

BP-23

EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE ARRECIFES ARTIFICIALES PARA USO TURÍSTICO EN COZUMEL, MÉXICO

Luis Carlos Santander

Universidad de Quintana Roo, México, lsant@uqroo.mx

RESUMEN

El Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (PNAC) recibe un número de visitantes que practican el buceo en una cantidad superior a la recomendada como capacidad de carga por diversos estudios internacionales. La presión ejercida por el nivel de visitación se suma a las presiones experimentadas por los arrecifes de coral en el Caribe, incluido el calentamiento de los océanos y el creciente número e intensidad de las tormentas tropicales. Frente a este panorama y como una herramienta para reducir la concentración de buzos en arrecifes naturales, se encuentra en proceso de instrumentación un proyecto para la construcción y anclaje de 52 estructuras artificiales fuera del PNAC. El proyecto, en su fase de instrumentación y de funcionamiento, generará impactos ambientales que es preciso evaluar previo al inicio de la etapa de construcción y sembrado de las estructuras artificiales. En esta presentación se formulan y desglosan los elementos propios para la EIA del proyecto a través de un método matricial que registra en un eje las tres etapas del proyecto (construcción y transportación, instalación y permanencia en el medio) y por el otro los componentes bióticos, físicos y socioeconómicos correspondientes al área donde se instalará el arrecife artificial. Posterior a la identificación, descripción y causas de los impactos se valora el nivel de los mismos, considerando su duración, extensión y reversibilidad.

Palabras clave: arrecifes artificiales, EIA, turismo, Cozumel

El Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (PNAC) recibe un número de visitantes que practican el buceo, en una cantidad superior a la recomendada como capacidad de carga, por diversos estudios internacionales. La presión ejercida por el nivel de visitación se suma a las presiones experimentadas por los arrecifes de coral en el Caribe, incluido el calentamiento de los océanos y el creciente número e intensidad de las tormentas tropicales. Frente a este panorama, y como una herramienta para reducir la concentración de buzos en arrecifes naturales, se encuentra en proceso de instrumentación un proyecto para la construcción y anclaje de estructuras artificiales fuera del PNAC.

El proyecto¹ surge en respuesta a una convocatoria para financiamiento, lanzada por el gobierno estatal de Quintana Roo, México, y [el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología](#) (CONACYT). De acuerdo a los requisitos de la convocatoria, los arrecifes artificiales responden a la demanda de actores locales; en este caso las autoridades del PNAC y organizaciones de prestadores de servicios turísticos. En su fase de instrumentación y de funcionamiento, el proyecto generará impactos ambientales que es preciso evaluar previo al inicio de la etapa de construcción y sembrado de las estructuras artificiales, con objeto de establecer las medidas de mitigación necesarias. En este trabajo se presenta la información sobre el área en que se realizará el proyecto, las principales características del mismo, así como la evaluación del impacto ambiental durante las diferentes etapas del mismo, incluyendo las medidas de mitigación necesarias.

El proyecto tiene como fin construir y fijar, en el fondo submarino, 52 estructuras artificiales conocidas como Arrecife Fractal Artificial (AFA), en aguas someras de la zona denominada Playa Villa Blanca, en Cozumel, Quintana Roo, México; lo anterior, para crear un arrecife artificial que proveerá refugios para peces, espacios viables para la adhesión de especies marinas productoras primarias, como corales y algas, que promoverán el reclutamiento y servirán como atractores de especies secundarias como peces, crustáceos y moluscos (Bohnsack, 1989). Aunado a esto, los arrecifes artificiales sumergidos crearán también un nuevo atractivo ecoturístico, que con el debido tiempo establecerá otra zona de arrecifes y podrá liberar a los arrecifes naturales dentro del PNAC, de la presión ejercida por la alta incidencia de buzos dentro de este parque, fomentando así el desarrollo sustentable en la zona.

Entre los objetivos del proyecto se contempla: a) monitorear la sucesión biológica y el recubrimiento de estas estructuras con vida marina; b) evaluar la experiencia turística de los buzos visitantes, tanto a arrecifes naturales como a los arrecifes artificiales; c) revelar el perfil de buzos atraídos por los arrecifes artificiales, y; d)

¹ “Conservación del Ambiente y Perspectivas para el Enriquecimiento de la Calidad Turística obtenida por los Buzos Visitantes a los Arrecifes de Coral de Cozumel, Quintana Roo, mediante el Establecimiento de Arrecifes Artificiales frente a la Zona Costera conocida como Playa Villa Blanca, en Cozumel Quintana Roo”, financiado por el Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica, CONACYT-Gobierno del Estado de Quintana Roo (FOMIX), con clave QROO-2010-001-144232.

promover la conservación a través de la creación de material de difusión y de la rehabilitación del ecosistema arrecifal.

La economía de la Isla de Cozumel depende en su totalidad de la actividad del turismo, principalmente proveniente de los cruceros (Segrado et al., 2008). El turismo está vinculado directamente a los recursos naturales y culturales del destino (Palafox y Zizumbo, 2009). Cozumel tiene como recurso natural más importante el arrecife de coral que pertenece al Sistema Arrecifal Mesoamericano (Spalding et al., 2001), donde el buceo siempre ha sido un nicho de mercado altamente competitivo, con alrededor de 1500 buzos por día y más de 100 tiendas de buceo (Jordan-Dahlgren y Rodríguez, 2003).

Las presiones antropogénicas como la explotación excesiva de los recursos marinos, la contaminación y la presión ejercida por el calentamiento global, junto con el incremento de la temperatura en los océanos, responsable del blanqueamiento masivo de corales, unido al impacto de fenómenos meteorológicos como el paso de los huracanes Emily y Wilma, en 2005, así como una alta presión de buzos sobre los arrecifes naturales de Cozumel, han causado el deterioro y, en algunos casos, la pérdida irreversible de arrecifes (Kramer y Kramer, 2000; Álvarez-Filip, 2007 y Nim IV, 2006).

Es por tal motivo, que actualmente se promueven estrategias para que la isla de Cozumel conserve, mantenga y mejore su posicionamiento como destino turístico pensando en un crecimiento y explotación del recurso de una forma sustentable. Este proyecto encaja en esta clara línea de acción, brindando estrategias adecuadas para la recuperación de un ecosistema impactado y sujeto a la sinergia de las presiones ya referidas.

De acuerdo con la programación inicial, el proyecto se desarrollaría de febrero de 2011 a agosto de 2012. Sin embargo, a la fecha (abril 2012), ha sido autorizada una reprogramación que considera que las primeras estructuras arrecifales se construyan e instalen entre abril y mayo de 2012, y que la fecha de conclusión del mismo sea en febrero de 2013. Es evidente que, a excepción de la construcción e instalación de las estructuras artificiales, los objetivos propuestos en el proyecto rebasan el periodo de vigencia administrativa del mismo.

Ubicación del proyecto

El sitio donde se están colocando los arrecifes fractales artificiales, es la zona marina frente a la playa conocida como "Villa Blanca", ubicada a un costado de la Avenida Costera Sur, entre el Condominio "El Palmar" y el Hotel "Villa Blanca".

La isla de Cozumel, al igual que la península de Yucatán, se caracteriza por suelos cársticos, y el área marina en la que se localiza el sitio, es una zona con fondo de extensas lajas donde se encuentran algas marinas y parches de coral aislados, con un tamaño que no alcanzan ni un metro cuadrado. De acuerdo con Jordán Dahlgren y Rodríguez (2003), la expectativa para esta área es la de encontrar, a una distancia

de entre 30 y 60 metros de la costa, y a una profundidad promedio de seis metros, las principales formaciones coralinas someras.

En el área marina en la que se ubica el sitio, los sustratos son laja, arenal y roca, en la cual se identificaron con base en la profundidad, cinco zonas, en las cuales se utilizaron transectos para identificar especies presentes y su riqueza específica (ver cuadro 1).

Cuadro 1. Caracterización del área marina donde se ubica el sitio para la instalación de los arrecifes artificiales.

Zona	Profundidad	Características abióticas y bióticas
I	Menos de 1 m	Sustrato rocoso predominante, gran cantidad de peces e invertebrados. Reclutas y parches de coral de <i>Porites astreoides</i> , <i>Favia fragum</i> , <i>Siderastrea radians</i> y <i>Milepora complanata</i> .
II	1 a 4 m	Sustrato de laja con formaciones rocosas dispersas, así como rocas sueltas. La ausencia de elementos estructurales que soporten la existencia de productores primarios se traduce en falta de soporte para una mayor biodiversidad.
III	4 a 7 m	Fondo de laja con parches de coral dispersos, con esponjas e invertebrados asociados.
IV	7 a 10 m	Arenal con grava de coral muerto, rocas pequeñas, algas calcáreas, conchas y parches de coral aislados.
V	Más de 10 m	Arenal y sustrato rocoso sin parches de coral.

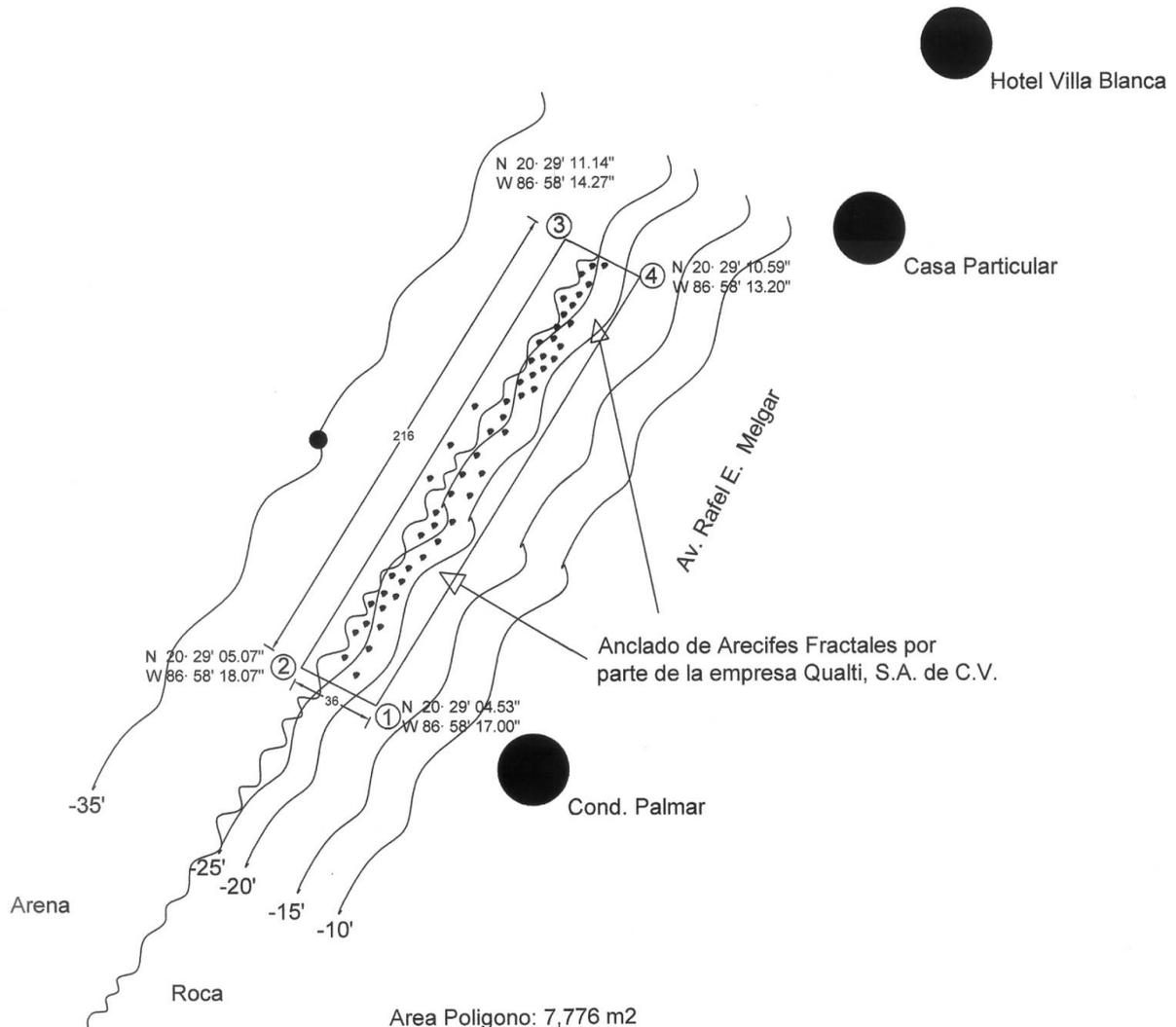
Fuente: observación directa (agosto 2011).

El polígono en que se están instalando los arrecifes artificiales se encuentra en las zonas III y IV y se caracteriza por un fondo formado de laja calcárea con parches de coral aislados; en la parte más profunda, el fondo incluye arenales con un espesor aproximado de 30 cm, con grava de coral muerto transportado por el oleaje, rocas pequeñas y parches de coral aislados. No existen en el área pastos marinos.

El sitio del proyecto se encuentra dentro de la Unidad de Gestión Ambiental (UGA) CP1 del Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Cozumel (POEL), publicado en el Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Quintana Roo el 21 de octubre de 2008. El polígono para el proyecto se ubica a 50 metros de la línea de costa, tiene forma rectangular, con 216 metros paralelos a la costa y 36 metros perpendiculares a la misma, resultando en un polígono de 7,776 metros cuadrados, con las siguientes coordenadas: NW (ver figura 1): punto 1. 20°29'04.53'' y 86°58'17.00''; punto 2. 20°29'05.07'' y 86°58'18.07''; punto 3.

20°29'11.14" y 86°58'14.27"; y punto 4. 20°29'10.59" y 86°58'13.20". El sitio no se encuentra dentro de ninguna zona protegida y está ubicado a poco más de 2 km al norte del PNAC. El fondo marino del sitio tiene un rango de profundidad de entre 6 y 10 metros (ver figura 1). La distancia promedio entre las estructuras será de 10 metros, su distribución y colocación será de acuerdo a las recomendaciones de Seaman y Sprague (1991), Seaman (1996) y Walker et al (2002).

Figura 1. Batimetría (pies) del sitio para instalación de arrecifes artificiales



Fuente: Qualti, S.A. de C.V.

Características de proyecto

Cada una de las estructuras artificiales serán fabricadas e instaladas por la empresa Qualti, S.A. de C.V. y serán elaboradas y desarrolladas con materiales locales y mano de obra del sitio. La elaboración e instalación de las estructuras artificiales se realizará bajo los protocolos de la empresa, los cuales han desarrollado, investigado

y patentado dichas estructuras, y se trabajará en colaboración con el Parque Nacional Arrecifes de Cozumel.

La empresa responsable ha desarrollado un arrecife artificial de forma fractal que permite la colocación de estructuras de formas variadas, inspirándose en estructuras arrecifales naturales. Tanto el sistema constructivo modular, como la instalación de las estructuras, son simples y no requieren maniobras complejas, ni equipo, ni maquinaria mayor, siendo amigable con el ambiente. Los arrecifes fractales artificiales pueden estar compuestos de 4 a 6 módulos fractales, dependiendo del área efectiva de arrecife artificial que se requiera, generando una unidad arrecifal artificial, con la posibilidad de ensamblar varias unidades para crear una cordillera.

Cada módulo fractal es fabricado con concreto marino impermeable de alta resistencia, $f'c = 300\text{kg/cm}^2$, con 8 cm de espesor, acero de refuerzo en una parrilla de 10×10 , con varilla de $3/8"$ y la modificación únicamente del pH superficial del concreto, para promover la rápida adherencia de organismos marinos, sin alterar las propiedades mecánicas y estructurales del módulo fractal, garantizando así la durabilidad y estabilidad de la estructura.

Cada una de las 52 estructuras arrecifales a instalar se conforma por cuatro, cinco o seis módulos que son anclados al lecho marino, ya sea en sustrato rocoso o arenoso, por medio de un sistema de anclaje desarrollado y patentado por Qualti, S.A. de C.V., asegurando la permanencia de las estructuras en su posición original, aún en la presencia de fenómenos meteorológicos de alto impacto, como son los huracanes y nortes, evitando así la liberación de las estructuras y los daños al ecosistema circundante.

El método de anclaje de las estructuras artificiales, en el caso de realizarse sobre sustrato rocoso, es por medio de la utilización de un equipo hidráulico de barrenación, para la instalación de 3 sistemas de anclaje (taquetes de expansión), con capacidad de 1.5 toneladas cada uno, teniendo así un sistema con una capacidad total de 4.5 toneladas. En el caso de que se requiera el anclaje de las estructuras sobre sustrato arenoso, éste es por medio de 3 anclas de arena, cuya instalación es completamente manual, con una capacidad de 1 tonelada por anclaje, resultando así en un sistema con una capacidad total de 3 toneladas. Los materiales y tornillería utilizados son de acero galvanizado por inmersión en caliente, así como acero inoxidable para garantizar la durabilidad de la estructura arrecifal artificial, ante los agentes externos que pudieran degradar estos elementos.

La dimensión de cada módulo fractal es de $1.2 \text{ m} \times 0.9 \text{ m}$, teniendo un área efectiva de 0.6122 metros cuadrados, considerando únicamente la cara superior, y un peso de 125 kg. Dependiendo del número de módulos fractales en una unidad, las medidas, áreas y pesos, son los siguientes: para cuatro módulos, el área efectiva es de 2.45 metros cuadrados y 500 kg; para cinco módulos, las cifras son 3.06 metros cuadrados y 625 kg; y para 6 módulos, el área efectiva es de 3.67 metros cuadrados, con un peso de 750 kg. De las 52 estructuras que se están instalando, 38 son con cuatro módulos, 10 con cinco módulos y cuatro con seis módulos.

Al colocar estructuras artificiales de formas variadas y funcionales, se espera un incremento en la diversidad y complejidad de las estructuras de especies. Al incrementar las áreas para productores primarios, se espera un aumento del flujo de energía en la red trófica del sitio (Larkum, 1983; Fitzhardinge y Bailey-Broc, 1989; Seaman y Sprague, 1991; Kostylev et al, 1996; Rilov y Benayahu, 2002; Sale, 2002; Lukens et al, 2004, y; Precht, 2006).

Aunado a esto, se espera que la comunidad y prestadores de servicios utilicen este espacio como alternativa ecoturística y de aprendizaje de buceo, además de poner a disposición del PNAC el uso de las estructuras para realizar proyectos de sembrado y propagación de corales, y educación ambiental, así como a la Universidad de Quintana Roo, para la realización de talleres de educación ambiental en materia de uso turístico de arrecifes artificiales y naturales.

Al finalizar el proyecto, no se contempla el desmantelamiento del arrecife artificial creado, ya que el objetivo es que se forme una comunidad coralina con especies de flora y fauna asociadas a ellas. Las estructuras artificiales en el sitio del proyecto proporcionarán nuevos refugios para diversas especies de flora y fauna marina, muchas de ellas endémicas de Cozumel, y contribuirá a la rehabilitación del ecosistema arrecifal cozumeleño. Sin embargo, es importante mencionar que, de así requerirse, el sistema está diseñado para tener una fácil movilidad, y es posible su completa desmantelación y extracción del medio marino.

Las etapas previstas en el proyecto son: construcción, transportación, instalación y permanencia de los arrecifes.

EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Los instrumentos normativos de carácter federal que regulan la totalidad o parte del proyecto, son: la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley General para el Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento, la Ley General de Vida Silvestre, la Ley Federal del Mar, la Ley de Aguas Nacionales, la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables y el Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al Mar. Por su parte, la normatividad local establece, en el POEL los criterios ecológicos aplicables para aprovechamientos dentro de la Unidad de Gestión Ambiental CP1.

Por su ubicación dentro de un área con política de aprovechamiento, fomentará el desarrollo productivo de bajo impacto ambiental y estimulará el ecoturismo, así mismo, se buscará que contribuya a crear consciencia ambiental, además de que ayudará al desarrollo, conservación y restauración del ecosistema arrecifal. El desarrollo del proyecto no provocará desequilibrios ecológicos, debido tanto a su naturaleza misma, como su extensión limitada (superficie total requerida por el proyecto: 7,776 m²; superficie que ocuparán las estructuras: 138.36 m²) y su

ubicación apropiada (zona con fondos rocosos y arena, con presencia de bolones o macizos de coral aislados).

Con base en la normatividad vigente, se realizó una evaluación del impacto ambiental del proyecto, la cual fue validada y aprobada por la autoridad federal competente *Sería conveniente señalar el nombre de la autoridad (enero 2012).

Acorde con los requerimientos normativos, la evaluación del impacto ambiental se realizó utilizando un sistema matricial, en el cual se identifican los componentes abióticos, bióticos y socioeconómicos potencialmente afectables, durante alguna de las diferentes etapas. El procedimiento es el contemplado en la legislación federal aplicable. Es un listado de amplio espectro, del alcance, elementos y acciones, que brinda un rápido referente de los impactos más relevantes y su importancia relativa. El método es aplicado desde la década de 1960, en diferentes países, y sus alcances y limitaciones tanto teóricas como prácticas han sido ampliamente discutidos (Leopold et al, 1971 y Whatherns (1990).

Los criterios utilizados para la evaluación de los impactos ambientales fueron: a) INTENSIDAD (bajo o nulo, con un valor de 0.33, medio, con valor de 0.66, y alto, con valor de 1); b) TIPO (positivo o negativo); c) DURACIÓN (corto plazo, con valor de 0.25; mediano plazo, con valor de 0.50; largo plazo, con valor de 0.75, y permanente, con valor de 1); d) EXTENSIÓN (puntual, local y regional, con valores de 0.33, 0.66 y 1, respectivamente), y; e) REVERSIBILIDAD (reversible o irreversible). Las valoraciones de los criterios utilizados se basaron en la experiencia y están respaldadas por bibliografía.

La matriz principal (ver ejemplo en Cuadro 2) se elaboró con las siguientes columnas: 1) Elementos impactados; 2) Etapa de construcción; 3) Etapa de transportación; 4) Etapa de instalación; 5) Permanencia de los arrecifes artificiales, y; 6) Valoración (intensidad, tipo, duración, extensión y reversibilidad). Por su parte, las filas correspondieron a los elementos impactados (abióticos, bióticos, socioeconómicos, ecológicos y culturales).

Cuadro 2. Modelo de matriz utilizada para la evaluación del impacto ambiental del proyecto arrecifes artificiales en Villa Blanca, Cozumel, México

Elementos	Construcción	Transportación	Instalación	Permanencia	Valoración
Abióticos					
Bióticos					
Socio económicos					
Ecológicos					
Culturales					

Fuente: elaboración propia.

Cada uno de los rubros de los elementos sujetos a recibir impactos, se desagregó en filas adicionales a la matriz, de acuerdo a la clasificación presentada en el cuadro 3, y son valorados, consecuentemente, en cada una de las etapas del proyecto.

Cuadro 3. Categorías incorporadas en la matriz para evaluar el impacto ambiental del proyecto arrecifes artificiales en Villa Blanca, Cozumel, México

Elementos	Rubros (impactados y/o que impactan)
Abióticos	Temperatura del agua / pH / Corrientes / Oleaje / Viento / Marea / Salinidad / Sólidos disueltos / Sedimentos / turbidez / línea de costa / batimetría / oxígeno disuelto / materia orgánica / materia en sedimentos / nutrientes / conductividad / hidrocarburos en columna de agua / hidrocarburos en sedimentos marinos
Bióticos	Fitoplancton (abundancia) / Fitoplancton (diversidad) / Zooplancton (abundancia) / Zooplancton (diversidad) / Macrofitos (abundancia) / Macrofitos (diversidad) / Macrofauna (abundancia) / Macrofauna (diversidad) / Ictiofauna (abundancia) / Ictiofauna (diversidad)
Socio económicos	Generación de empleos / calidad del paisaje / densidad de población / transporte y vialidad / pesquerías / actividades turísticas y recreativas
Ecológicos	Conservación
Culturales	Educación y concientización ambiental

Fuente: elaboración propia.

Del análisis realizado, se identificó el potencial de impacto negativo que en la etapa de instalación puede representar el anclaje de las estructuras en el lecho marino, con motivo de la suspensión de material que puede afectar a los parches de coral existentes en la zona y/o a arrecifes de coral ubicados al norte del sitio, que es la dirección de la corriente predominante. El sistema para anclaje incorpora técnicas de barrenado “antisedimentos”, consistente en que aquella materia desprendida por la perforación, es aspirada por mangueras sujetas a soportes adyacentes y paralelos al barreno, hacia un tanque con filtro instalado en una embarcación. Con el sistema de anclaje, puede presentarse una ligera suspensión de materiales pero por su reducida magnitud el impacto es bajo, no relevante y reversible. En virtud de la limitada biodiversidad y su escasa distribución, no se incorporó en el análisis la perturbación a la fauna marina durante la etapa de instalación.

En la instrumentación del proyecto, se ha buscado que los posibles impactos negativos al ambiente que se pudieran generar durante la realización del proyecto, sean los mínimos posibles. A continuación, se presentan las medidas preventivas y de mitigación que se han considerado, para compensar los posibles impactos que podrían limitar la evolución y la sustentabilidad del proyecto a realizar:

- La fabricación de los módulos del arrecife fractal artificial no se realiza *in situ*, para evitar cualquier efecto negativo en el ambiente, y no afectará la flora y fauna silvestre.
- El arrecife fractal artificial está elaborado con concreto de alta calidad y pH controlado, y las estructuras y los materiales utilizados no son tóxicos y tienen una gran durabilidad.
- La transportación terrestre y marítima, así como la colocación e instalación de las estructuras artificiales, se llevará a cabo por personal con experiencia previa.
- Cada arrecife fractal artificial se ancla con el sistema de anclaje que asegura la permanencia de las estructuras en el sitio, ya sea en fondo rocoso o arenoso, durante eventos climáticos adversos de alto impacto.
- Para evitar la generación de sedimentos que puedan afectar al medio ambiente circundante al realizar el barrenado en roca, la roca triturada y el sedimento generados son succionados con una bomba y enviados a un filtro de arena, evitando así la suspensión de sedimentos.

Con el procedimiento de evaluación, los rubros identificados como sujetos a impacto fueron: oxígeno disuelto, materia orgánica en sedimento, nutrientes, fitoplancton, zooplancton, macrofitos, macrofauna, ictiofauna, generación de empleos, calidad del paisaje submarino, actividades turísticas y recreativas, conservación, así como educación y concientización ambiental. Durante la etapa de permanencia, se **podrán obtener** en los rubros referidos, efectos positivos de influencia local.

CONCLUSIONES

Del análisis de los componentes ambientales relevantes y/o críticos del sistema ambiental donde se ubica el proyecto, se **concluyó** que por las características, dimensiones, acciones y alcances del proyecto, no se identificaron acciones que puedan considerarse críticas o negativas por su interacción con el ambiente. Por el contrario, lo que se espera observar son impactos positivos, ya que se espera que los arrecifes artificiales sean cubiertos por vida marina, creando nuevos hábitats para el crecimiento de corales, esponjas, algas, crustáceos, bivalvos, etcétera, y sirvan como refugio para peces y otros organismos marinos. Además, el proyecto podrá ser aprovechado sustentablemente por los prestadores de servicios turísticos de la isla y la comunidad en general, al utilizar el sitio para practicar el buceo recreativo, descargando así la presión ejercida por los buzos **en el** PNAC.

Analizando la matriz anterior, se observa que los impactos identificados se generan principalmente por la operación o permanencia de los arrecifes artificiales fractales en el fondo marino. En la etapa de instalación, en caso de presentarse una ligera suspensión de sedimentos, sería de bajo impacto y puntual en su localización. La resuspensión es de tan baja magnitud, que no existiría ningún tipo de afectación al medio ambiente y el impacto sería, en la totalidad del proyecto, no relevante y reversible. Sin embargo, en la etapa en la que los arrecifes artificiales ya estén instalados en el medio, se distingue claramente que su permanencia en el sitio generaría un sin-número de impactos, en su totalidad positivos, que van de mediano plazo a impactos positivos permanentes, con una influencia particularmente local.

En su totalidad, el proyecto generará beneficios ambientales para los recursos marinos de la isla y beneficios sociales, económicos y culturales para la comunidad de la isla de Cozumel.

Al fomentar la colonización de los arrecifes artificiales por vida marina, se contribuye a la rehabilitación del ecosistema, se crea un nuevo atractivo ecoturístico y se fomenta la generación de empleos e ingresos, y se da promoción al desarrollo sustentable de la zona. El proyecto, por su ubicación y alcance, no ocasionará riesgos ni impactos negativos al ecosistema. Tendrá efectos positivos en el ambiente y a nivel socioeconómico, además de que contribuirá a la generación de conciencia ambiental en los turistas y en la comunidad. Aunado a esto, este proyecto generará una alternativa ecoturística y apoyará los esfuerzos de protección y conservación del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel.

Bibliografía

- ÁLVAREZ-FILIP, L. 2007. "Efecto de los huracanes Emily y Wilma en el Parque Nacional Arrecifes de Cozumel", en Mejía-Ortiz L.M. (ed) *Biodiversidad acuática de la Isla de Cozumel*. Plaza y Valdés, México.
- BOHNSACK J.A. 1989. "Are high densities of fish at artificial reefs the result of habitat limitation or behavioral preference?" *Bull. Mar. Sci.* 44:631-645.
- FITZHARDINGE, R.C. Y BAILEY-BROCK, J.H. 1989. "Colonization of artificial reef materials by corals and other sessile organisms. *Bulletin of Marine Science*", 44:567-579.
- JORDAN-DAHLGREN E. Y RODRÍGUEZ, M. R. 2003. "The Atlantic Coral Reefs of Mexico", en Cortés, J. Editor, *Latin America Coral Reefs*. Amsterdam, Elsevier.
- KOSTYLEV, V.E., WILLIAMS, G.A., MAK, Y.M. 1996. "Macrofaunal community structure and habitat complexity: the importance of substratum complexity in assessing rocky shore communities", en *Spatial heterogeneity and habitat complexity affecting marine littoral fauna*, PhD thesis, Göteborg University, Alemania.

- KRAMER P.A. Y KRAMER P.R. 2000. *Ecological Status of the Mesoamerican Barrier Reef: impacts of Hurricane Mitch and 1998 coral bleaching*. Final report to the World Bank.
- LARKUM, A.W.D., 1983. "The primary productivity of plant communities on coral reefs" en Barnes, DJ, Editor. *Perspectives on Coral Reefs*. Australian Institute of Marine Science, Townsville.
- LEOPOLD, L. et al 1971. "A Procedure for Evaluating Environmental Impact, *Geological Survey Circular*. 645. Departamento del Interior, Estados Unidos de América, Washington.
- LUKENS R. R. Y SELBERG, C. 2004. "Guidelines for Marine Artificial Reef Materials". Atlantic and Gulf States Marine Fisheries Commissions número 121. Estados Unidos de América.
- NIM IV C. J. 2006. The political ecology of environmental change and tourist development in Cozumel, Mexico. Thesis Master in Geography. Miami University. Estados Unidos de América.
- PALAFOX A. Y ZIZUMBO, L. V. 2009. "Distribución territorial y turismo en Cozumel Estado de Quintana Roo, México" *Gest. tur.* 11:69 – 88.
- PRECHT W. F 2006. *Coral reef restoration handbook*. CRC Press.
- RILOV, G., Y BENAYAHU, Y. 2002. "Rehabilitation of coral reef-fish communities: The importance of artificial – reef relief to recruitment rates". *Bulletin of Marine Science*, 70: 185- 197.
- SALE P. E. Editor. 2002. *Coral Reef: Fishes Dynamics and Diversity in a Complex Ecosystem*. Academic Press Inc., San Diego, California.
- SEAMAN W. 1996. Does the level of design influence success of an artificial reef? *Proceedings of the 1st Conference of the European Artificial Reef Research Network*, Ancona, Italia. pp. 26-30
- SEAMAN, W. y SPRAGUE, L.M. 1991. "Artificial Habitat Practices in Aquatic Systems" en *Artificial Habitats for Marine and Freshwater Fisheries*. pp. 1-29, Academic Press, Inc., San Diego, California.
- SEGRADO R., PALAFOX, A. Y ARROYO, L. 2008. "Medición de la Capacidad de Carga Turística de Cozumel". *El Periplo Sustentable* 13:33-61. <http://www.uaemex.mx/plin/psus/rev13/articulo_02.pdf>.
- SPALDING, M. D., RAVILIOUS, C. AND GREEN, E. P. 2001. *World Atlas of Coral Reefs*. University of California Press, Berkeley.
- WALKER B. K., HENDERSON B. Y SPIELER R. E. 2002. "Fish assemblages associated with artificial reefs of concrete aggregates or quarry stone offshore Miami Beach, Florida, USA". *Aquat. Living. Resour.* 15:95-105.

WATHERN, P. Editor. 1990. *Environmental Impact Assesment: theory and practice*.
Londres. Routledge.