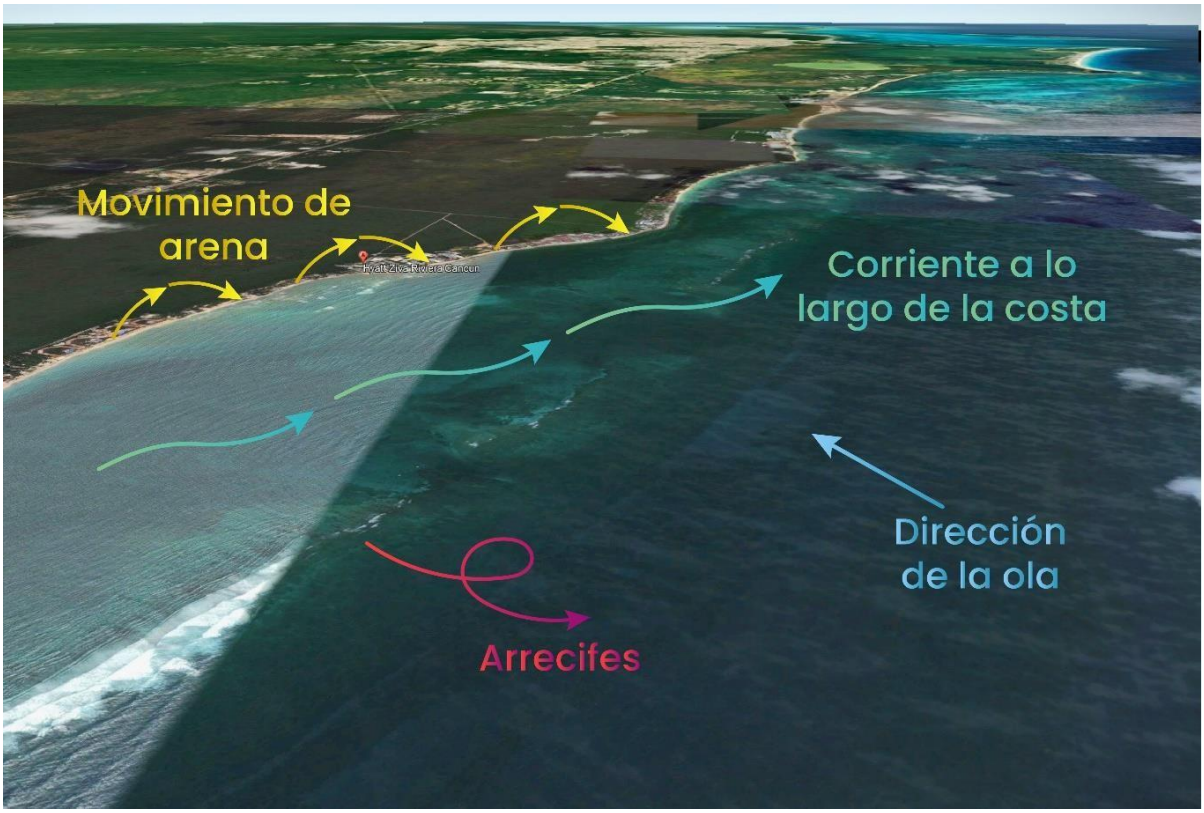


Figura 10. Agentes causantes del acarreo litoral en Puerto Morelos.

6.3. Perfil de costa regional

Clasificar o regionalizar las playas en función de su morfodinámica facilita su manejo, ya que es posible establecer criterios para reducir los riesgos y aumentar la seguridad en el desarrollo de múltiples actividades costeras (Benedet et al. 2004). En la parte terrestre, la playas Quintanarroenses tienen una distribución típica con una playa sumergida extensa y con poca profundidad; la playa seca que está constituida por sistema dunar y posterior a este un sistema de mangle tal como se muestra en la figura siguiente.

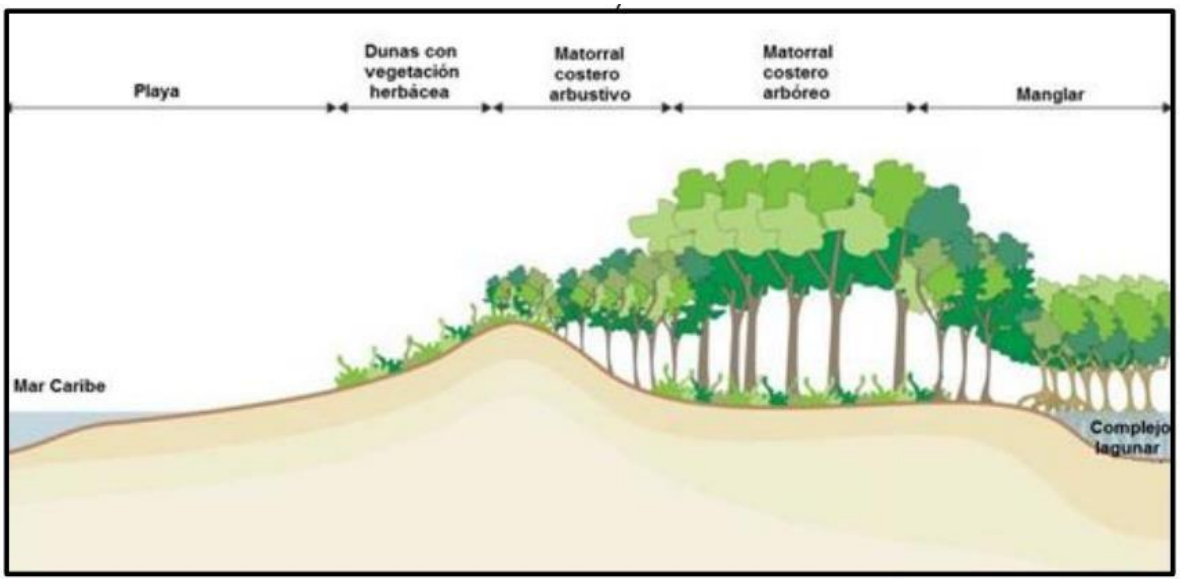


Figura 11. Perfil típico de distribución de la parte terrestre de la costa en la Riviera Maya (modificado de SEMARNAT, 2006).

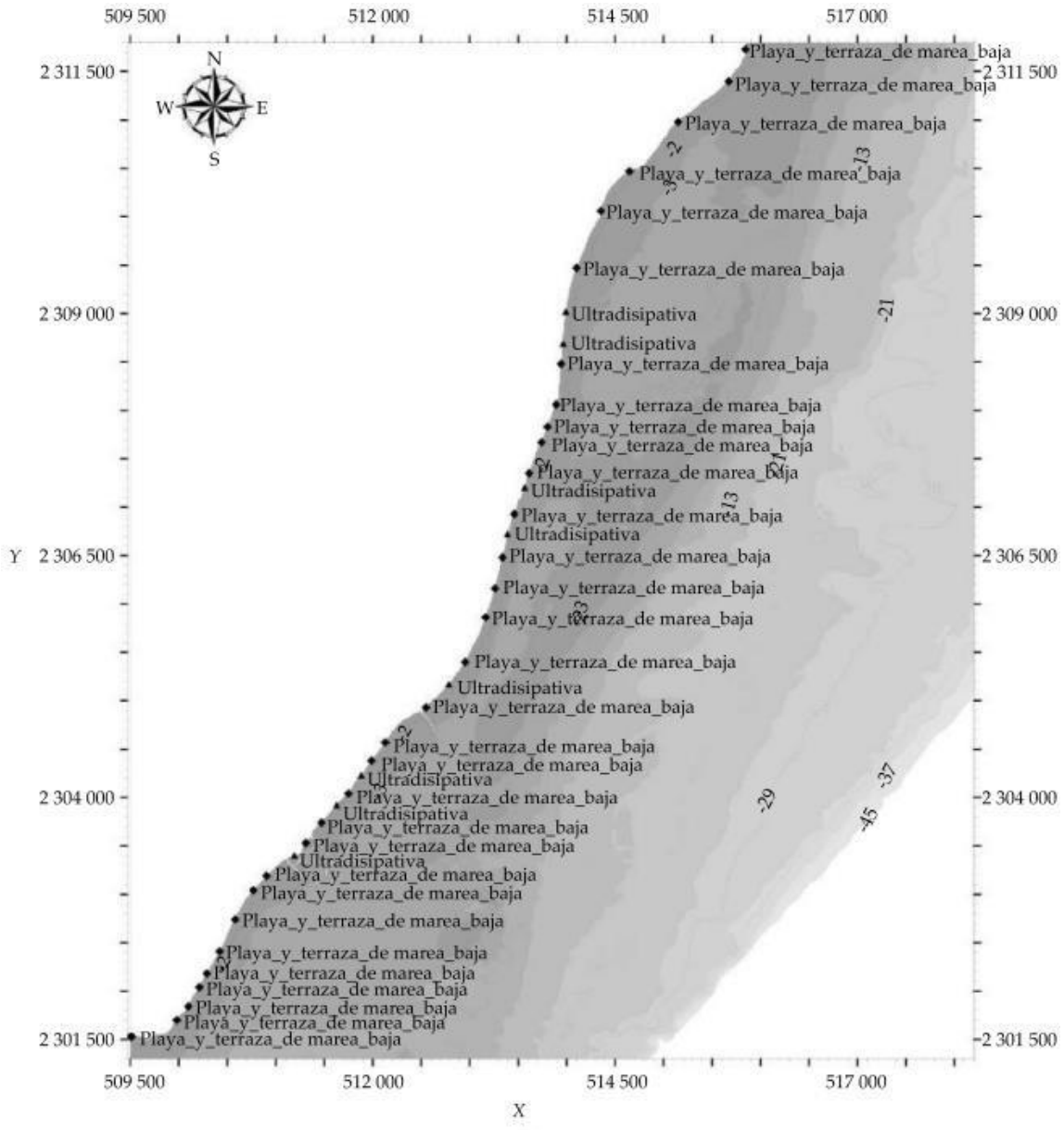


Figura 12. Estado modal de las playas en la Riviera Maya con oleaje del sureste.

Por otra parte, Wright y Short (1984) propusieron la utilización del parámetro adimensional de velocidad de asentamiento, Ω, para la clasificación de las playas, relacionando el clima de oleaje y la gravedad específica de los granos de arena. Este esquema establece un comportamiento reflectivo de las playas para valores de Ω < Ω 6. Ruiz-Martinez et.al. (2015), utiliza esta clasificación y determina que la mayoría de las playas se clasifican de tipo disipativa (Figura 12).

7. FACTORES ANTROPOGÉNICOS REGIONALES

La Riviera Maya ha experimentado un rápido auge en popularidad y turismo en las últimas décadas, lo que ha llevado a un incremento significativo en el impacto humano en la región. El desarrollo costero, la construcción de hoteles, la expansión urbana y las actividades turísticas han dejado una huella masiva en el entorno. Es crucial reconocer que estos factores antropogénicos ejercen una influencia directa en la recuperación natural de arena en la costa del desarrollo Dreams Pto Morelos. Sin embargo, es importante destacar que detener el crecimiento del turismo no es una opción realista ni deseable. En cambio, debemos enfocarnos en adaptar nuestros proyectos y prácticas a una perspectiva más sustentable. Esto implica la implementación de estrategias que minimicen el impacto ambiental y promuevan la conservación de nuestros recursos costeros. La sostenibilidad se convierte en un elemento esencial para garantizar que el crecimiento turístico continúe de manera armoniosa con la preservación de la belleza natural de la Riviera Maya y de recursos valiosos como el desarrollo Dreams Pto Morelos.



Figura 13. Cambios urbanísticos de Cancún de 1974 a 2010. Fuente: Jóvenes Construyendo.

8. FACTORES MARINOS LOCALES

Resumen: En esta sección se describe la hidro-morfodinámica local del sitio de estudio de Dreams Pto Morelos, basada en trabajos de campo realizados por Tecnoceano.

La marea local en el sitio fue caracterizada como mixta semidiurna, con variaciones de poca amplitud, coincidiendo con la marea típica del sistema ambiental regional (Figura 14).

Los estudios de corrientes locales se llevaron a cabo utilizando un Perfilador de Corrientes Acústico Doppler (ADCP), confirmando una corriente bidireccional dirigida hacia el NNE y SSW, modulada por la marea y el efecto de la corriente de Yucatán. Se presentan datos de magnitud (promedio de 0.5 m/s) y dirección de la corriente durante un período de 28 días (Figura 15), así como una rosa de corrientes que destaca las direcciones dominantes provenientes del NNE y SSW (Figura 16).

Las mediciones de oleaje local realizadas con el ADCP estático muestran alturas promedio de 1 metro, con un evento de oleaje intenso de 2.5 metros. La dirección predominante del oleaje fue del este con tendencia hacia el sureste. Se presenta una gráfica de altura, periodo y dirección del oleaje de la zona (Figura 17), así como histogramas 2D comparativos con el nodo de WWIII más cercano, que muestran las combinaciones más frecuentes de altura de ola, periodo y dirección en la zona de interés (Figura 18).

Anteriormente se describió el sitio de estudio de Dreams Pto Morelos a nivel regional. En esta sección se describirá la hidro-morfodinámica local del sitio, basada en trabajos de campo realizados por Tecnoceano.

[redacted]

8.1. Marea local

La marea medida en sitio fue mixta semidiurna con variaciones de poca amplitud incluso en mareas vivas y concuerda con la marea típica del sistema ambiental regional.

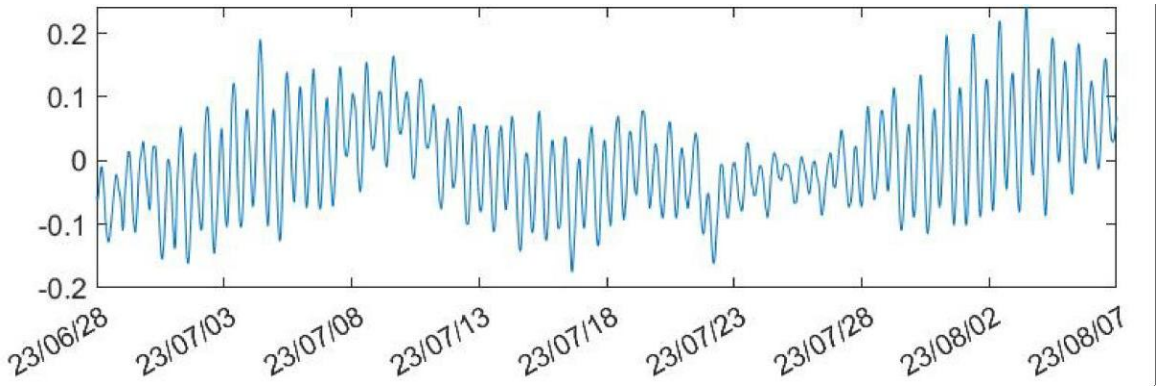


Figura 14. Marea medida con el ADCP. Las variaciones coinciden con las proyectadas por el CICESE en la estación Puerto Morelos.

8.2. Corrientes locales

Los estudios realizados para conocer la corriente del sitio requirieron el uso de un Perfilador de Corrientes Acústico Doppler (ADCP) de forma estática. El método consiste en medir las corrientes en un punto dado durante una cantidad de tiempo, así como la variación de la corriente en la columna de agua.

Gracias a las mediciones, se comprobó que la corriente es bidireccional dirigida hacia el NNE y SSW y se encuentra modulada por la marea y el efecto de la corriente de Yucatán. La figura siguiente muestra la elevación del nivel del mar y la corriente medida durante 28 días, en donde los colores verdes del gráfico central indican corrientes máximas de 0.5 m/s y en colores azules corrientes de muy bajas intensidades, casi nulas. Por otro lado, en el gráfico inferior la variación del color entre azul y verde indica la bidireccionalidad de la corriente, presente a lo largo de todo el mes.

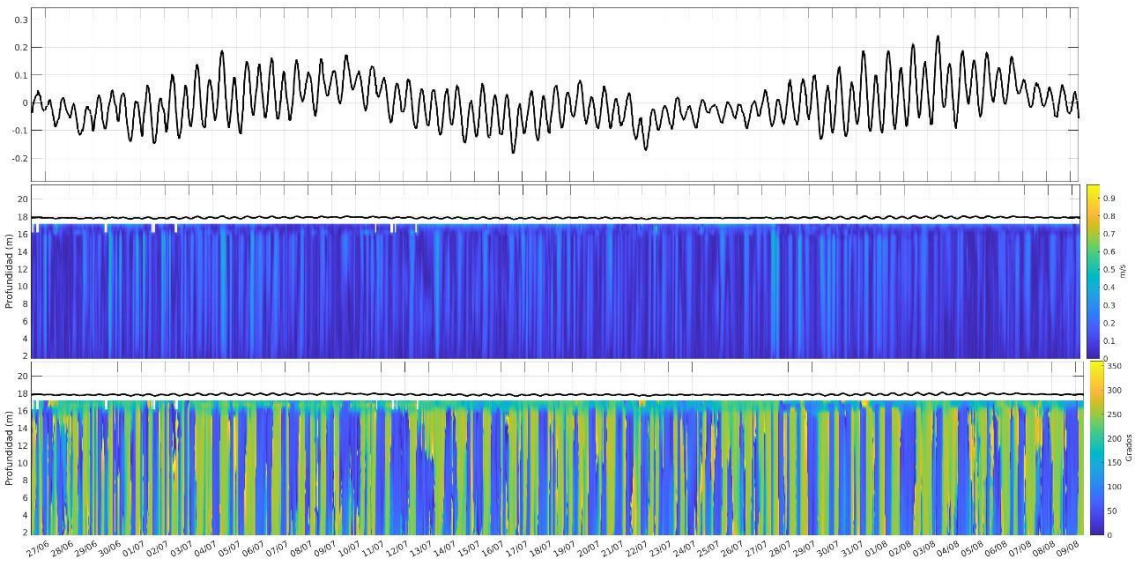


Figura 15. Datos de corriente. El panel superior muestra la señal de marea. El panel central muestra la magnitud de la velocidad en la columna de agua, los valores se muestran en el panel lateral. El panel inferior muestra la dirección de la corriente en la columna de agua en grados.

A continuación, se presenta una gráfica de rosa de corrientes, una estadística que de manera clara e intuitiva establece las corrientes dominantes y las contribuciones que cada dirección y magnitud tiene en el sitio. A pesar de que se pierde la información temporal la información presentada es clara y muy útil para entender la dinámica del sitio.

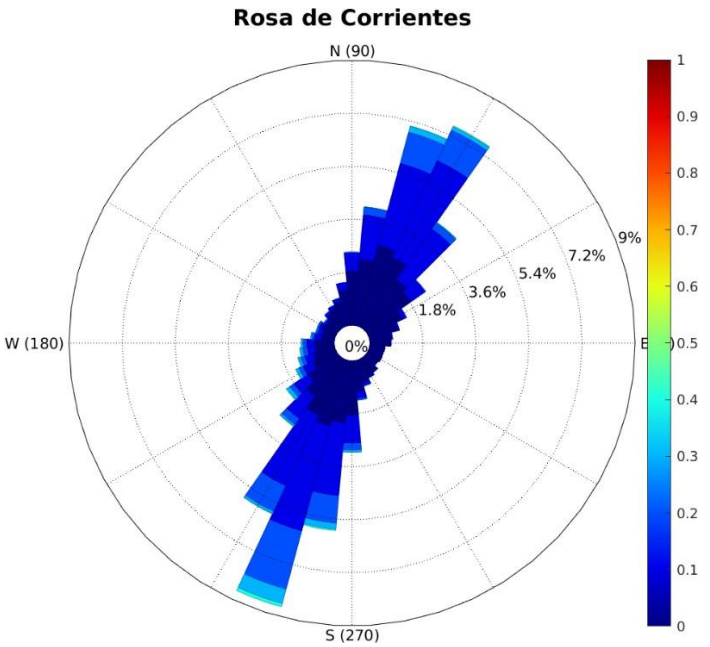


Figura 16. Rosa de corrientes con direcciones dominantes hacia el NNE y SSW.

8.3. Oleaje local

Las mediciones obtenidas con el ADCP estático coinciden con los periodos típicos del Caribe Mexicano. Las alturas de ola tuvieron un promedio de 1 m con un evento de oleaje intenso de 2.5 m. La dirección del oleaje fue principalmente del este con tendencia hacia el sureste. La información de oleaje junto con las corrientes ayuda mucho a entender la dinámica que tiene el sitio, sin embargo, es necesario contar con una serie temporal mucho más grande para poder determinar los tiempos de recuperación que están asociados a la hidrodinámica y a la estabilidad ecológica en la región.

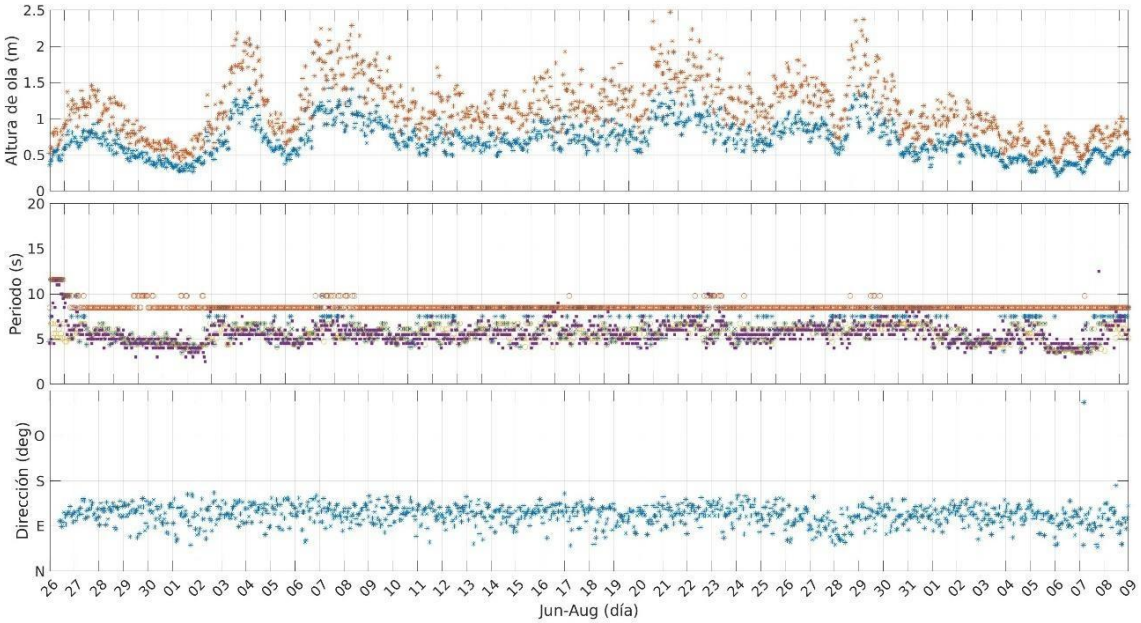


Figura 17. Altura (arriba), periodo (centro) y dirección (abajo) del oleaje de la zona.

Para visualizar de mejor manera cuáles son las combinaciones de altura de ola, periodo y dirección más frecuentes en la zona de interés se muestra una gráfica de histograma y además una comparativa con el nodo de WWIII más cercano a la zona. Esto compara el oleaje en aguas abiertas y el oleaje incidente cercano a la costa.

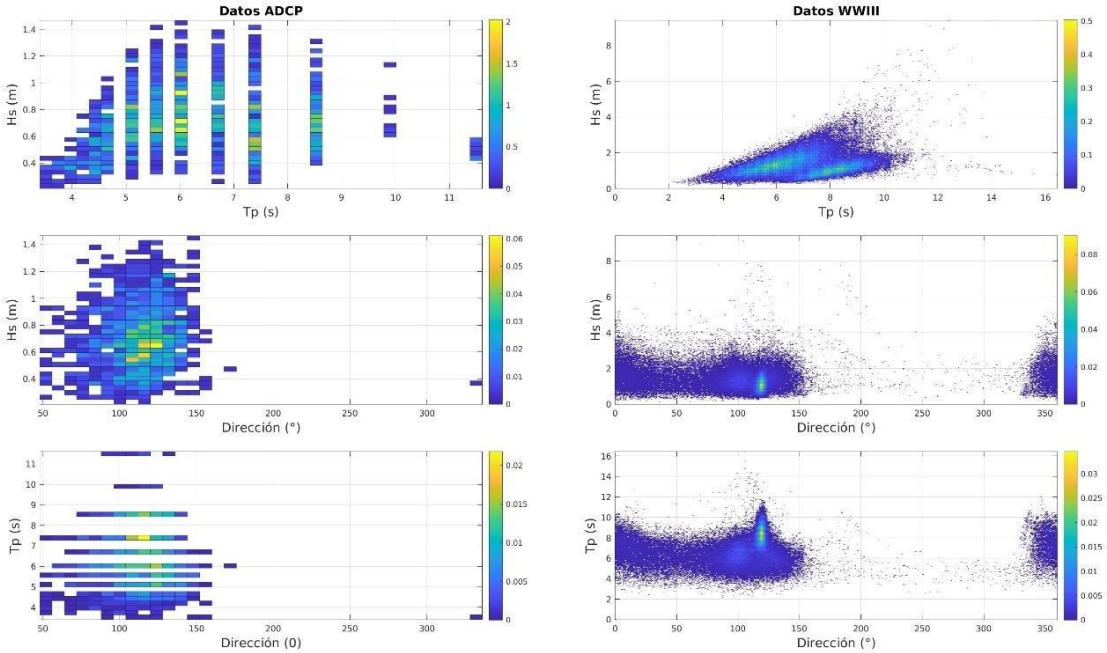


Figura 18. Histogramas 2D. Altura (superior), dirección (central) y periodo (inferior) del oleaje. A la izquierda se muestran los datos medidos por el ADCP durante el periodo de muestreo. A la izquierda los datos del nodo del WWIII más cercano al proyecto.

En aguas abiertas hay una dirección preferencial alrededor de 120° (ESE), las alturas de oleaje más probables están entre 1 y 3 metros. Y los periodos están entre los 6 a los 12 segundos. El ADCP instalado tuvo buena concordancia con los datos de aguas abiertas; la dirección más probable tiene una concordancia en la medición de los 120°, las alturas de oleaje más probables están entre 0.3 y 1 m.

9. FACTORES TERRESTRES LOCALES

Resumen: Las características del sedimento predominante en Dreams Pto Morelos fueron determinadas mediante análisis de muestras obtenidas en el sitio y posteriormente analizadas en laboratorio (Figura 19). Los parámetros granulométricos revelaron un diámetro promedio de sedimento (D50) de 0.247 mm y una densidad de 2.71 ton/m³ (Tabla 1).

Los ciclos de erosión, acreción y acarreo litoral están influenciados por las condiciones locales de oleaje y viento. En momentos de calma, el transporte neto de sedimentos tiende hacia la costa, mientras que, durante tormentas, se observa un transporte transversal hacia el mar, causando erosión costera (Figura 20).

Se definen tres celdas litorales: macro, meso y microcelda, delimitadas según las fuentes y vías de transporte de sedimentos a lo largo del litoral (Figura 21). La macrocelda (rojo) está delimitada al norte por el Playa Coral (El Mirador II) y al sur por Marina el Cid Puerto Morelos; la mesocelda (amarillo) se extiende desde Margaritaville Island Reserve Riviera Cancún hasta API Puerto Morelos, y la microcelda (verde) se encuentra entre Desire Riviera Maya Resort y Edificio Caracol. Esta delimitación permite capturar los procesos costeros relevantes para el proyecto y facilita el análisis cuantitativo de la dinámica costera en diferentes escalas espaciales.

El retroceso de la línea de costa en el Caribe mexicano está asociado a factores como el aumento del nivel del mar, la intensificación de eventos metaoceánicos extremos y la escasez de aporte sedimentario. El manejo de imágenes satelitales es una herramienta útil para detectar cambios significativos en la evolución de la costa (Figura 22), como lo fue para el caso de Dreams Pto Morelos, en el que se detectó una erosión promedio de 25 m de playa.

[redacted]

9.1. Características del sedimento

Para obtener las características físicas del sedimento predominante en Dreams Pto Morelos, se obtuvieron muestras que posteriormente fueron analizadas en laboratorio.



Figura 19. Muestreo arena

La siguiente tabla contiene los parámetros granulométricos que fueron obtenidos a partir de las muestras arriba mencionadas.

Tabla 1. Distribuciones de tamaños de las muestras tomadas.

Muestra	M-3	M-4
D10	0.33	1.32
D16	0.27	0.93
D30	0.21	0.57
D50	0.16	0.36
D60	0.14	0.30
D85	0.11	0.18
C Uniformidad	0.42	0.23
C Curvatura	0.95	0.82
Densidad (Ton/m3)	2.75	2.61

9.2. Acarreo litoral local

Los ciclos de erosión acreción y acarreo litoral están íntimamente relacionados con las condiciones de oleaje en la zona y las condiciones de viento local, dado que estos dos forzamientos son los que gobiernan la circulación cerca de la costa. Los momentos de acreción en las playas arenosas están asociadas a momentos de calma, en los que debido a la asimetría que el oleaje presenta por procesos de someramiento, el transporte neto antes de la zona de rompiente es hacia la costa.

En estas condiciones la zona de rompiente típicamente es muy cercana a la línea de costa. Por el contrario, en momentos de alta energía de oleaje, en donde la zona de rompiente está más alejada de la línea de costa, existe un transporte transversal a la línea de costa con dirección al mar, lo que típicamente lleva a condiciones de erosión en la línea de costa. Estos procesos se ilustran en la siguiente figura.

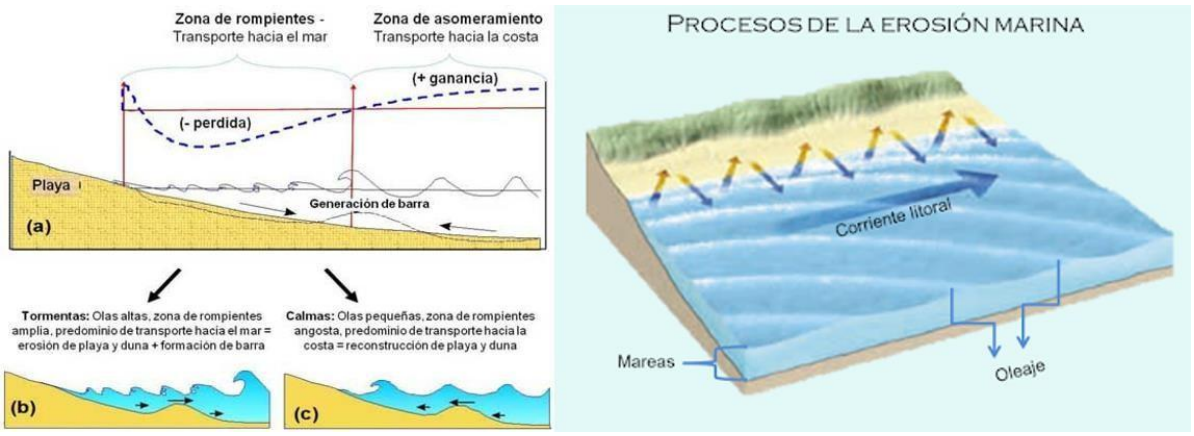


Figura 20. A la izquierda se ilustra el transporte antes y después de la rompiente y la diferencia entre momentos de calma y tormentas. A la derecha se muestra cómo se forman las corrientes litorales debido al oleaje.

9.3. Definición de celda litoral

De acuerdo con Inman (2003), una celda litoral es un segmento de la costa con distintas fuentes de sedimentos y vías de transporte a lo largo del litoral y sumideros, donde el sedimento se elimina del sistema litoral. Conceptualmente, la celda delimita un área donde el contenido de sedimentos es equilibrado para el análisis cuantitativo. Para la zona de estudio, se delimitaron 3 celdas: la macro, meso y micro celda.



Figura 21. Delimitación de las celdas litorales.

La **macrocelda** (rojo) está delimitada al norte por el Playa Coral (El Mirador II) y al sur por Marina el Cid Puerto Morelos; ambas puntas son un parteaguas que interrumpe de manera constante el transporte de sedimento de la región. La **mesocelda** (amarillo) está delimitada al norte por Margaritaville Island Reserve Riviera Cancún y al sur por API Puerto Morelos. La **microcelda** (verde), propuesta por Martell et al. (2010), está delimitada al norte por Punta Pemtempich y al sur por el Hotel Excellence Riviera Cancún.

Dicha delimitación se ha centrado en identificar las unidades espaciales de mayor, media y menor escala, con el fin de capturar los procesos y fenómenos costeros más relevantes para el presente proyecto.

9.4. Retroceso de la línea de costa

El retroceso de la línea de costa en el caribe mexicano presenta una problemática multifacética, influenciada por diversos factores regionales y locales. A nivel regional, se han identificado causas como el aumento del nivel del mar (Acuña, 2012), la intensificación y frecuencia de eventos meteorológicos extremos (Mann & Emanuel, 2006), y la disminución del aporte sedimentario debido a la degradación del ecosistema arrecifal (Arrecifes Saludables, 2018). Estos factores contribuyen al desequilibrio en el balance de sedimentos a lo largo de la costa, exacerbando los procesos de erosión. Sin embargo, es importante destacar que la problemática del retroceso costero también está influenciada por factores locales, como la presencia de infraestructuras hoteleras y la falta de protección en ciertas secciones del arrecife natural de Puerto Morelos (Martell et al. 2010 & Caballero-Aragón, Hansel, et al. 2020).

Para comprender mejor la dinámica costera y abordar de manera efectiva la problemática del retroceso de la línea de costa, se propuso el análisis de las celdas litorales anteriormente descritas. Estas celdas, definidas como segmentos de la costa con distintas fuentes de sedimentos y patrones de transporte, ofrecen una perspectiva de los procesos costeros en diferentes escalas. La delimitación de tres celdas específicas - macro, meso y micro - permitió identificar unidades espaciales de mayor, media y menor escala, respectivamente.

La **microcelda**, comprendida desde Punta Pemtempich hasta el Hotel Excelence Riviera Cancún, se caracteriza por su escala más reducida y su importancia en la comprensión de los procesos costeros a nivel localizado. Esta microcelda resulta ser de gran tendencia erosiva, con 5.1 m/año. En la presente se combinan la influencia de una actividad antropogénica de carácter moderado con la presencia de aberturas en la cresta arrecifal, lo cual propicia un mayor espacio para la actividad hidrodinámica (Martell et al. 2010).

El análisis detallado de la microcelda revela la importancia de comprender su funcionamiento en el contexto del balance de sedimentos. La presencia de construcciones hoteleras y la ausencia de protección estructural en ciertas secciones del frente marino permiten la propagación del oleaje sin atenuación hacia la costa, exacerbando los procesos de erosión. En este sentido, las obras propuestas, como la implementación de estructuras de protección costera, se vuelven fundamentales para contrarrestar el retroceso costero y garantizar la estabilidad a largo plazo de la línea de costa en la zona de estudio. Como lo sugiere

Martell et al. (2010), “una de las medidas aparentemente imprescindibles para mitigar los efectos de este proceso erosivo es la **alimentación artificial de arena**, cuya efectividad podría incrementarse introduciendo mejoras en el diseño y construcción de los perfiles de vertimiento. Igualmente, la **i**ntroducción de geotubos, en sectores seleccionados de la playa, podría contribuir a reducir la energía del oleaje incidente y prolongar el tiempo de vida útil de los proyectos de regeneración de playa que se ejecuten en el futuro.”

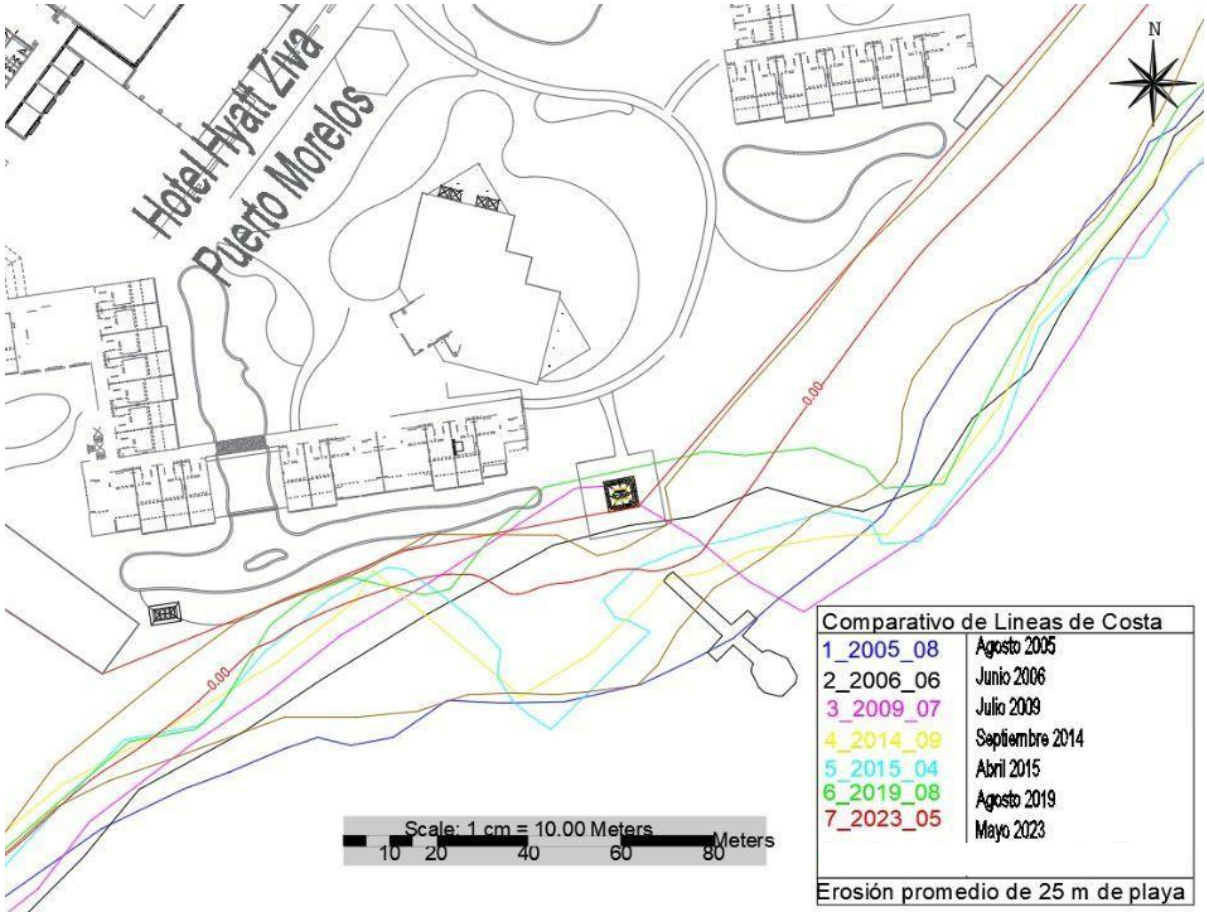


Figura 22. Erosión de la línea de costa.

10. FACTORES ANTROPOGÉNICOS LOCALES

El análisis de los factores antropogénicos locales en el entorno del Hotel Dreams Pto Morelos revela la compleja interacción entre las intervenciones humanas y la dinámica costera. A lo largo de los años, se han implementado diversas medidas para mitigar la erosión y mantener la integridad de la playa frente al hotel. Sin embargo, la efectividad limitada de estas medidas previas resalta la necesidad de una estrategia integral que aborde las deficiencias identificadas.



Figura 23. 2009 - Erosión en la Parte Suroeste.

La implementación de estructuras para redistribuir el sedimento a lo largo del frente del hotel en respuesta a la significativa erosión en la parte suroeste del predio en 2009 fue un primer intento por estabilizar la costa. Aunque estas estructuras lograron una recuperación parcial de arena en el suroeste para 2013, se evidenció un retroceso general de la línea de costa en todo el predio. Este fenómeno sugiere que las medidas adoptadas hasta entonces no abordaron completamente las complejas fuerzas que influyen en la dinámica costera.



Figura 24. 2013 - Recuperación Parcial.



Figura 25. 2014 - Recuperación del Equilibrio.

Se observa una relativa recuperación en la playa, logrando una distribución uniforme del sedimento frente al hotel.



Figura 26. Implementación de Espigón en el Norte.

Aparece un espigón en la parte norte del predio en 2015, aparentemente desencadenando un desequilibrio en la morfología de la playa impulsado por las condiciones hidrodinámicas.



Figura 27. 2019. Pérdida de Sedimento en el Suroeste.

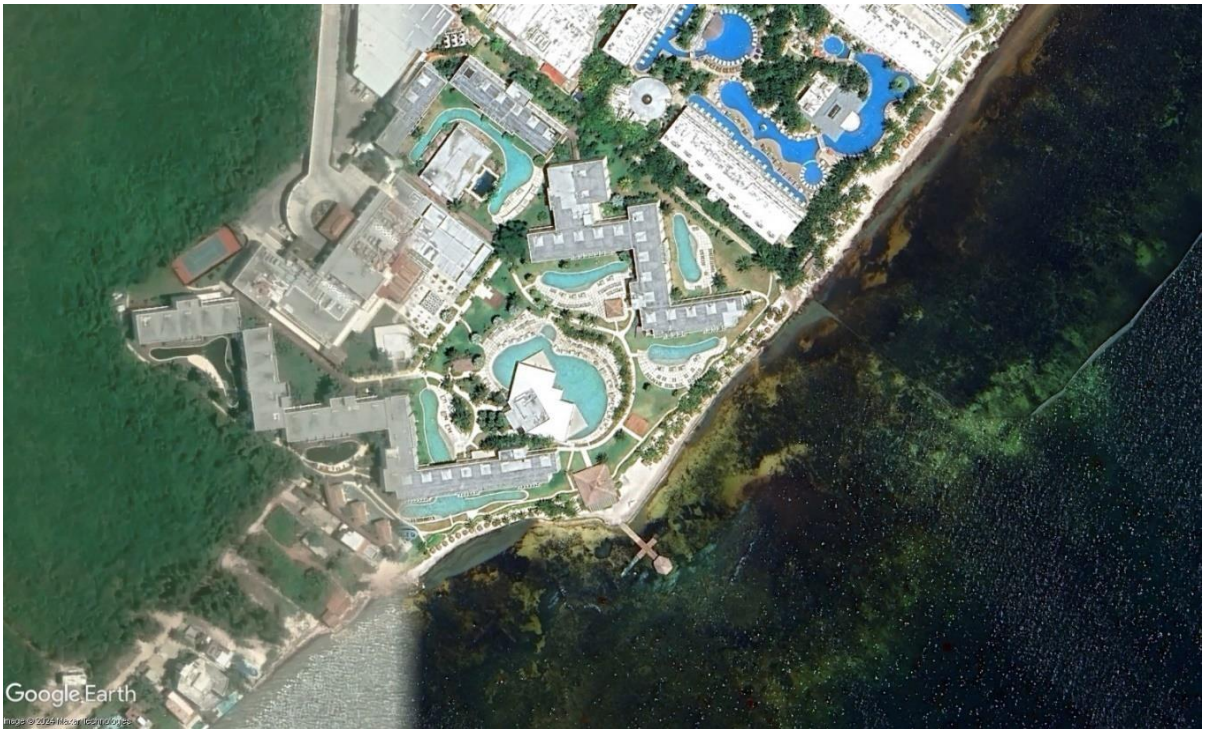


Figura 28. 2023. Vista la playa de Dreams Pto Morelos.

A pesar de la tendencia natural de la playa a recuperarse, se identifica una pérdida de sedimento nuevamente en la parte suroeste, indicando la complejidad de las fuerzas que actúan en el sitio.

Se adjunta una comparativa visual entre la línea de costa antes de la construcción del hotel y la imagen satelital más reciente. Este análisis permite una evaluación más clara de los efectos antropogénicos y la evolución a largo plazo de la morfología costera en el área del Hotel Dreams Pto Morelos.



Figura 29. 2005 vs 2023. Evolución morfológica de Dreams Pto Morelos.

La agravación de la erosión costera en Dreams Pto Morelos y alrededores se debe en gran medida al consecuente desgaste del arrecife natural de Puerto Morelos, como lo señalan Martell et al. (2010) y Caballero-Aragón, Hansel, et al. (2020). Este desgaste ha dejado expuesta la costa a la energía del oleaje sin la debida atenuación, lo que ha acelerado los procesos erosivos.

La eficacia limitada de las estructuras previamente implementadas se atribuye principalmente a la falta de un análisis exhaustivo de las celdas litorales y la determinación del sitio óptimo para la colocación de dichas estructuras. La ausencia de este análisis impidió comprender plenamente las complejas interacciones entre las corrientes, la morfología costera y la distribución de sedimentos en el área específica del proyecto.

Gracias al análisis histórico enunciado anteriormente, se observó que las estructuras perpendiculares a la playa, como el espigón implementado en 2015, no solo son ineficaces para contener la erosión, sino que también agravan el problema al interrumpir el transporte natural de sedimentos a lo largo del litoral. Por otro lado, en 2013 se implementaron estructuras paralelas a la línea de costa que lograron una recuperación parcial del equilibrio morfodinámico. Sin embargo, su proximidad a la playa creó tómbolos que obstaculizaron el transporte sedimentario, lo que demostró ser una solución insatisfactoria a largo plazo.

Con lo anterior se observó que las estructuras anteriores no lograron abordar adecuadamente las causas fundamentales de la erosión costera y, en algunos casos, incluso contribuyeron a agravar el problema al interrumpir el transporte natural de sedimentos a lo largo del litoral.

En contraste, la propuesta de implementación de obras del presente proyecto se distingue por tener en cuenta factores como la orientación de las estructuras, su distancia a la línea de costa, entre otros, los cuales fueron determinados por el análisis detallado de la microcelda litoral. Al considerar estos aspectos, los geotubos se diseñan para no solo mitigar la erosión costera de manera efectiva, sino también para minimizar los impactos negativos en predios vecinos y asegurando su efectividad a largo plazo.

11. EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIANTE MODELOS NUMÉRICOS

Resumen: En este capítulo se presenta una síntesis del procedimiento y resultados de la evaluación del impacto mediante modelos numéricos aplicados al predio de Dreams Pto Morelos, con el objetivo de evaluar la eficiencia del proyecto de protección y recuperación de playa.

Se empleó el modelo Delft3D, un conjunto de modelos numéricos avanzados que permiten simular la hidrodinámica, morfología y calidad del agua en zonas costeras.

La evaluación hidro-morfodinámica del proyecto se llevó a cabo mediante diversas simulaciones, cada una adaptada para proporcionar un nivel de detalle apropiado.

En cuanto a las características de los dominios de modelación, se diseñaron mallas con diferentes niveles de resolución para satisfacer las necesidades de cada etapa del estudio. Se generaron tres dominios con resoluciones de 200x200 m, 20x20 m y 2x2 m, respectivamente (Figuras 30-32).

Para los parámetros de entrada, se consideraron los forzamientos principales que inducen el movimiento del agua: oleaje, viento y marea. Se realizó un análisis estadístico del oleaje para optimizar los escenarios simulados, y se introdujeron las condiciones de viento y marea obtenidas de fuentes confiables (Figuras 33, 34).

Además, se crearon matrices de datos topo-batimétricos que representan las condiciones actuales del sitio y una versión editada con las condiciones proyectadas después de la implementación del proyecto (Figura 35).

Se consideraron también aspectos morfológicos, como las características del sedimento y la rugosidad del terreno. Se generó un mapa de sedimentos inicial para el modelo (Figura 36). Asimismo, se asignaron parámetros de rugosidad basados en la caracterización biológica del sitio (Figuras 37, 38).

Finalmente, se llevó a cabo la calibración del modelo, asegurando que pudiera reproducir la hidrodinámica del sitio. Se compararon las velocidades medidas en el sitio con las calculadas por el modelo, obteniendo una correlación aceptable entre ambos conjuntos de datos.

[redacted]

El presente capítulo es un resumen del procedimiento y resultados de simular varios modelos hidro y morfodinámicos aplicados al predio de Dreams Pto Morelos para evaluar el impacto y la eficiencia de implementar el proyecto de protección y recuperación de playa.

Ya que los grupos de rutinas numéricas emplean diferentes soluciones matemáticas, se evaluaron los diferentes aspectos físicos de acuerdo con las competencias de los que se consideran los mejores modelos para simular condiciones de transformación del oleaje, movimiento de sedimentos, comportamiento de corriente tomando en cuenta múltiples factores como densidad, fuerza de Coriolis, rugosidad de fondo, fricción por viento, mareas, etc.

Este estudio hace uso del siguiente modelo:

- **Delft3D**: es un conjunto de modelos numéricos que permiten la simulación hidrodinámica, morfológica y de calidad de agua en zonas costeras. Estas herramientas de simulación son las más avanzadas para uso comercial, con capacidades multiparamétricas, tanto en dos como en tres dimensiones.

11.1. Evaluación hidro-morfodinámica del proyecto

Con el objetivo de obtener resultados precisos y adecuados a las distintas necesidades de estudio, se han llevado a cabo diversas simulaciones que ofrecen un nivel de detalle apropiado para cada caso específico. Estas simulaciones proporcionan un enfoque integral y detallado que contribuye a una mejor comprensión de los fenómenos involucrados en el ámbito hidro-morfodinámico de este proyecto.

Este apartado está organizado de la siguiente forma: primero se presenta un resumen de las fuentes de información utilizadas, así como su validación y control de calidad. Posteriormente se explica la metodología empleada de cada una de las modelaciones realizadas; se analizan los resultados y se fundamentan los criterios empleados para el establecimiento de escenarios. Finalmente, se desarrolla el apartado de conclusiones.

11.1.1. Características de los dominios

El primer paso en un proceso de simulación es definir el área de estudio o “dominio”, el cual debe abarcar el área desde donde provienen los datos hasta la zona de interés. Puesto que la fuente de datos clima-oceanográficos se encontraba situado en las coordenadas 20.5, -86., se generaron dominios que abarcaran dicha coordenada para observar la transformación del oleaje y poder calibrar el modelo.

Las mallas se diseñaron con distintos niveles de resolución con el propósito de satisfacer las necesidades que tendría cada etapa de modelación, desde propagar de manera apropiada el oleaje, hasta el poder observar de forma clara la hidrodinámica a detalle frente al Hotel Dreams Pto Morelos. Cada nodo de cada una de las mallas (dominios) resolvió las ecuaciones de los respectivos procesos físicos para un tiempo y un espacio definidos, según las condiciones de frontera y según el modelo utilizado.

A continuación, se presentan las características de las mallas utilizadas:

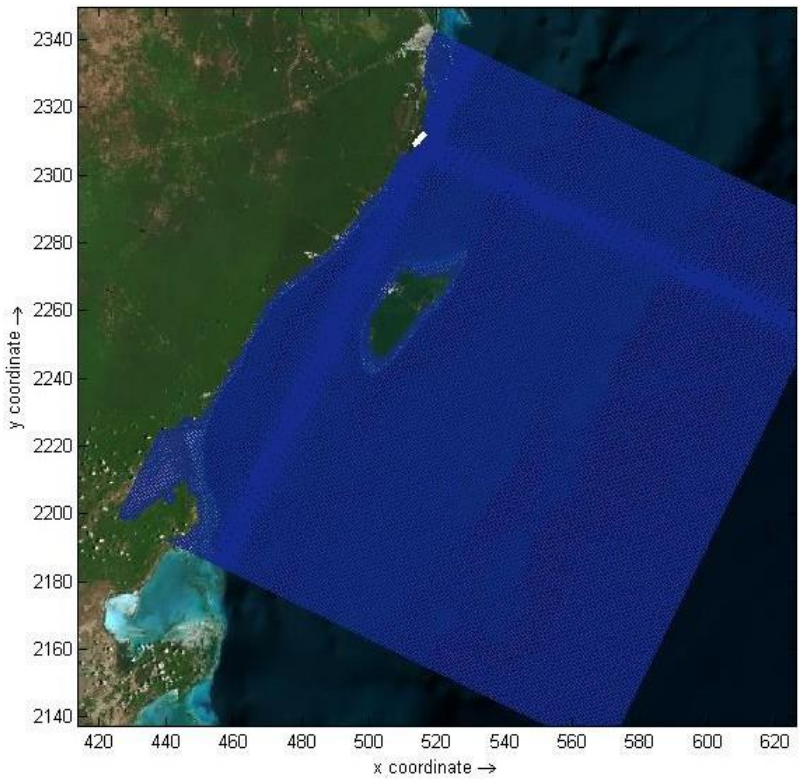


Figura 30. Dominio mayor para modelación hidro-morfodinámica. Las celdas alcanzan una resolución de 200 x 200 m.

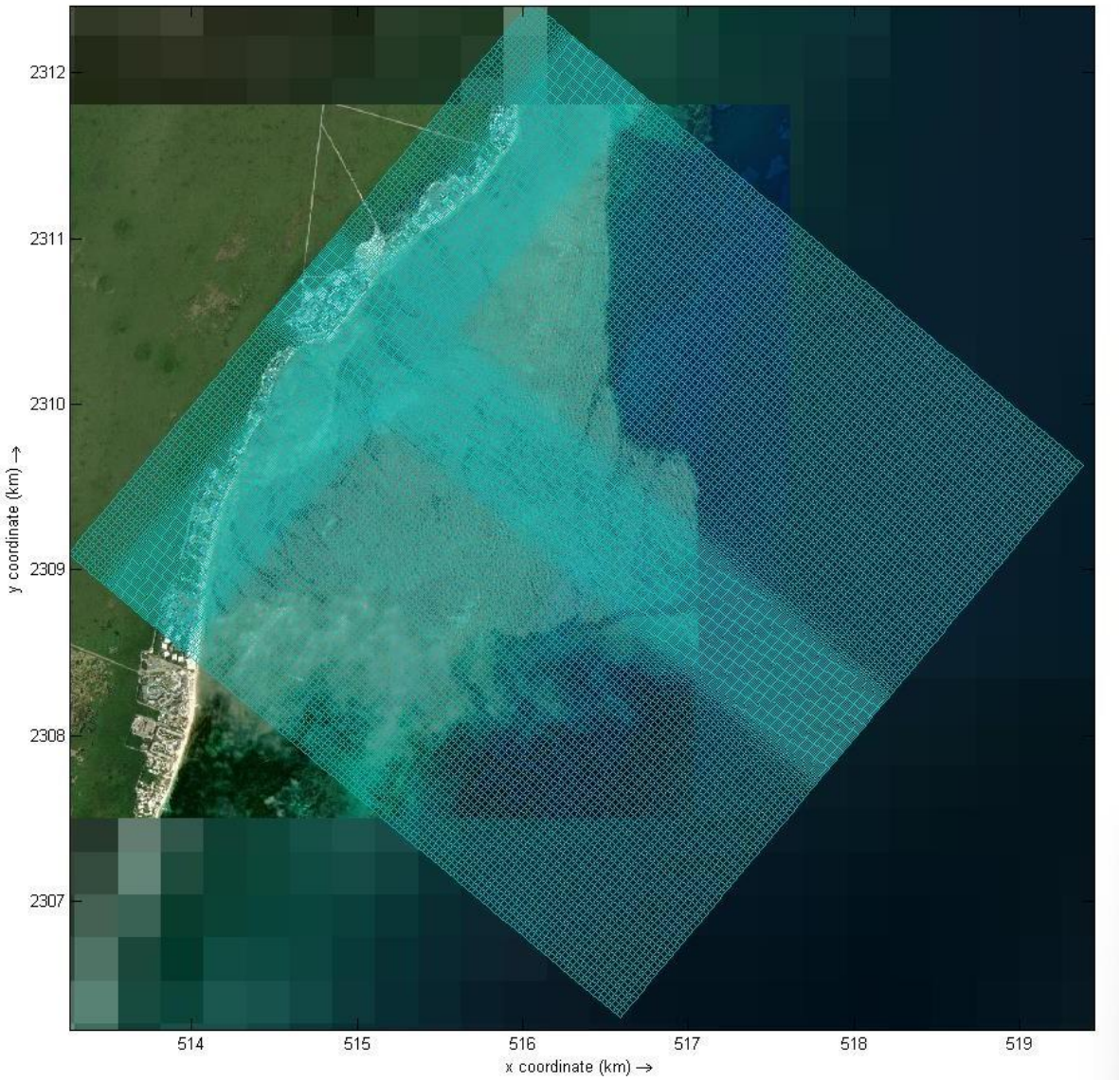


Figura 31. Dominio medio para modelación hidro-morfodinámica. Las celdas alcanzan una resolución de 10 x 10 m.

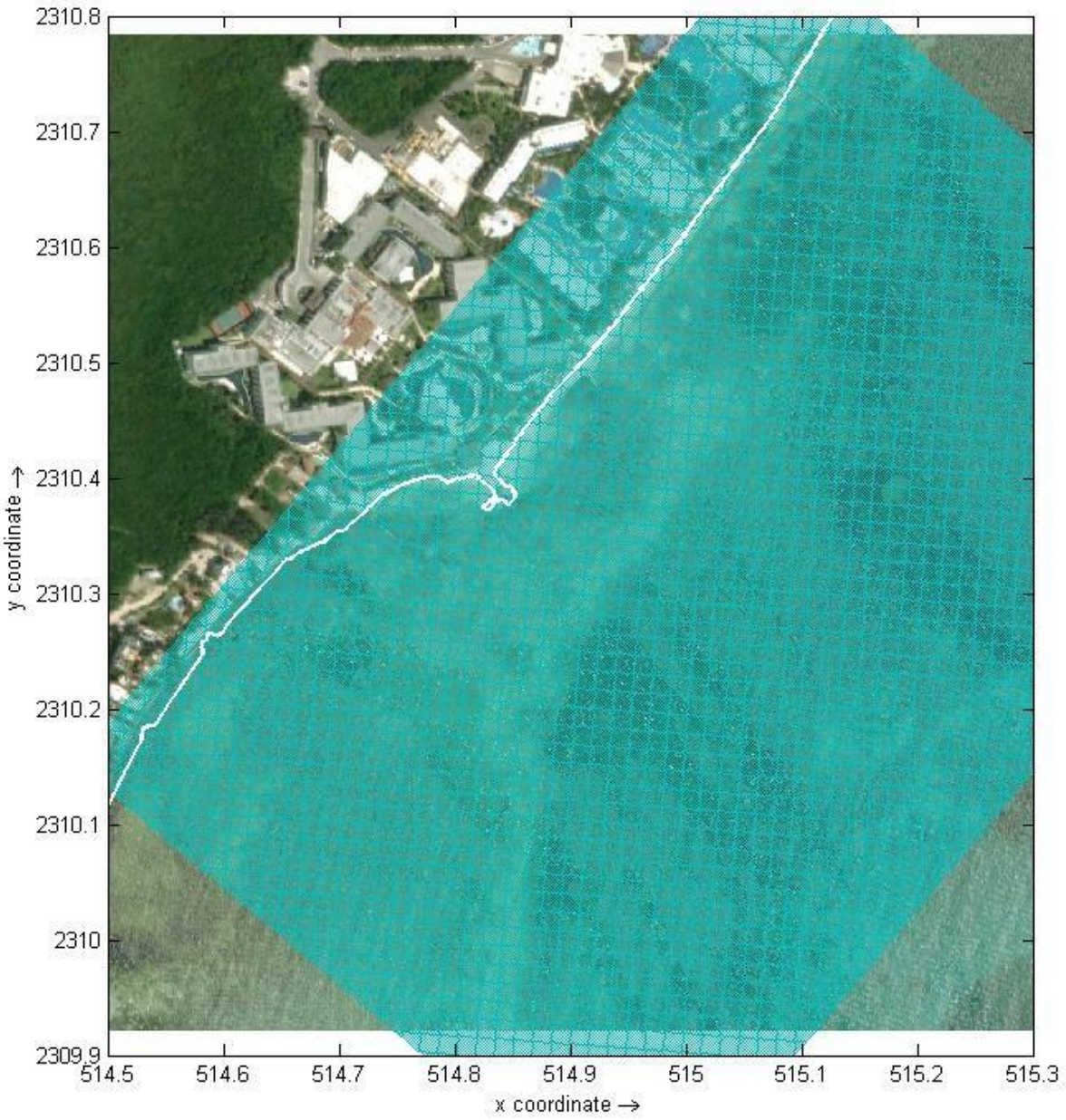


Figura 32. Dominio menor para modelación hidro-morfodinámica. Las celdas alcanzan una resolución de 2 x 2 m.

11.1.2. Parámetros de entrada

Los grupos de rutinas numéricas emplean diferentes soluciones matemáticas para simular condiciones de transformación del oleaje, movimiento de sedimentos, comportamiento de corrientes y otros fenómenos físicos, tomando en cuenta múltiples factores como densidad, fuerza de Coriolis, rugosidad de fondo, fricción por viento, mareas, etc.

A los dominios anteriormente descritos se le aplicaron los forzamientos principales que inducen el movimiento del agua, como son: oleaje, viento y marea. Estos forzamientos son los responsables del comportamiento de la corriente y transporte de sedimentos y se describirán a continuación:

11.1.2.1. Oleaje

Para optimizar los escenarios estudiados se realizó un análisis estadístico del oleaje, mismo que permitió optimizar los casos simulados y evitar modelar condiciones irrelevantes, como son periodos de calma, olas mínimas (menores de 0.3 m) o con poca energía.

Las condiciones de modelado se tomaron de una ponderación de los datos medidos en el sitio de interés y la base de datos WWIII; a partir de estos datos se generó una campana para alimentar las condiciones de oleaje reinantes al modelo. A continuación, se muestra la gráfica de las condiciones que fueron impuestas al ejercicio numérico.

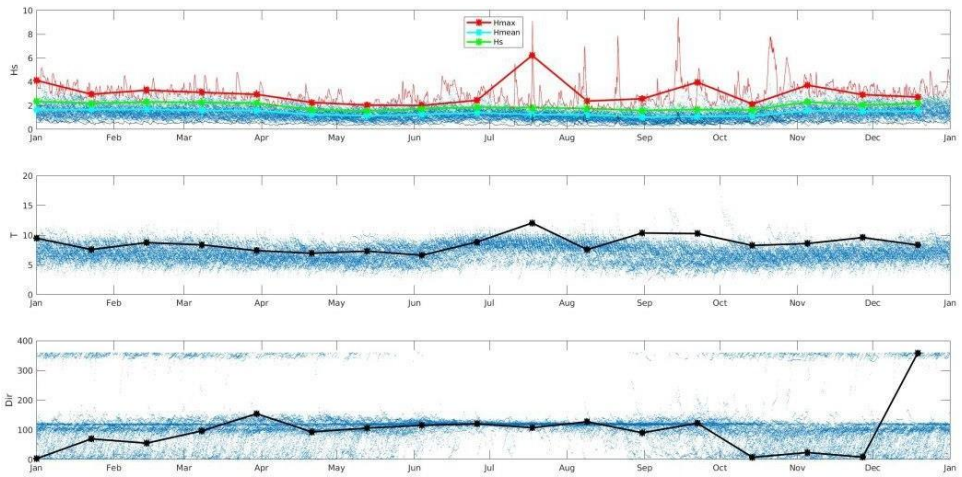


Figura 33. Condiciones de oleaje impuestas al modelo.

11.1.2.2. Viento

A través de un análisis estadístico, se resumió la información relativa a las condiciones reinantes de viento en el nodo de WWIII más cercano al sitio de estudio (20.5, -86), las cuales fueron introducidas al modelo para obtener una representación precisa y confiable de los fenómenos provocados por estos, como la generación de oleaje.

11.1.2.3. Marea

La marea, en conjunto con las condiciones del oleaje, define el nivel 0 de la línea de costa. Utilizando la base de datos in situ del ADCP, se refirió la marea medida para simular una marea mixta, la cual presenta una amplitud máxima de marea de aproximadamente 0.1 m.

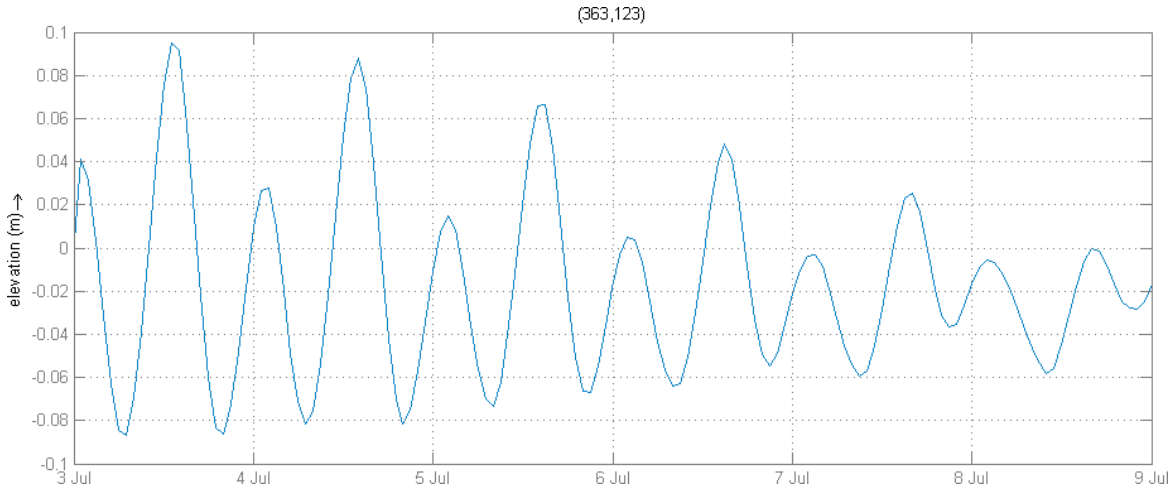


Figura 34. Marea de simulación.

11.1.2.4. Topo-Batimetría

En el contexto de este estudio, se generaron matrices de datos que contienen información topo-batimétrica. Estas matrices se crearon en dos condiciones diferentes: las condiciones actuales del sitio y una versión editada con las condiciones del banco de arena una vez realizada la extracción propuesta. En la matriz que representa las condiciones del proyecto, se incorporaron digitalmente las modificaciones que se esperan que ocurran en el terreno una vez que el proyecto sea ejecutado.

Es importante destacar que los modelos desarrollados en este estudio utilizaron una de las dos condiciones mencionadas anteriormente, dependiendo del propósito específico de cada modelo.

La creación de estas matrices de datos topo-batimétricos en dos condiciones distintas permitió realizar análisis comparativos y obtener información valiosa sobre los cambios que ocurrirán en el terreno debido a la ejecución del proyecto. Cada modelo utilizado se seleccionó cuidadosamente según su propósito, utilizando la condición más apropiada para garantizar resultados precisos y relevantes en cada caso.

11.1.2.5. Consideraciones morfológicas

Las características mecánicas del sedimento (tamaño, densidad y forma) definen la susceptibilidad a que sea suspendido y transportado por una condición dada de oleaje-corriente. Con base en un análisis de los valores obtenidos en laboratorio, se obtuvo un diámetro promedio de sedimento de **D50 = 0.247 mm** asociado a una densidad de ρ **= 2.71 ton/m³.**

Además, se generó un mapa de sedimentos como parte integral de este estudio. Este mapa tiene la función de proporcionar al modelo información precisa sobre las condiciones iniciales de la distribución y posición de los sedimentos en el dominio. Al combinar este mapa con todas las propiedades del sedimento previamente descritas, el modelo es capaz de calcular de manera detallada la cantidad, dirección y otras propiedades relacionadas con el transporte de sedimentos.



Figura 36. Mapeo de posición inicial de sedimentos en el dominio de Dreams Pto Morelos, donde colores obscuros de café indican mayor acumulación de arena.

11.1.2.6. Consideraciones de rugosidad

La rugosidad en un modelo hidrodinámico juega un papel esencial al representar la resistencia que presenta un lecho o superficie al flujo del agua. Un método comúnmente utilizado para cuantificar esta rugosidad es el coeficiente de Manning. Este coeficiente se define como la relación entre la resistencia al flujo y la raíz cuadrada del radio hidráulico, incorporando las características del lecho y la vegetación circundante. Cuanto mayor sea el coeficiente de Manning, mayor será la rugosidad y, por ende, mayor será la resistencia al flujo.

La caracterización biológica del sitio, recibida en forma de un plano detallado, se convirtió en un componente crucial para el modelo hidrodinámico. Este plano proporcionó información detallada sobre la vegetación y otros elementos biológicos presentes en el área de estudio. Con esta información, se llevó a cabo la asignación de parámetros de rugosidad en el modelo, utilizando el coeficiente de Manning como base.

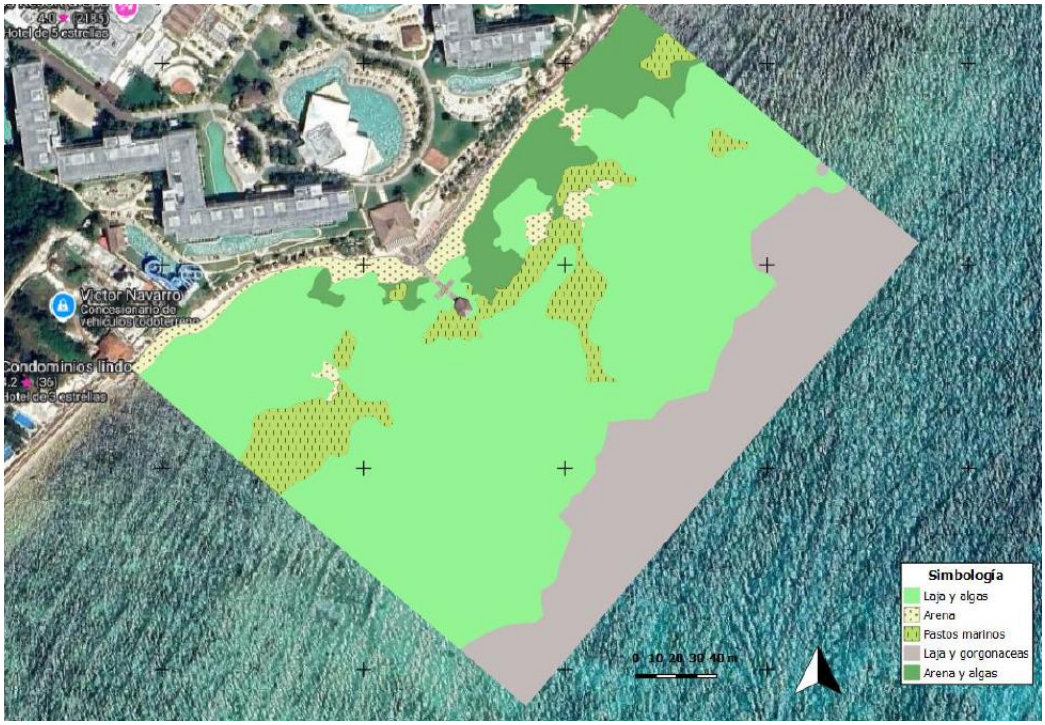


Figura 37. Caracterización biológica proporcionada por el cliente.

A continuación, se realizo un mapeo correspondiente a los valores de coeficiente de Manning asignados, expresados en una escala de colores. Este mapeo permitió una interpretación rápida y clara de las variaciones de rugosidad en diferentes áreas del sitio, ofreciendo información valiosa para el modelado hidrodinámico.

11.1.3. Calibración del modelo

Una parte fundamental en la generación de escenarios futuros por medio de modelación numérica es la calibración. Este paso en la configuración de un modelo consiste en asegurarse que el modelo numérico pueda reproducir la hidrodinámica del sitio. Esto se puede lograr comparando los resultados medidos en el sitio de interés con los calculados por el modelo. La siguiente figura muestra el ajuste de la marea medida por el ADCP en una línea roja recta y la calculada por el modelo en una línea azul.

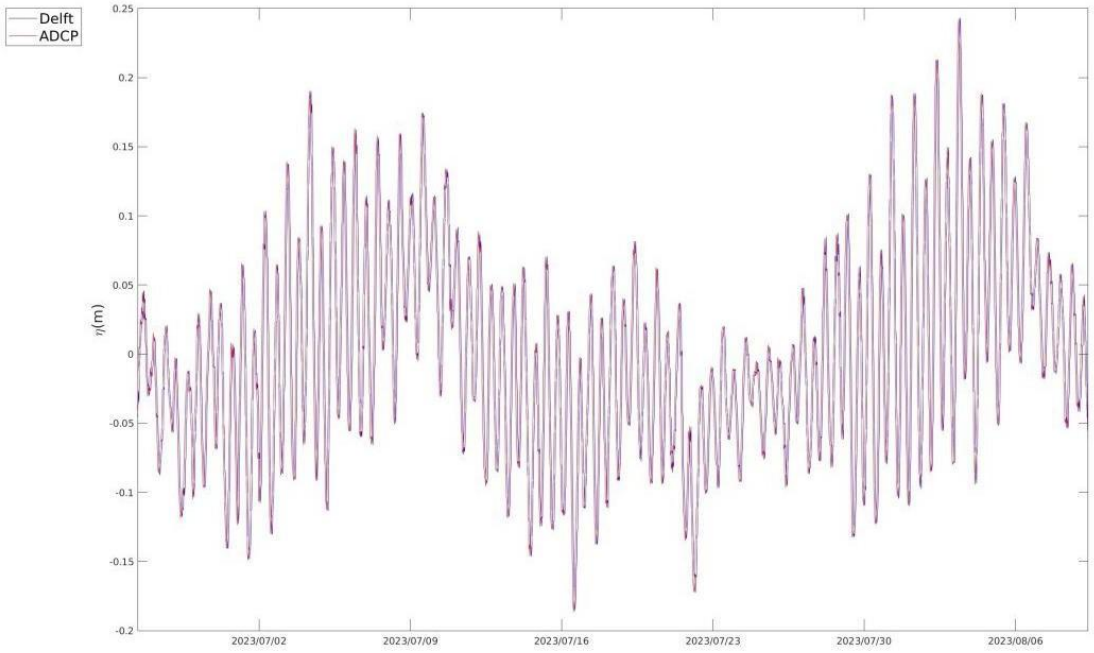


Figura 39. Comparativo de marea medida en sitio y resultados del modelo numérico.

La figura muestra que la tendencia de los niveles de agua tiene una correlación aceptable. Una vez que la configuración del modelo logra reproducir la hidrodinámica del sitio se pueden introducir las condiciones reinantes para forzar el modelo y generar los posibles escenarios de evolución de costa con el proyecto desarrollado

12. RESULTADOS DE MODELACIÓN HIDRO-MORFODINÁMICA.

Resumen: En este capítulo se examinan detalladamente los resultados de la modelación hidro-morfodinámica, que es fundamental para comprender la interacción entre la playa del Hotel Dreams Pto Morelos y las fuerzas del entorno marino. Se analizan cómo el oleaje, las corrientes y otros factores transforman la morfología del sitio.

Nivel de Agua: Se presentan los resultados de la modelación del nivel de agua en el predio de Dreams Pto Morelos, considerando la marea astronómica y las sobreelevaciones causadas por el viento, ondas extraordinarias y corrientes marinas. Se muestran los niveles de agua en pleamar y bajamar bajo condiciones atmosféricas normales (Figura 40).

Corrientes: Se examina el comportamiento de las corrientes marinas en el área costera frente al predio de Dreams Pto Morelos. Se observa un comportamiento bidireccional con corrientes provenientes del NE y del SW, con una magnitud predominante de aproximadamente 0.5 m/s (Figura 41).

Oleaje: Se realiza un análisis detallado del oleaje presente en el sitio, considerando condiciones normales y durante tormentas estacionales. Se evalúa el impacto de geotubos propuestos en la reducción de la energía del oleaje, con una disipación de aproximadamente el 67% de la energía de la ola y una disminución de hasta 0.3 m de altura (Figura 42).

Morfología: Se simula el movimiento de sedimentos en condiciones actuales y de proyecto, evaluando la eficacia del relleno de arena proyectado y los geotubos. Se evidencia una acumulación adecuada de arena frente a los geotubos y una mejora significativa en la erosión en las áreas vulnerables del predio (Figura 43, 44).

Cambio Climático: Se aborda el tema del cambio climático y su impacto en el nivel del mar para la región de Dreams Pto Morelos. Se proyecta un aumento del nivel del mar de
1.27 m para el año 2100, con incrementos graduales en los próximos años (Figura 45).

En este capítulo, se examinarán en detalle los resultados de la modelación hidro-morfodinámica, una herramienta esencial para comprender la compleja interacción entre la playa del hotel Dreams Pto Morelos y las fuerzas del entorno marino. La modelación analiza minuciosamente cómo el oleaje, las corrientes y otros factores transforman dinámicamente la morfología de este sitio.

12.1.1.1. Nivel de agua

A continuación, se presentan los resultados de la modelación del alcance del nivel de agua en el predio de Dreams Pto Morelos, teniendo en cuenta tanto la marea astronómica como las sobreelevaciones del nivel del agua causadas por diversos fenómenos físicos, como lo son:

Viento: El viento puede generar una presión sobre la superficie del agua, empujándola hacia la costa y causando una elevación local del nivel del agua. La intensidad y dirección del viento son factores clave en este proceso.

Ondas extraordinarias: Durante eventos de tormenta, las grandes olas generadas por los vientos fuertes pueden causar un aumento significativo del nivel del agua en la costa. Estas ondas pueden empujar el agua hacia la costa, inundando áreas bajas y contribuyendo al incremento del nivel del agua en el predio.

Corrientes marinas: La interacción de corrientes marinas, como las corrientes de marea o las corrientes costeras, también pueden influir en el nivel del agua en el predio. Las corrientes de marea, por ejemplo, son causadas por la interacción gravitacional entre la Luna, el Sol y la Tierra, y pueden transportar volúmenes adicionales de agua hacia la zona costera, lo que resulta en un incremento del nivel del agua.

En las figuras siguientes se muestran los niveles de agua tanto en pleamar, que es el momento de marea alta, como en bajamar, que es el momento de marea baja.

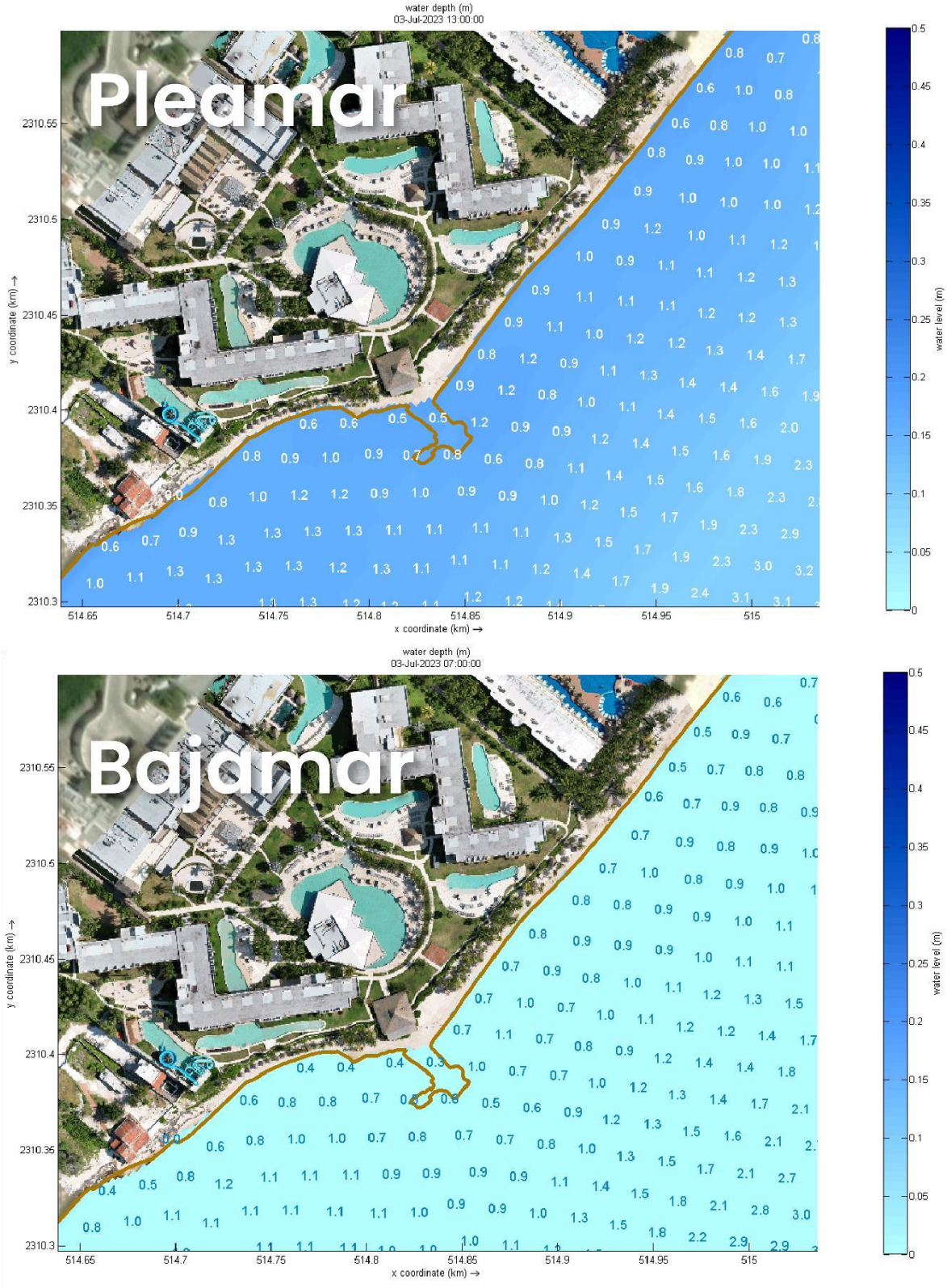


Figura 40. Nivel de agua en pleamar (superior) y bajamar (inferior) presente en Dreams Pto Morelos bajo condiciones atmosféricas normales.

12.1.1.2. Corrientes

En un área costera, varias condiciones y factores pueden provocar variaciones en el comportamiento de las corrientes marinas. Estos factores incluyen la topografía submarina, las interacciones entre las corrientes de marea y los patrones de viento, así como la influencia de otros fenómenos oceanográficos. Es fundamental comprender tanto la magnitud como la dirección de las corrientes presentes en el mar frente al predio de Dreams Pto Morelos, ya que esto puede tener implicaciones significativas en el diseño y la planificación.

Al observar las figuras siguientes, se puede notar que las corrientes en el dominio exhiben un comportamiento bidireccional. Estas corrientes provienen tanto del NE (50°) como del SW (220°) en coordenadas cartesianas. Frente al predio del proyecto, la magnitud predominante de las corrientes es ~0.5 m/s. Esta información se puede inferir de acuerdo con la escala de colores utilizada en las figuras, donde los tonos azules representan magnitudes pequeñas, mientras que los tonos verdes indican la presencia de magnitudes más altas, de hasta 1 m/s.

Es importante destacar que, al comparar las condiciones actuales con las proyectadas por el proyecto, se evidencia que no se presenta ninguna alteración significativa en las corrientes debido a las obras propuestas. Este resultado sugiere que los geotubos y el relleno de arena, no generarán cambios sustanciales en el comportamiento hidrodinámico de la zona. Esta falta de alteración en las corrientes es crucial, ya que asegura la estabilidad y funcionalidad del proyecto sin provocar efectos adversos en la circulación marina local.

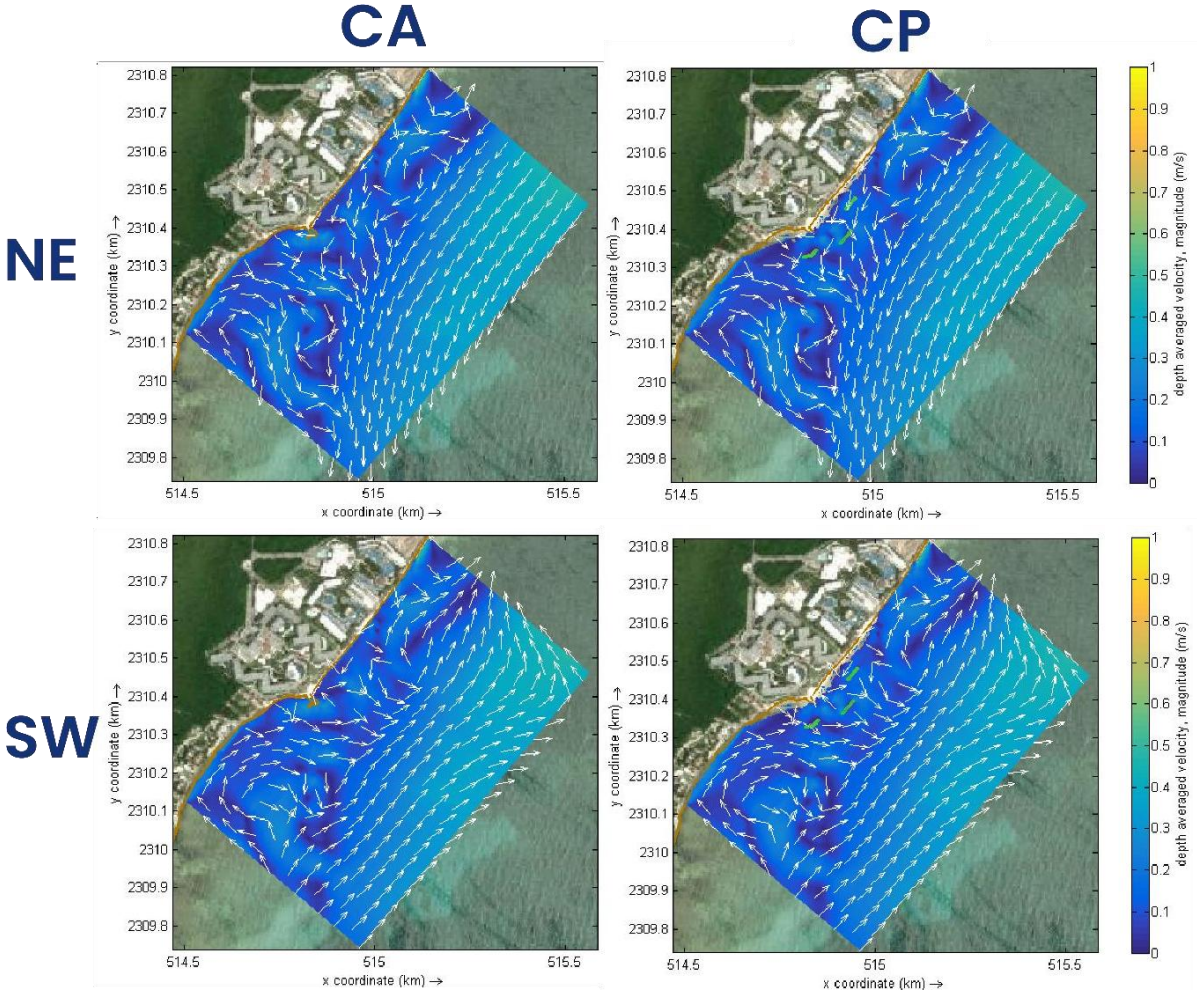


Figura 41. Corrientes promedio del sitio, con una magnitud de 0.5 m/s y direcciones indicadas por vectores. Fila superior: dirección NE. Fila inferior: dirección SW. Columna izquierda: Condiciones Actuales. Columna derecha: Condiciones de Proyecto.

12.1.1.3. Oleaje

El análisis del oleaje se convirtió en un componente esencial del estudio, impulsado por la necesidad de comprender el impacto que los geotubos tendrían en la reducción de la energía del oleaje y, en consecuencia, en la protección del relleno de arena proyectado para el Hotel Dreams Pto Morelos.

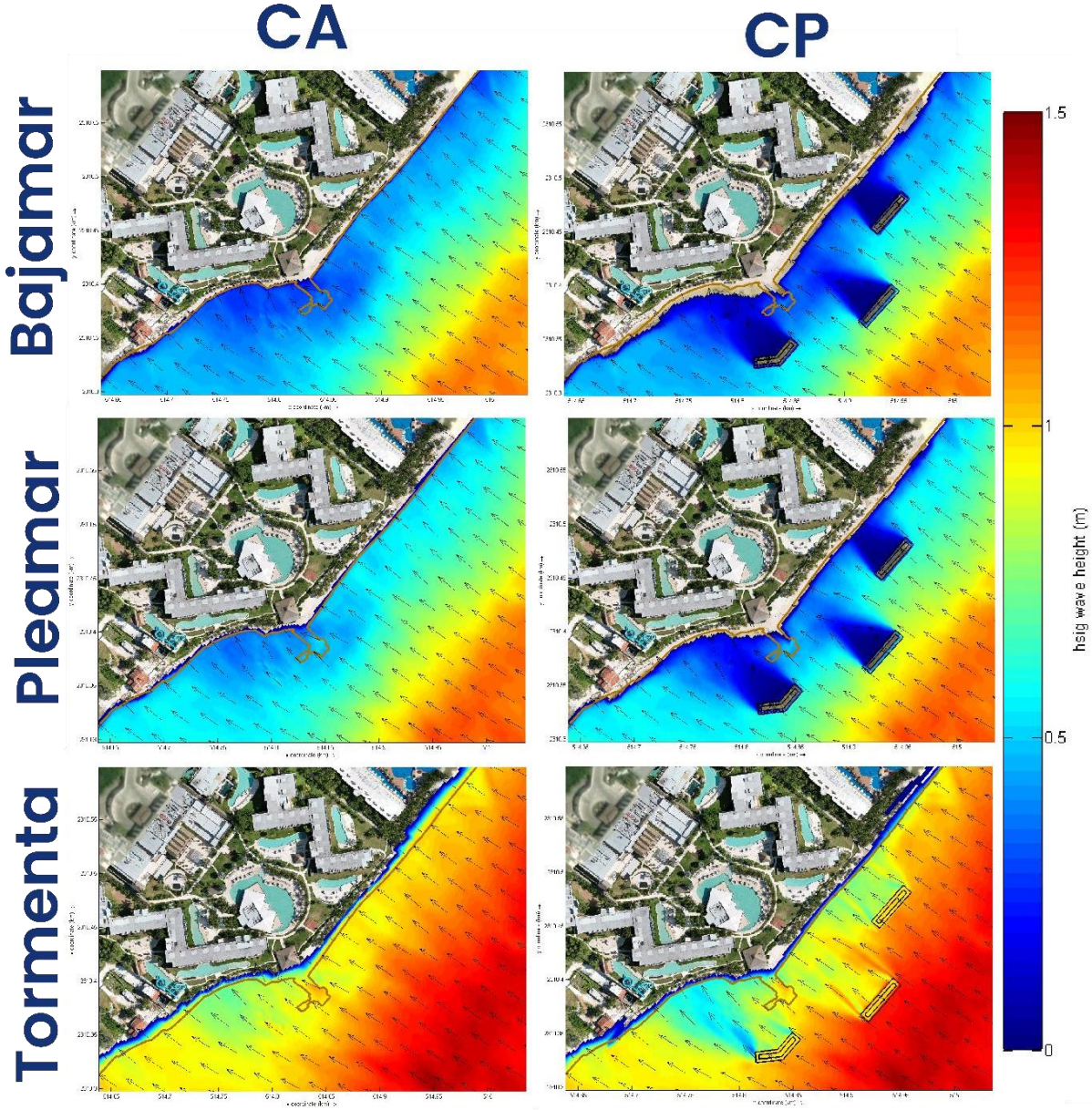
Se llevó a cabo una evaluación detallada del oleaje presente en el sitio, considerando condiciones atmosféricas normales a lo largo de un año completo. Además, se incorporó una ola de tormenta correspondiente a la temporada anual de tormentas estacionales. Esta elección fue particularmente relevante, ya que, a pesar de que Dreams Pto Morelos se encuentra naturalmente protegido por el arrecife de Puerto Morelos, eventos climáticos intensos podrían generar movimientos de sedimento mucho mayores de lo anticipado.

Este análisis permitió evaluar diversas proyecciones de estructuras de protección, considerando la variabilidad del oleaje bajo diferentes escenarios climáticos. Tras un análisis detallado, se determinó que la Propuesta B era la opción más adecuada para las necesidades específicas del sitio, garantizando una protección óptima contra los impactos del oleaje.

A continuación, se presentan las direcciones de oleaje predominantes en el sitio, así como las condiciones de oleaje más altas, tanto en condiciones atmosféricas normales como durante tormentas estacionales. Las imágenes comparativas entre las alturas de las olas en **condiciones actuales (CA)** y las **condiciones de proyecto (CP)** permiten visualizar la robusta protección que los geotubos proporcionarán al predio de Dreams Pto Morelos. En ambos casos puede observarse una **disipación** de aproximadamente el **67% de la energía de la ola**, así como una **disminución** de hasta **0.3 m de altura**.

Este análisis no solo respalda la selección de la Propuesta B como la solución más apropiada, sino que también brinda una perspectiva visual clara de la eficacia de los geotubos en la mitigación de los impactos del oleaje. La protección costera propuesta se alinea estratégicamente con los objetivos de preservar la integridad del relleno de arena y garantizar la seguridad y estabilidad de las instalaciones del Hotel Dreams Pto Morelos frente a las condiciones marítimas adversas.

Direcciones de ola



A pesar de que el oleaje inicialmente proviene de aguas abiertas, con una dirección predominante del ESE y N según los datos heredados del nodo WWIII, al llegar al sitio de Dreams Pto Morelos, experimenta una notable transformación en su dirección. Esta modificación se debe principalmente a los obstáculos naturales presentes en la zona, destacando especialmente la franja arrecifal de Puerto Morelos. En la figura anterior se muestran las direcciones de oleaje durante las condiciones de bajamar, pleamar y tormenta. Se observa que, durante la mayor parte del año, las direcciones del oleaje se mantienen consistentes.

Condiciones Atmosféricas Normales

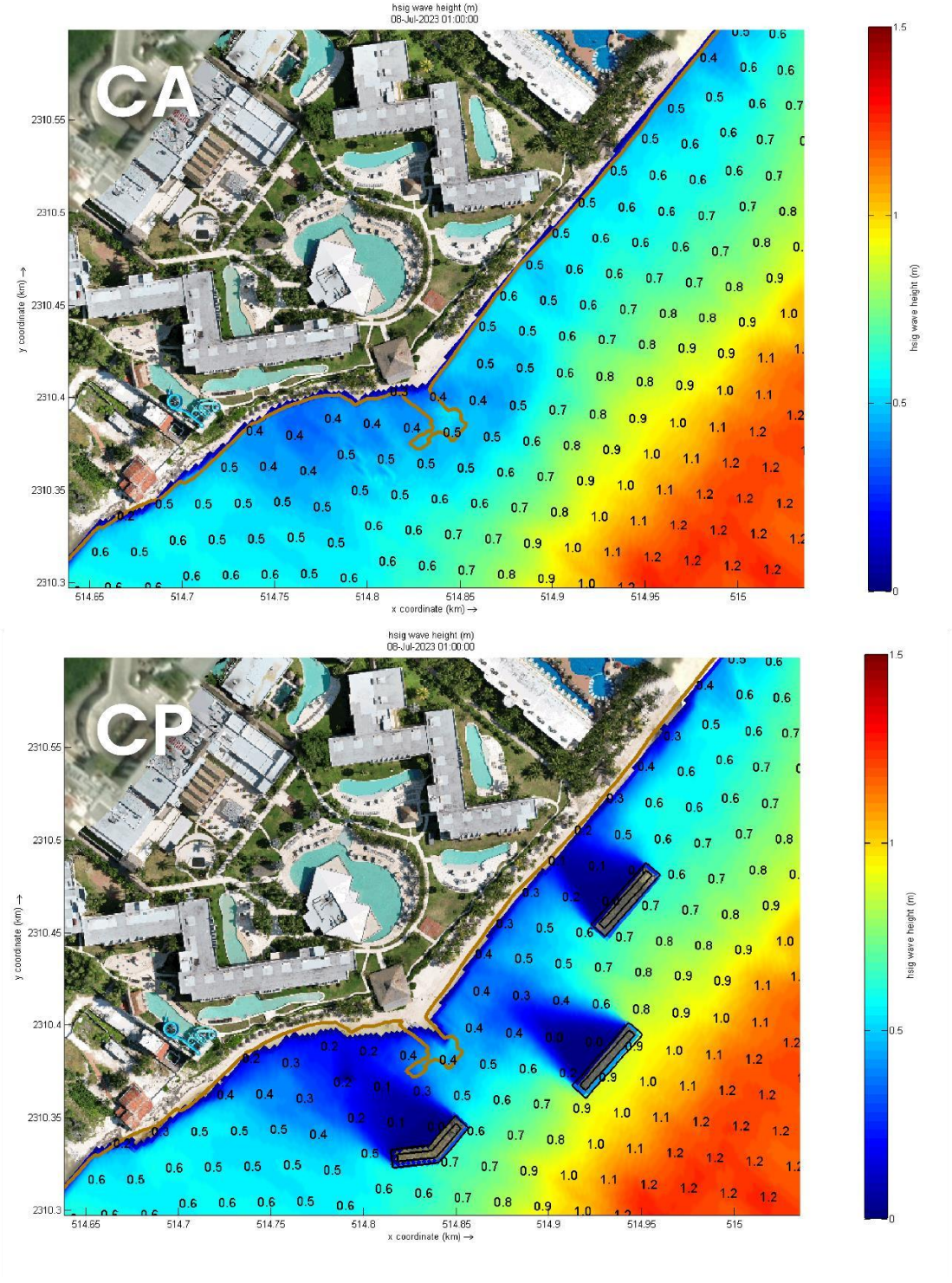
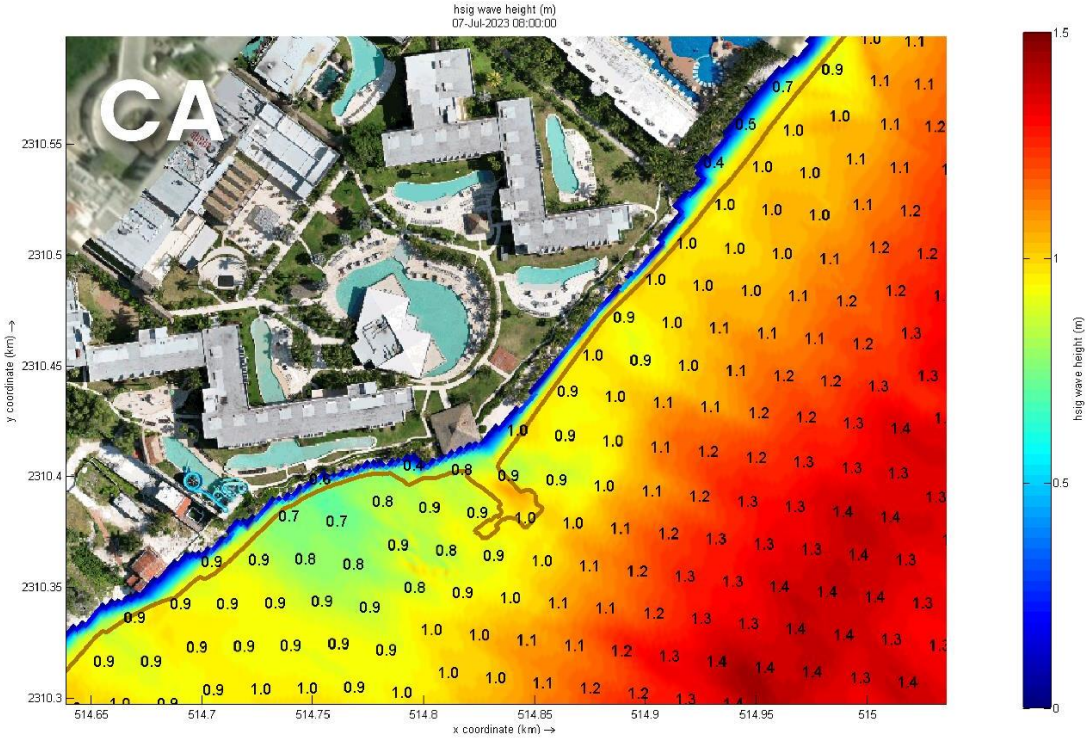
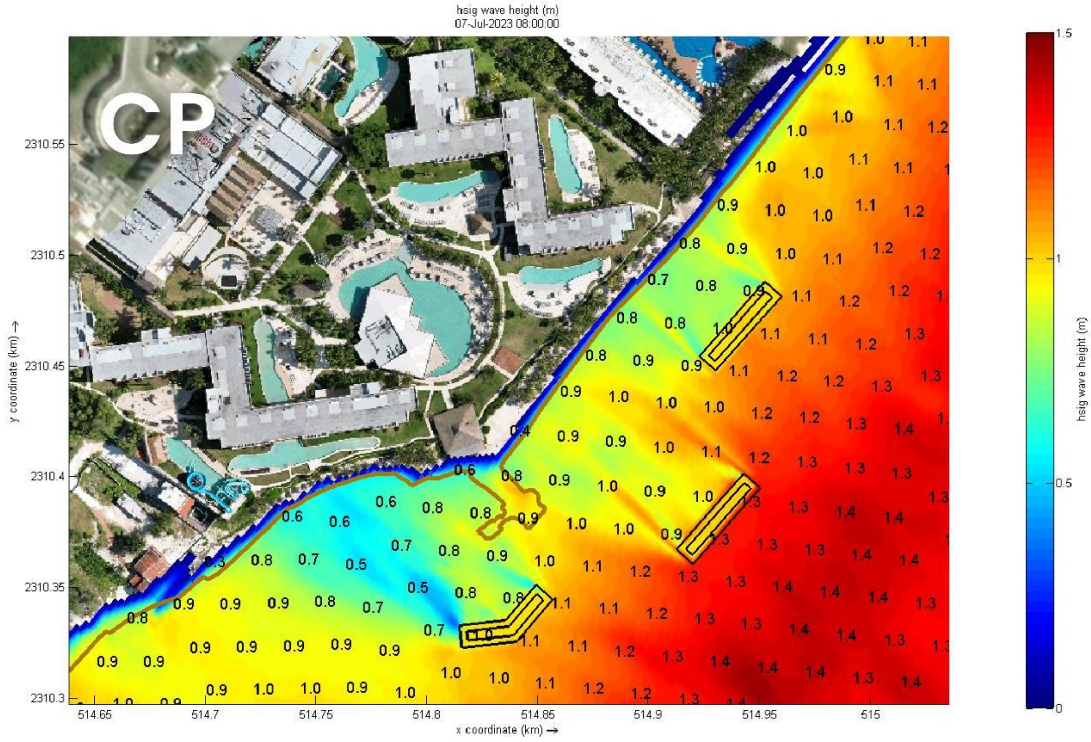


Figura 42. Máximas alturas de ola alcanzadas frente al predio de Dreams Pto Morelos en condiciones atmosféricas normales. Superior: Condiciones Actuales. Inferior: Condiciones de Proyecto.

Condiciones Atmosféricas de Tormenta





12.1.1.4. Morfología

Una vez completadas las validaciones de las simulaciones relacionadas con los aspectos hidrodinámicos responsables del movimiento de sedimentos, se procedió a llevar a cabo la simulación específica de la morfología del sitio. Este modelo se centró en evaluar las condiciones actuales del sitio, identificando áreas de mayor vulnerabilidad para tomar decisiones más precisas en el diseño del relleno de arena.

La modelación de condiciones actuales permitió corroborar las observaciones derivadas del análisis de imágenes satelitales, especialmente en lo que respecta a la erosión acentuada en la zona suroeste del predio. Tanto en esta área como en una parte de la playa ubicada en la zona media del hotel, se evidenció una erosión del sedimento (en colores azules) sin acumulación posterior (en colores naranjas), en contraste con el resto del predio, donde se observa un intercambio constante de la ubicación del sedimento, manteniendo un equilibrio relevante en la línea de costa.

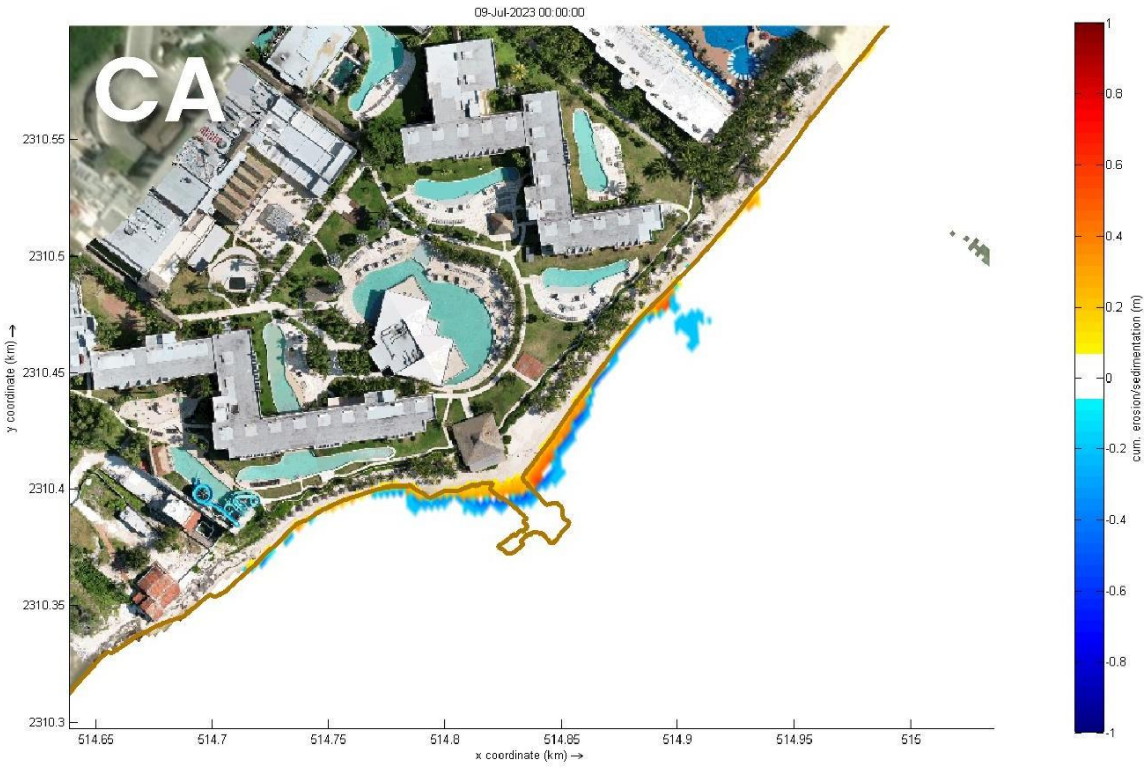


Figura 43. Resultado de 1 año de movimiento de sedimentos en condiciones actuales, con colores azules indicando erosión y colores naranjas indicando acumulación.

Posteriormente, se llevó a cabo la simulación del movimiento de sedimentos en condiciones de proyecto (CP), considerando el volumen adicional resultante del relleno de arena proyectado y la integración de los geotubos. Los resultados de la simulación fueron positivos, evidenciando una acumulación adecuada de arena frente a los geotubos, confirmando la eficacia de dichas estructuras.

Simultáneamente, se observó una mejora significativa en la erosión de la parte suroeste del predio, derivada de la disposición óptima del relleno. Estos hallazgos respaldan la efectividad de la fusión entre los geotubos y el relleno de playa, satisfaciendo la necesidad del sitio de contar con una playa de mayor extensión capaz de mantener un equilibrio a largo plazo.

Aunque las simulaciones demuestran el éxito actual del proyecto, se destaca la importancia del **mantenimiento continuo**. Se recomienda realizar un monitoreo anual de la integridad de los geotubos y las condiciones del relleno de playa. En caso de detectarse alguna afectación significativa durante estos monitoreos, se sugiere tomar medidas correctivas, como el escalado de los geotubos o la realización de un nuevo relleno de playa.

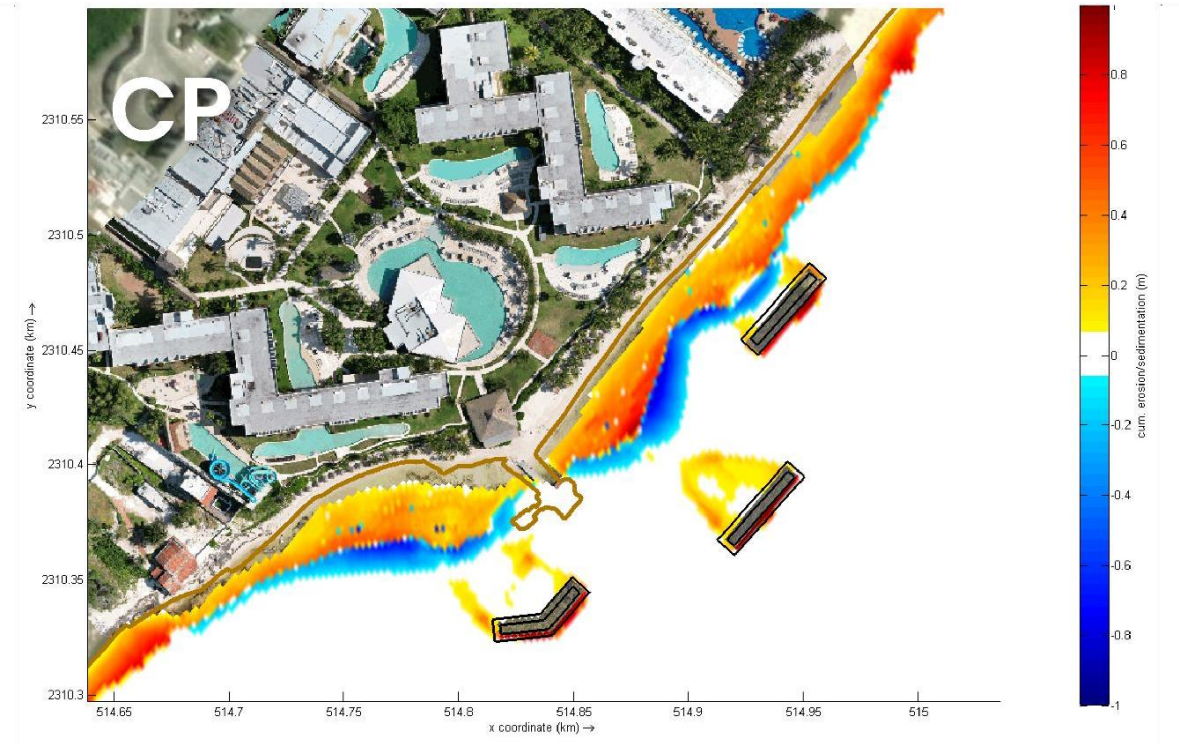


Figura 44. Resultado de 1 año de movimiento de sedimentos en condiciones de proyecto, con colores azules indicando erosión y colores naranjas indicando acumulación.

Así mismo, se adjunta una planta que muestra el resultado del movimiento de sedimentos durante el período de simulación en una escala gráfica más amplia, lo que permite observar el comportamiento de los sedimentos no solo en el sitio del proyecto, sino también en las áreas costeras adyacentes. A partir de esta representación, se puede concluir que el proyecto **no tendrá un impacto negativo en los predios vecinos ni generará erosiones en sus terrenos**. Se observa una acumulación natural de sedimentos a lo largo del año, lo que sugiere un equilibrio en el transporte y deposición de sedimentos en toda la zona costera.

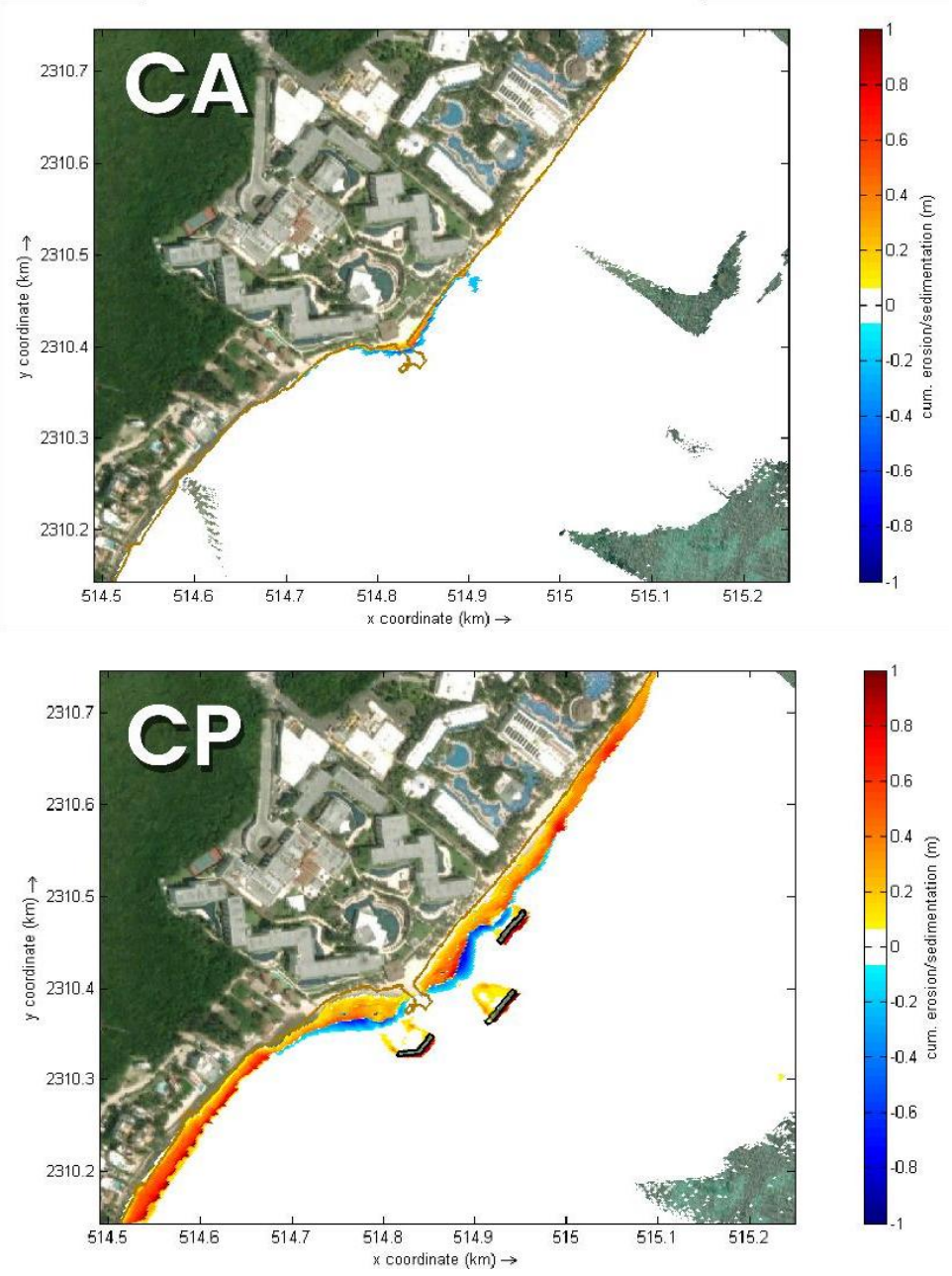


Figura 45. Resultados de 1 año de movimiento de sedimentos en condiciones actuales (superior) y en condiciones de proyecto (inferior) en una escala más amplia.

12.1.1.5. *Morfología a largo plazo*

Con el fin de evaluar la evolución morfológica a largo plazo en el área del Hotel Dreams Pto Morelos, se realizó una modelación de 5 años en 1D en tres transectos clave del sitio. Estos transectos fueron seleccionados estratégicamente para representar diferentes condiciones morfológicas y de erosión a lo largo de la costa.



Figura 46. Transectos evaluados para el modelo morfológico 1D.

A continuación, se muestran los resultados correspondientes a cada transecto, tanto en condiciones actuales como en condiciones de proyecto. En la figura superior de cada transecto se presentan las condiciones del perfil al inicio de la simulación, mientras que la imagen inferior muestra las condiciones después de 5 años de hidromorfodinámica.

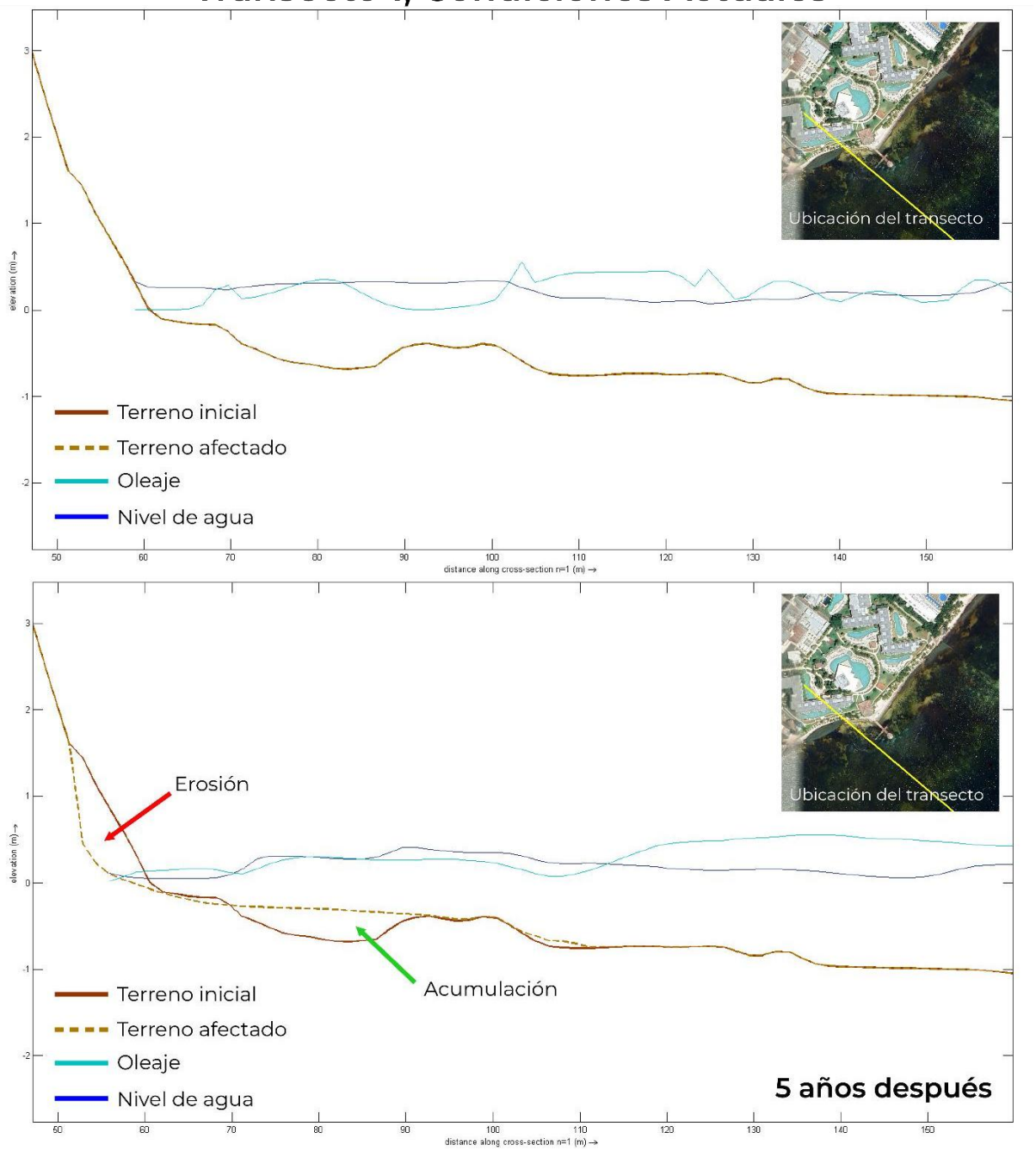


Figura 47. Transecto 1. Condiciones Actuales. Superior: Inicio de la simulación. Inferior: Final de la simulación de 5 años.

Transecto 1, Condiciones de Proyecto

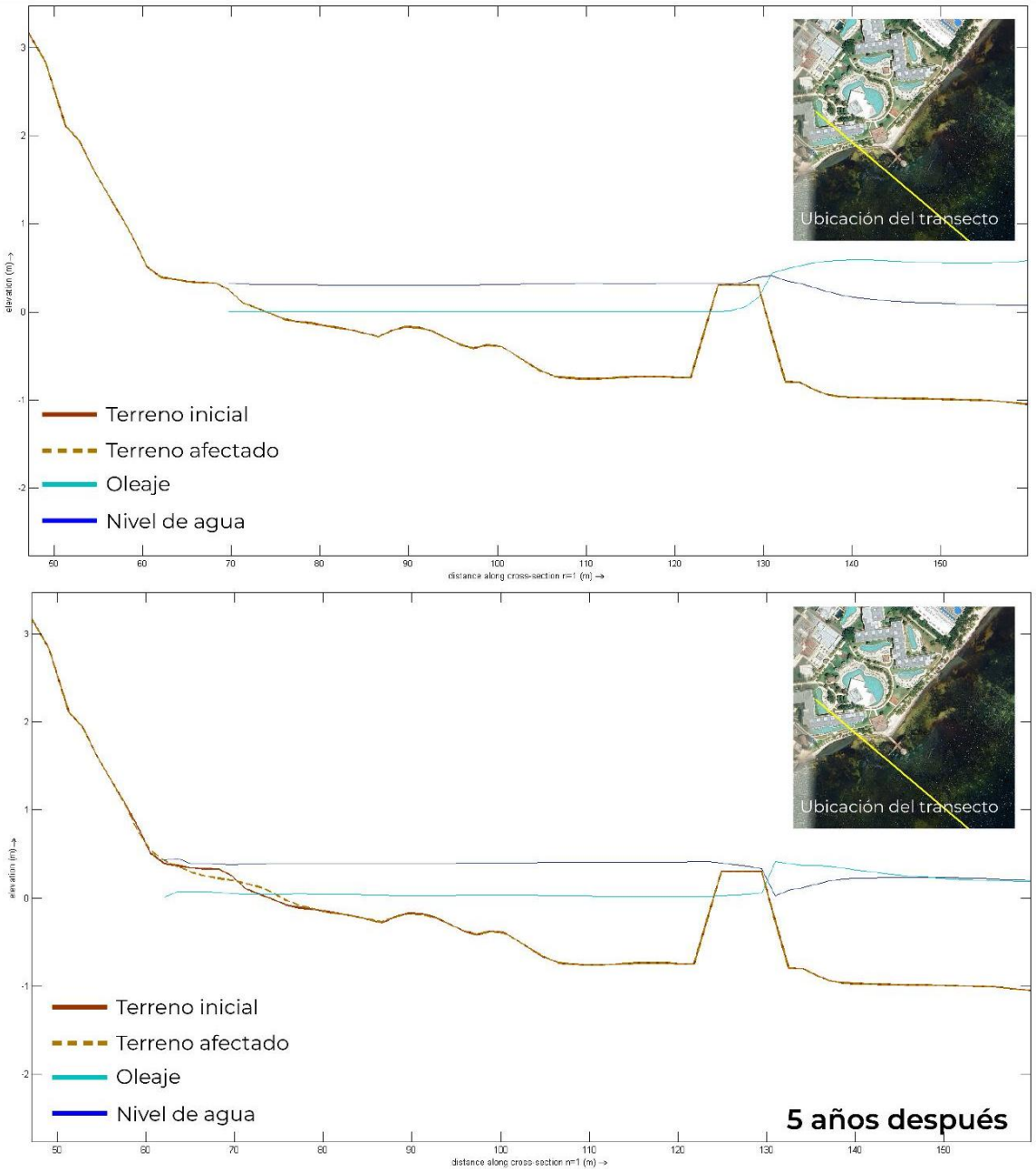


Figura 48. Transecto 1. Condiciones de Proyecto. Superior: Inicio de la simulación. Inferior: Final de la simulación de 5 años.

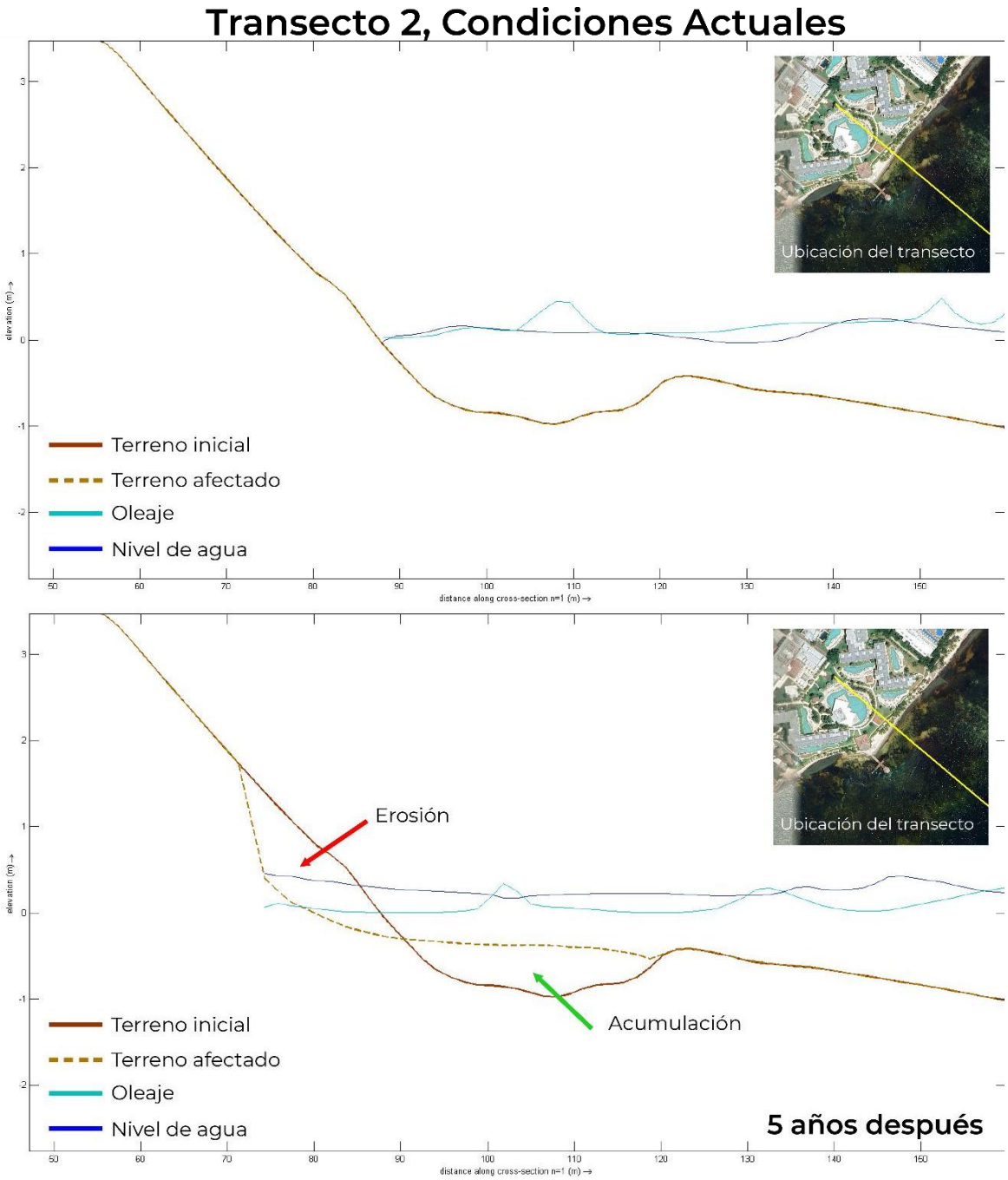


Figura 49. Transecto 2. Condiciones Actuales. Superior: Inicio de la simulación. Inferior: Final de la simulación de 5 años.

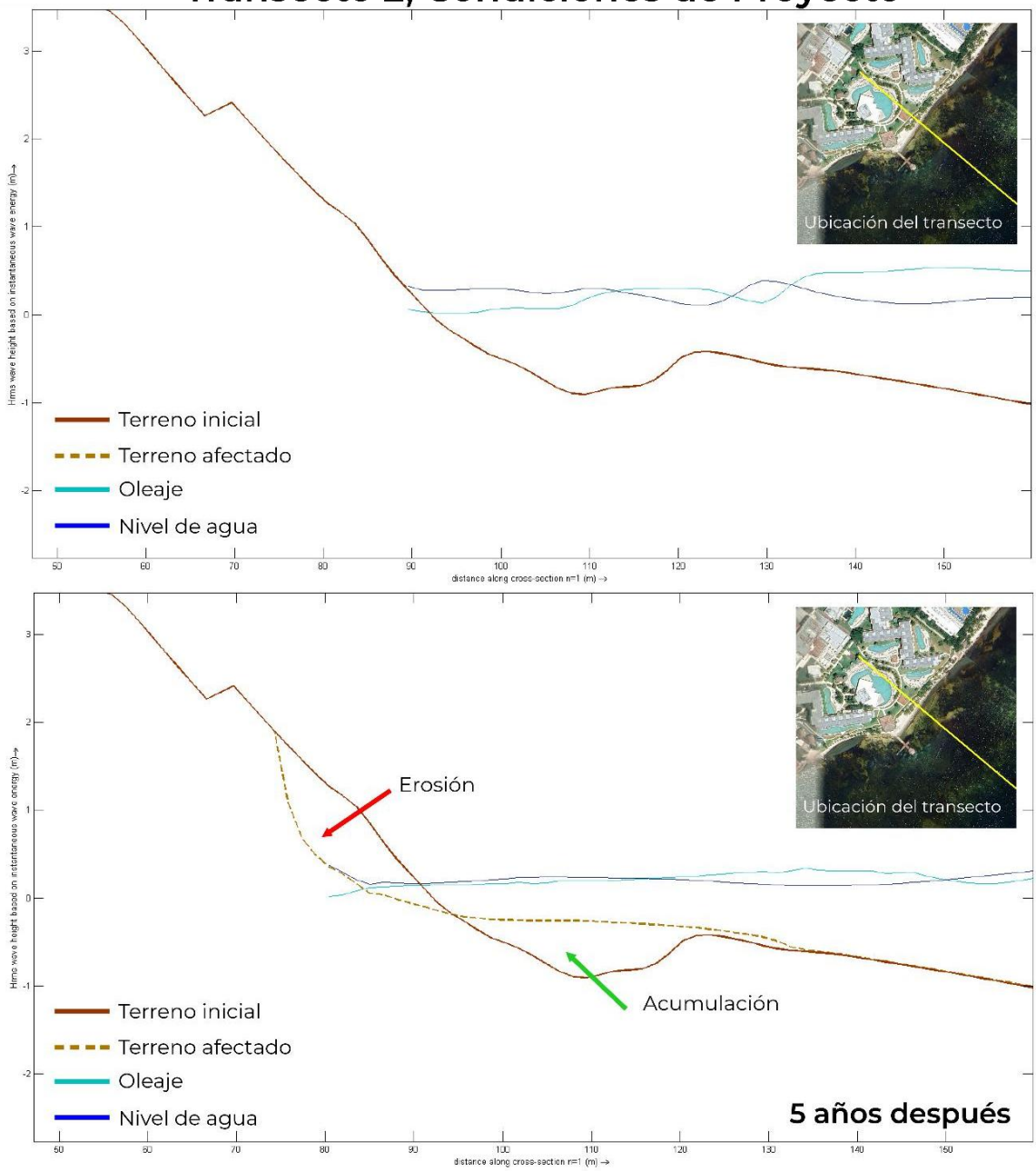


Figura 50. Transecto 2. Condiciones de Proyecto. Superior: Inicio de la simulación. Inferior: Final de la simulación de 5 años.

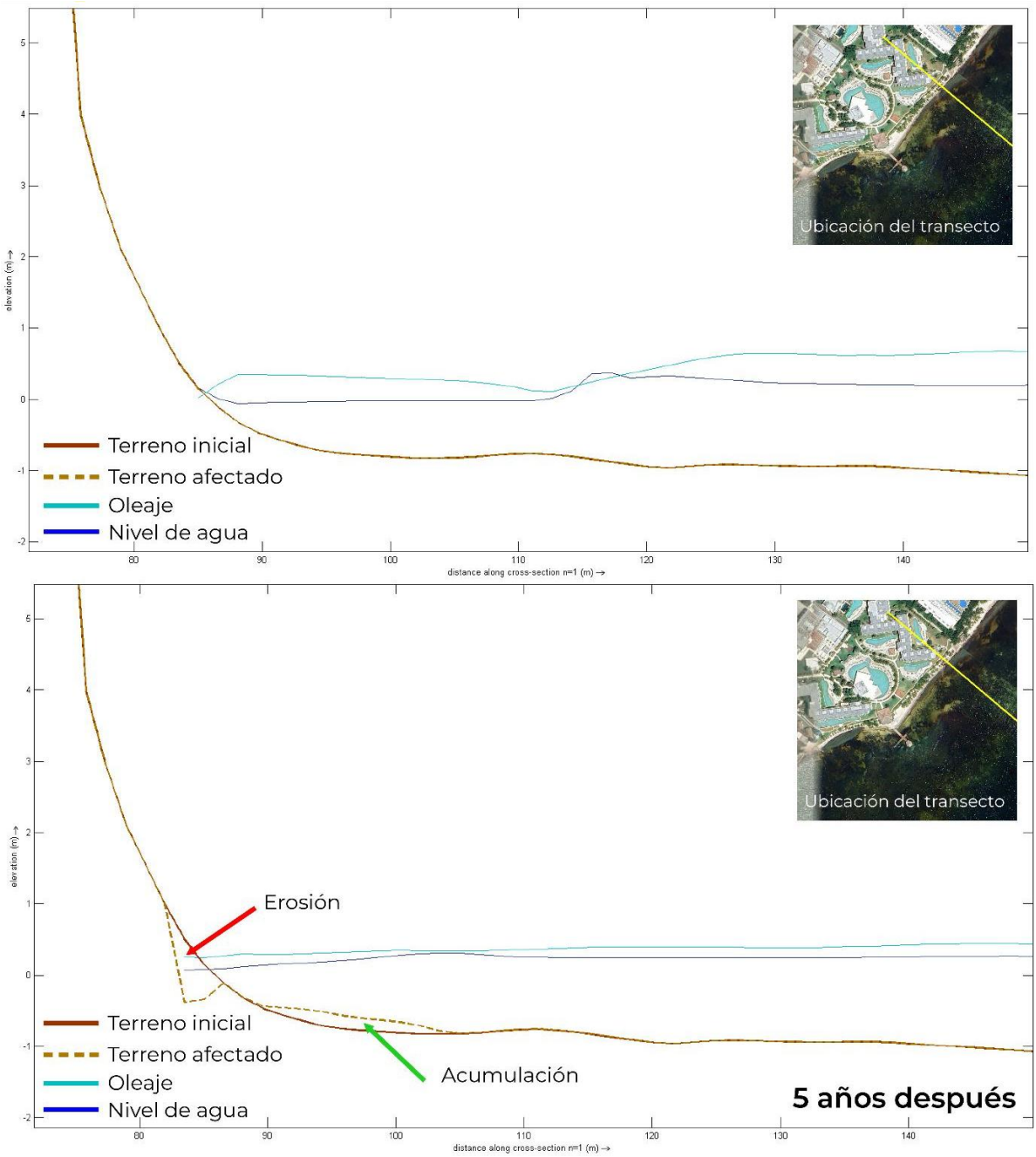


Figura 51. Transecto 3. Condiciones Actuales. Superior: Inicio de la simulación. Inferior: Final de la simulación de 5 años.

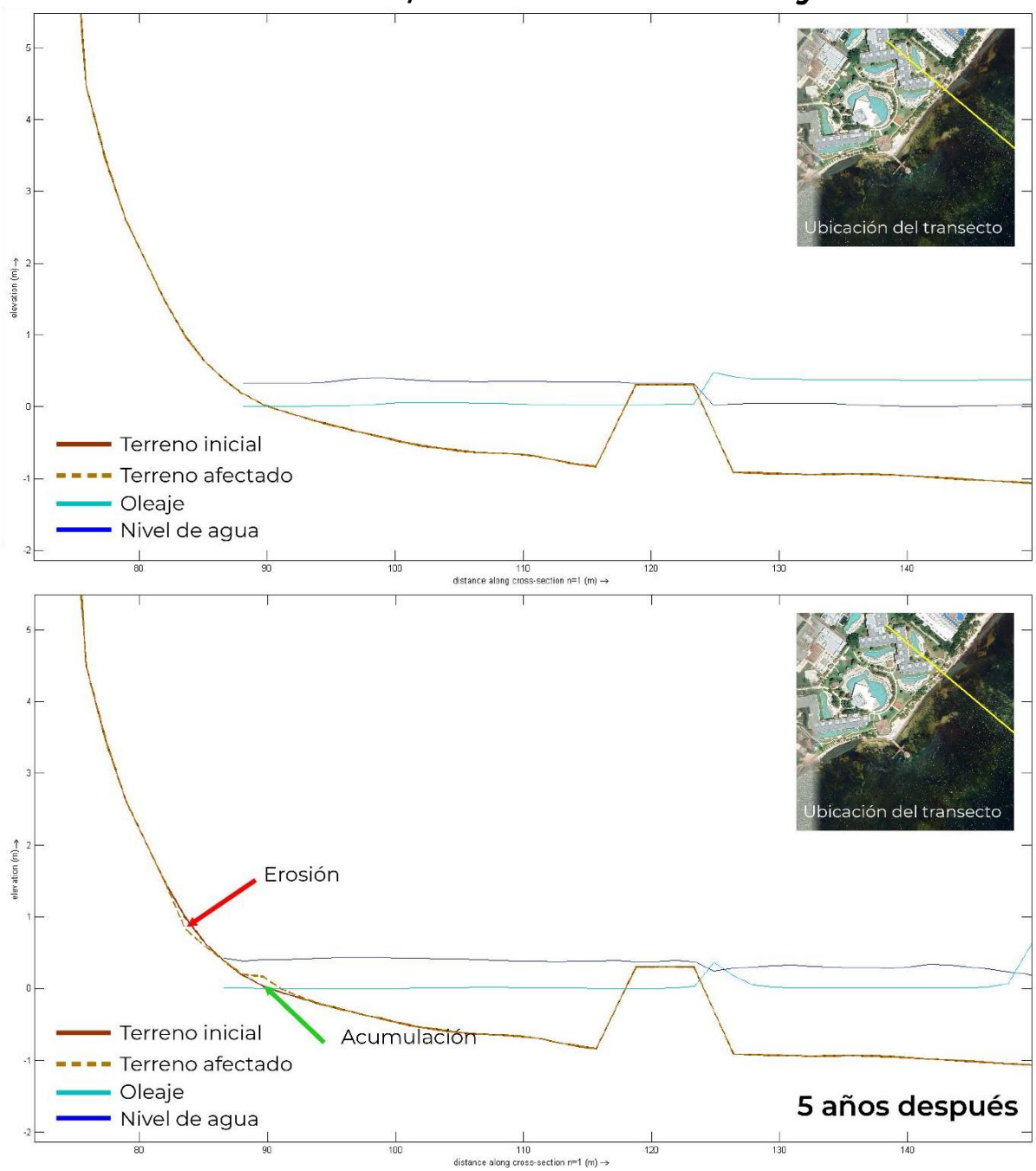


Figura 52. Transecto 3. Condiciones de Proyecto. Superior: Inicio de la simulación. Inferior: Final de la simulación de 5 años.

Las simulaciones de condiciones actuales muestran que, a pesar de la presencia de erosión en los escarpes, el sedimento logra acumularse en la berma del perfil, lo que indica una playa resiliente capaz de recuperarse naturalmente.

Sin embargo, se observa un notable beneficio proporcionado por las estructuras de protección propuestas. Estas estructuras prácticamente eliminan la erosión en comparación con las condiciones actuales. Aunque persiste una ligera erosión en algunas áreas, esta es significativamente menor. Por ejemplo, en el transecto 2, donde se analiza un área con el relleno de arena propuesto, se observa una clara mejora en el perfil de la playa, lo que demuestra el impacto positivo de esta medida por sí sola.

Estos resultados respaldan la efectividad de las medidas propuestas para mitigar la erosión costera y garantizar la estabilidad de la playa a lo largo del tiempo.

Para mantener este comportamiento favorable y garantizar la estabilidad a largo plazo de la playa, se recomienda realizar un mantenimiento del relleno de arena cada 5 años. Este periodo de mantenimiento se determinó mediante modelación hidromorfodinámica, que mostró la estabilidad del perfil de la playa durante este intervalo de tiempo. El mantenimiento regular es crucial para preservar la funcionalidad y efectividad de las obras de protección costera, así como para asegurar la integridad del relleno de arena. Con el tiempo, las condiciones ambientales y las fuerzas del entorno marino pueden provocar cambios en la morfología costera, lo que hace necesario el mantenimiento periódico para restaurar y mantener las condiciones óptimas de la playa y las estructuras de protección.

12.2. Cambio climático

Tal como su nombre lo indica, el cambio climático es una alteración en la variabilidad natural del clima, y aunque aún existen discusiones si esto es un fenómeno antropogénico o cíclico, la realidad es que está ocurriendo. Como respuesta al cambio acelerado del clima, se esperan alteraciones globales sobre todos los ecosistemas; veranos más cálidos, eventos extremos más frecuentes y de mayor intensidad; y un **aumento sobre el nivel del mar ocasionando la pérdida de terrenos cerca de la zona costera**. Si bien no es posible frenar el cambio climático, diversos países han redoblado esfuerzos y han desarrollado sus propios modelos para predecir escenarios a futuro y poder adaptarse a tales eventos.

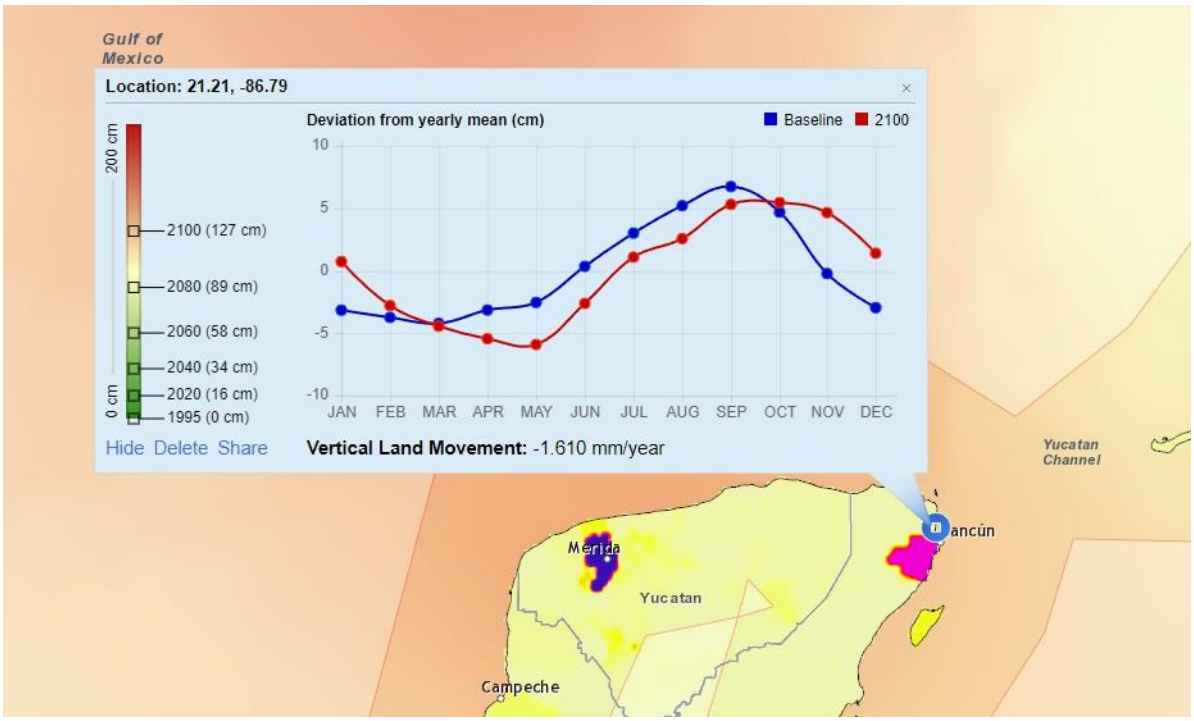


Figura 53. Incremento del nivel del mar debido al cambio climático. Fuente: CLIMSystems.

Una de las compañías enfocadas en evaluar el riesgo y adaptación al cambio climático, CLIMSystems, ha desarrollado un modelo que proyecta el aumento del nivel del mar para el **año 2100** tomando como línea base el año de 1995. Esta proyección está basada en el reporte de la Quinta Asamblea de la IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) y muestra los resultados de combinar 28 modelos generales de circulación global que consideran la emisión de gases por efecto invernadero, así como el movimiento de placas tectónicas sobre el plano vertical.

Para la región de Dreams Pto Morelos, el modelo reporta que para el año **2100**, la zona tendrá un incremento del nivel del mar de **1.27 m** de altura con respecto al año de 1995. A más corto plazo en el 2040, es decir **17 años** a partir de ahora el nivel del mar será **34 cm** mayor.

En un futuro en que se observe que el proyecto ya no es efectivo para disipar la energía del oleaje, se puede acorazar con elementos precolados para elevar la corona y tener protección adicional. Esto se decidirá después de monitorear de forma metódica y continua el comportamiento de los geotubos.

13. CONCLUSIONES

Del estudio anterior se puede concluir lo siguiente:

Efectividad de la restauración: La simulación detallada del oleaje demuestra la eficacia de las obras propuestas para reducir la energía del oleaje y mitigar los impactos en la playa del hotel. Esto garantiza la seguridad y estabilidad de las instalaciones frente a condiciones marítimas adversas.

Impacto del Cambio Climático: El análisis del cambio climático proyecta un aumento significativo en el nivel del mar para la región de Dreams Pto Morelos. Esta información es crucial para planificar medidas de adaptación a largo plazo y garantizar la sostenibilidad del proyecto frente a futuros cambios en el clima.

Optimización del Relleno de Arena: La simulación del movimiento de sedimentos muestra una acumulación adecuada de arena frente a los geotubos, respaldando la efectividad del relleno de playa proyectado. Este componente esencial del proyecto contribuye a mantener la integridad de la línea de costa y proporciona una playa de mayor extensión para el disfrute de los huéspedes. Además, la modelación de 5 años en tres transectos clave del sitio permite visualizar la evolución morfológica a lo largo del tiempo, demostrando la estabilidad y el beneficio a largo plazo de las estructuras y el relleno propuestos. Esta simulación proporciona una base sólida para la planificación y gestión futuras del proyecto, asegurando su sostenibilidad y eficacia en el tiempo.

Necesidad de Mantenimiento Continuo: Se destaca la importancia del mantenimiento periódico de las obras para garantizar su funcionalidad óptima a lo largo del tiempo. Esta medida es crucial para preservar la eficacia del proyecto y adaptarse a los cambios en el entorno marino.

El proyecto generará impactos positivos en todos los aspectos, ningún impacto negativo a los vecinos ni al medio ambiente fue detectado.

14. REFERENCIAS

- Acuña, A. P. (2012). Impactos del incremento en el nivel medio del mar en la zona costera del Estado de Quintana Roo, México.
- Alcérreca Huerta, J. (2011). Determinación de los umbrales de movimiento de arenas de la península de Yucatán. D.F.: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Athié, G., Candela, J., Sheinbaum,, J., & Badanf, A. (2011). Yucatán Current variability through the Cozuomel and Yucatán channels. Ciencias Marinas, vol.37 no.4a.
- Benedet, L., Henrique da Fontoura, A., & Finkl, C. (2004). Predicting the effect of beach nourishment and cross-shore sediment variation on beach morphodynamic assessment. Coastal Engineering, 839–861.
- Caballero-Aragón, H., Perera-Valderrama, S., Cerdeira-Estrada, S., Martell-Dubois, R., Rosique-de la Cruz, L., Álvarez-Filip, L., ... & Ressl, R. (2020). Puerto Morelos coral reefs, their current state and classification by a scoring system. Diversity, 12(7), 272.
- Gabriel Ruiz-Martínez, R. S.-C.-V. (2013). Morphodynamic Comparison of the Northeast Shoreline of Quintana Roo, Mexico. Water Technolog y and Sciences, Vol. IV, No. 3,, 45-62.
- Inman. (2003). Litoral Cells. Schwartz M. (ed). Enciclopedia of Coastal Science.
- LeRoux, Brien, R., & Marco, C. (1994). Analysis of sediment transport paths using grain-size parameters.
- Martell-Dubois, R. (2013). Hidrodinamica litoral y evolución morfológica en playas con aporte sedimentario escaso. Ciudad de Mexico: UNAM.
- Martell, R., Marino-Tapia, I., Mendoza, E., & Silva, R. (2010). Evolución morfodinámica 2D de las playas de Cancún y Puerto Morelos, estado de Quintana Roo, México. In Proceeidngs of the XXIV Congreso Latinoamericano de Hidraulica. Internacional de Ingenieria e Investigaciones Hidro-Ambientales (p. 15).
- Mariño-Tapia, I. et al (2010). Wave transformation and wave-driven circulation on natural reefs under extremme hurricane conditions. Coastal Engineering.
- Meza-Padilla, J. (2015). Estimación de marea de tormenta y oleaje inducido por ciclones tropicales en mares mexicanes. Yucatán, México: Laboratorio de ingeniería y procesos costeros. Unidad Sisal, Yucatán.

- NOAA. (2010). Wave Wacth III. http://csc-s-mapsq.csc.noaa.gov/hurricanes/viewer.html, accesada el 7/jul/10.
- Otero Dávalos, L., & Merino Ibarra, M. (1991). Atlas ambiental costero Puerto Morelos Quintana Roo. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, pp 1-78.
- Sosa-Hernández, G. (2007). Las anomalías de marea en el Caribe Mexicano. Tésis de Maestría en Ciencias, 88.
- Wright, L., & Short, A. (1984). Morphodynamic variability of surf zone sand beaches: A synthesis:. Mar. Geol. 56:, 93–118.
- G Athié*, J Candela, J Sheinbaum, A Badan† (2014), J Ochoa Estructura de la corriente de Yucatán en los canales de Cozumel y Yucatán

[redacted]

[redacted]

[redacted]

TECNOCEANO

Tecnoceano® —Líder en servicios de ingeniería, estudios marinos y proyectos costeros.

Homologación granulométrica — Dreams Puerto Morelos y Banco IRRM

Objetivo

Presentar M3, M4 y Puerto Morelos M1 con una misma convención: porcentaje acumulado que pasa y diámetros D16, D50 y D84 calculados sobre esa curva.

Criterio	Aplicación
Convención	D_p es el diámetro para el cual pasa p % del material.
Interpolación	Interpolación lineal de porcentaje sobre logaritmo natural del diámetro entre tamices consecutivos.
M3	Se sustituyeron por 0.00 % los valores negativos de pasa (-0.09 y -0.23 %) atribuibles al cierre de masa de 100.23 %. Los valores originales se conservan.
M3 y M4	Los parámetros de la memoria original decrecen al aumentar el percentil, por lo que parecen basados en porcentaje retenido y no son directamente comparables con el Banco IRRM.
Densidad	Se conserva la densidad reportada: M3 2.75 t/m³, M4 2.61 t/m³ y Banco IRRM 2.365 t/m³.

Fuentes

M3 y M4: tablas de granulometría del frente costero del Hotel Dreams Puerto Morelos Resort & Spa, muestreo del 24/07/2023, y Tabla 1 de la Memoria Técnica de Modelaje. Banco IRRM: informe “Análisis de arenas y sus resultados”, Puerto Morelos M1, fecha 12/04/2023. Cálculos homologados elaborados para el apartado III.2.1.8 de la MIA.

Datos granulométricos originales

Muestra	Procedencia	Fecha	Malla	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Retenido parcial (%)	Pasa original (%)	Pasa homologado (%)
M3	Sector de duna — Dreams Puerto Morelos	2023-07-24	N°10	2.000	1.8	0.32	99.68	99.68
M3	Sector de duna — Dreams Puerto Morelos	2023-07-24	N°20	0.850	1.3	0.23	99.45	99.45
M3	Sector de duna — Dreams Puerto Morelos	2023-07-24	N°40	0.425	12.6	2.24	97.21	97.21
M3	Sector de duna — Dreams Puerto Morelos	2023-07-24	N°60	0.250	55.6	9.88	87.33	87.33
M3	Sector de duna — Dreams Puerto Morelos	2023-07-24	N°100	0.150	296.1	52.62	34.71	34.71
M3	Sector de duna — Dreams Puerto Morelos	2023-07-24	N°200	0.075	195.8	34.80	-0.09	0.00
M3	Sector de duna — Dreams Puerto Morelos	2023-07-24	Pasa	0.000	0.8	0.14	-0.23	0.00
M4	Zona de lavado — Dreams Puerto Morelos	2023-07-24	N°10	2.000	20.9	4.27	95.73	95.73
M4	Zona de lavado — Dreams Puerto Morelos	2023-07-24	N°20	0.850	68.7	14.02	81.71	81.71
M4	Zona de lavado — Dreams Puerto Morelos	2023-07-24	N°40	0.425	200.2	40.86	40.86	40.86
M4	Zona de lavado — Dreams Puerto Morelos	2023-07-24	N°60	0.250	67.5	13.78	27.08	27.08
M4	Zona de lavado — Dreams Puerto Morelos	2023-07-24	N°100	0.150	71.5	14.59	12.49	12.49
M4	Zona de lavado — Dreams Puerto Morelos	2023-07-24	N°200	0.075	59.2	12.08	0.41	0.41
M4	Zona de lavado — Dreams Puerto Morelos	2023-07-24	Pasa	0.000	1.0	0.20	0.20	0.20
Puerto Morelos M1	Banco IRRM	2023-04-12	N°14	1.400			99.80	99.80
Puerto Morelos M1	Banco IRRM	2023-04-12	N°18	1.000			99.70	99.70
Puerto Morelos M1	Banco IRRM	2023-04-12	N°20	0.850			99.50	99.50
Puerto Morelos M1	Banco IRRM	2023-04-12	N°35	0.500			87.80	87.80
Puerto Morelos M1	Banco IRRM	2023-04-12	N°50	0.300			13.00	13.00
Puerto Morelos M1	Banco IRRM	2023-04-12	N°60	0.250			3.70	3.70
Puerto Morelos M1	Banco IRRM	2023-04-12	N°80	0.180			1.60	1.60
Puerto Morelos M1	Banco IRRM	2023-04-12	N°100	0.150			1.20	1.20
Puerto Morelos M1	Banco IRRM	2023-04-12	N°120	0.125			1.00	1.00
Puerto Morelos M1	Banco IRRM	2023-04-12	N°200	0.075			0.80	0.80

Resultados homologados — convención acumulada que pasa

Muestra	Procedencia	D16 homologado	D50 homologado	D84 homologado	D16 original	D50 original	D84/D85 original	Densidad (t/m³)	Convención original	Clasificación D50	Observación
M3	Sector 1 — Dreams Puerto Morelos	0.103	0.174	0.242	0.270	0.160	0.110	2.750	Percentiles aparentemente basados en retenido	Arena fina	Valores homologados recalculados desde la tabla de porcentaje que pasa; negativos corregidos sólo para cálculo.
M4	Zona de lavado — Dreams Puerto Morelos	0.170	0.496	0.978	0.930	0.360	0.180	2.610	Percentiles aparentemente basados en retenido	Arena media	Valores homologados recalculados desde la tabla de porcentaje que pasa.
Puerto Morelos M1	Banco IRRM	0.306	0.386	0.487	0.310	0.390	0.490	2.365	Porcentaje acumulado que pasa	Arena media	Los resultados recalculados se contrastan con D16=0.31, D50=0.39 y D84=0.49 mm reportados por el laboratorio.

Comparación	D16	D50	D84	D50 banco / D50 playa	Lectura técnica
Banco IRRM vs M3	2.97	2.22	2.01	2.22	El banco es más grueso que M3
Banco IRRM vs M4	1.81	0.78	0.50	0.78	El banco es igual o más fino que M4

Muestra	D84/D16	Interpretación comparativa
M3	2.34	El D50 homologado del Banco IRRM (≈0.386 mm) queda entre M3 (≈0.174 mm) y M4 (≈0.496 mm). Su relación
M4	5.76	D84/D16 es menor, lo que indica una distribución granulométrica más estrecha y uniforme que las muestras
Banco IRRM	1.59	receptoras, especialmente M4.

Nota interpretativa: la homologación permite comparar las tres muestras con la convención estándar de porcentaje acumulado que pasa. No constituye por sí sola un dictamen definitivo de compatibilidad sedimentológica; esa interpretación debe considerar conjuntamente distribución completa, composición, densidad, color, carbonatos, estabilidad y respuesta morfodinámica.

Curvas granulométricas comparables

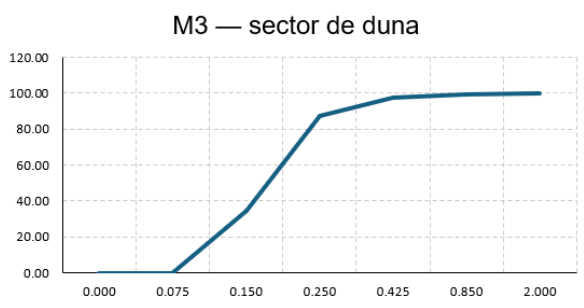
Abertura M3 (mm)	% pasa M3
0.000	0.00
0.075	0.00
0.150	34.71
0.250	87.33
0.425	97.21
0.850	99.45
2.000	99.68

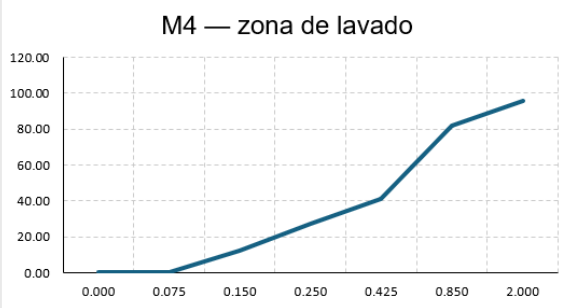
Abertura M4 (mm)	% pasa M4
0.000	0.20
0.075	0.41
0.150	12.49
0.250	27.08
0.425	40.86
0.850	81.71
2.000	95.73

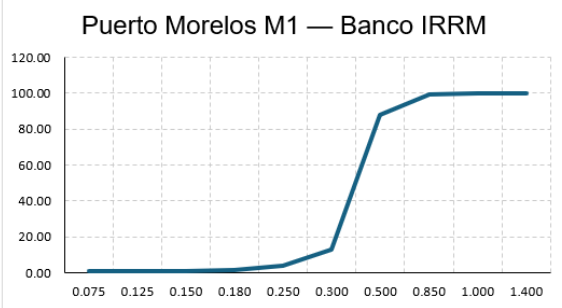
Abertura Banco (mm)	% pasa Banco
0.075	0.80
0.125	1.00
0.150	1.20
0.180	1.60
0.250	3.70
0.300	13.00
0.500	87.80
0.850	99.50
1.000	99.70
1.400	99.80

Muestra	D16 (mm)	D50 (mm)	D84 (mm)
M3	0.103	0.174	0.242
M4	0.170	0.496	0.978
Banco IRRM	0.306	0.386	0.487

Lectura: el D50 del Banco IRRM se ubica entre M3 y M4. Las tres curvas se muestran con la misma estructura gráfica y la misma unidad, conservando los puntos de tamiz disponibles en cada ensayo.







W 86-52.00
W 86-51.00
W 86-50.00
W 86-49.00
N 20-54.00
N 20-53.00
N 20-52.00
Y 2,311,000.00
Y 2,310,000.00
Y 2,309,000.00
Y 2,308,000.00
X 514,000.00
X 515,000.00
X 516,000.00
X 517,000.00
X 518,000.00
X 519,000.00

Hotel Dreams
Puerto Morelos
Resort & SPA

N

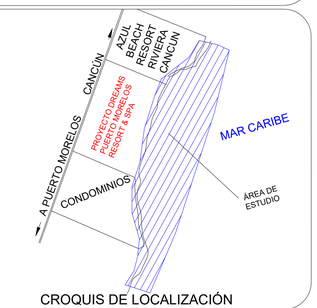
< -20.00
-20.00 - -19.01
-19.00 - -18.01
-18.00 - -17.01
-17.00 - -16.01
-16.00 - -15.01
-15.00 - -14.01
-14.00 - -13.01
-13.00 - -12.01
-12.00 - -11.01
-11.00 - -10.01
-10.00 - -9.01
-9.00 - -8.01
-8.00 - -7.01
-7.00 - -6.01
-6.00 - -5.01
-5.00 - -4.01
-4.00 - -3.01
-3.00 - -2.01
-2.00 - -1.01
-1.00 - -0.01
>= 0.00

Scale: 1 cm = 75.00 Meters
50 100 200 300 400 Meters

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

SIMBOLOGIA:

- Curva batimetrica
- -1.0 Profundidad en metros (negativa)
- Curva Maestra a cada 5 metros
- Target en donde se marcaron anotaciones durante batimetría
- Banco de Nivel
- Limite arrecife natural

NOTAS:

LEVANTAMIENTO TOPOBATIMÉTRICO A DETALLE 01 Y 02

UBICACIÓN: 33 KM AL SUR DE CANCÚN, UBICADO EN MUNICIPIO DE PUERTO MORELOS QUINTANA ROO.

LAS PROFUNDIDADES SON NEGATIVAS Y LAS ELEVACIONES SOBRE EL NIVEL DEL MAR SON POSITIVAS.

CURVAS DE NIVEL A CADA 0.5 METRO.

PROYECCIÓN: MERCATOR TRANSVERSAL.

ELIPSOIDE: WGS-84

SISTEMA DE COORDENADAS: UTM Zona 16 (90W-84W)

PROFUNDIDADES REFERIDAS A **NIVEL MEDIO DEL MAR**

LEVANTAMIENTO REALIZADO CON ECOSONDA MONOHAZ SONARMITE DE 200 Khz Y GPS HEMISPHERE A361 DIFERENCIAL CON WAAS, CORRECCIÓN DE MAREAS CON SENSOR DE PRESIÓN RBR SOLO3 A 2Hz.

ARCHIVO DE AUTOCAD "TOPOBATIMETRÍA" GEOREFERENCIADA

PLANO:

TOPOBATIMETRÍA GENERAL

DIBUJO:
TOPOBATIMETRIA A GENERAL DEL FRENTE DE COSTA DEL HOTEL DREAMS PUERTO MORELOS RESORT & SPA

LUGAR:
Puerto Morelos, Q. Roo, México

PROYECTO:
Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del
Hotel Dreams PuertoMorelos Resort & SPA

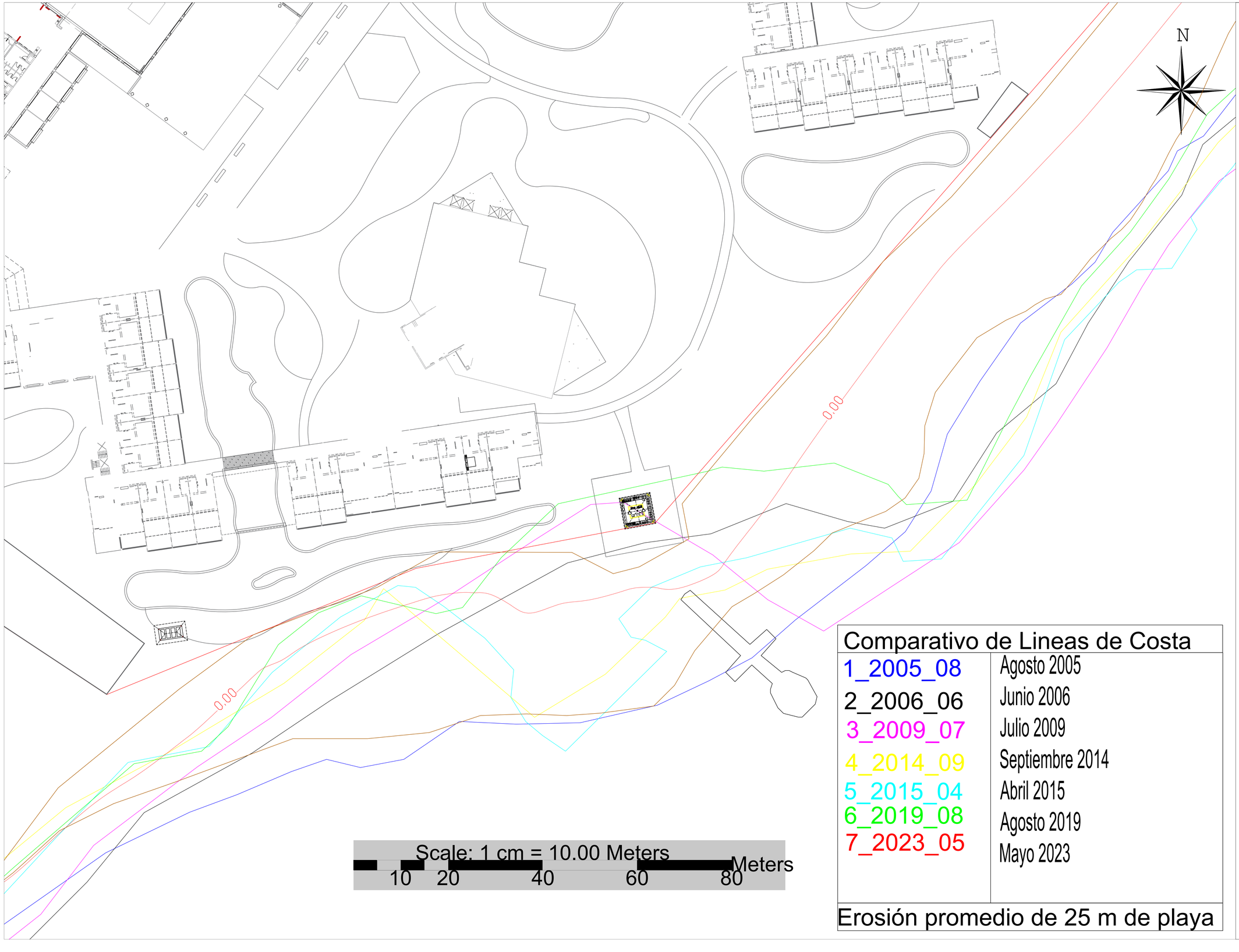
NUMERO DE PLANO: 1

FECHA:

ESCALA: 1 : 7,250

ACOTAMIENTO: Metros

TECNOCEANO



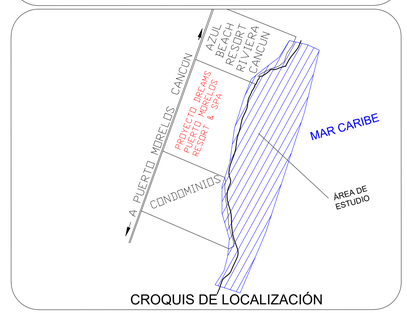
Comparativo de Lineas de Costa	
1_2005_08	Agosto 2005
2_2006_06	Junio 2006
3_2009_07	Julio 2009
4_2014_09	Septiembre 2014
5_2015_04	Abril 2015
6_2019_08	Agosto 2019
7_2023_05	Mayo 2023

Erosión promedio de 25 m de playa

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

SIMBOLOGIA:

- CURVA BATIMETRICA
- -1.0 PROFUNDIDAD EN METROS (NEGATIVA)
- -5 CURVA MAESTRA A CADA 5 METROS
- TARGET EN DONDE SE MARCARON ANOTACIONES DURANTE BATIMETRÍA
- BANCO DE NIVEL
- LIMITE ARRECIFE NATURAL

NOTAS:

UBICACIÓN: 33 KM AL SUR DE CANCÚN, UBICADO EN MUNICIPIO DE PUERTO MORELOS QUINTANA ROO.

LAS PROFUNDIDADES SON NEGATIVAS Y LAS ELEVACIONES SOBRE EL NIVEL DEL MAR SON POSITIVAS.

CURVAS DE NIVEL A CADA 0.5 METRO.

PROYECCIÓN: MERCATOR TRANSVERSAL.

ELIPSOIDE: WGS-84

SISTEMA DE COORDENADAS: UTM Zona 16 (90W-84W)

PROFUNDIDADES REFERIDAS A **NIVEL MEDIO DEL MAR**

LEVANTAMIENTO REALIZADO CON ECOSONDA MONOHAZ SONARMITE DE 200 Khz Y GPS HEMISPHERE A361 DIFERENCIAL CON WAAS, CORRECCIÓN DE MAREAS CON SENSOR DE PRESIÓN RBR SOLO3 A 2Hz.

ARCHIVO DE AUTOCAD "TOPOBATIMETRÍA" GEOREFERENCIADA

PLANO:

PLANO COMPARATIVO DE LINEAS DE COSTA

DIBUJO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LÍNEA DE COSTA

LUGAR: Puerto Morelos, Q. Roo, México

PROYECTO: Proyecto Integral de Restauración y Estabilización del Litoral Costero del Hotel Dreams PuertoMorelos Resort & SPA

NUMERO DE PLANO: 11

FECHA:

ESCALA: 1 : 350

ACOTAMIENTO: Metros

TECNOCEANO