

## Evaluación del impacto ambiental de arrecifes artificiales para uso turístico en Cozumel, México

Environmental impact of artificial reefs for tourism in Cozumel, Mexico

Luis Carlos Santander,<sup>1</sup> Marilú López Mejía,<sup>2</sup>  
Luis Manuel Mejía Ortiz,<sup>3</sup> Oswaldo Gallegos Jiménez<sup>4</sup>

Santander, L. C.; López Mejía, M.; Mejía Ortiz, L. M.; Gallegos Jiménez, O., Evaluación del impacto ambiental de arrecifes artificiales para uso turístico en Cozumel, México, *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 56, pp. 18-26, 2012.

### RESUMEN

La distribución de arrecifes de coral no es homogénea, sólo algunos mares del planeta contienen las características para este ecosistema. Sin embargo, es uno de los más vulnerables ante el calentamiento global y el estrés ambiental derivado del turismo, a pesar de ser el más diverso y complejo de la Tierra. La región Caribe y, dentro de ésta, los arrecifes de Cozumel, México, son un ejemplo de abuso turístico y deterioro ambiental por fenómenos meteorológicos de alta intensidad. Ante esta situación, el gobierno de Quintana Roo, México, y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, buscan mitigar los riesgos de este ecosistema natural, mediante un proyecto para la construcción e instalación de arrecifes artificiales que, en un marco de sustentabilidad, diversifique la oferta para el buceo, beneficie a los operadores turísticos locales, promueva la conservación, y disminuya la carga turística en

**Palabras clave:** impacto ambiental, arrecife artificial, turismo, Cozumel, sustentabilidad.

**Key words:** environmental impact, artificial reef, tourism, Cozumel, sustainability.

Recibido: 14 de Agosto de 2012, aceptado: 22 de Octubre de 2012

<sup>1</sup> Departamento de Estudios Sociales y Empresariales, Unidad Académica Cozumel, Universidad de Quintana Roo, lsant@uqroo.mx.

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias y Humanidades, Unidad Académica Cozumel, Universidad de Quintana Roo, marlopez@uqroo.mx.

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias y Humanidades, Unidad Académica Cozumel, Universidad de Quintana Roo, luismejia@uqroo.mx.

<sup>4</sup> Departamento de Turismo Sustentable, Hotelería y Gastronomía, Universidad del Caribe, Quintana Roo, ogallegos@ucaribe.edu.mx

el área marina protegida y el estrés ambiental del entorno natural.

### ABSTRACT

Coral reefs distribution around the planet is uneven. Only some oceans can support such ecosystem that is the most complex and diverse on earth, but also one of the most fragile to global warming and environmental stress associated to tourism. Coral reefs in the Caribbean and in Cozumel, Mexico, are a clear example of environmental loss due to excessive tourism and extreme tropical storms. Facing such a challenge, the government of Quintana Roo and the Mexican Federal Agency for Science and Technology promote the protection of Cozumel's coral reefs, through artificial reefs that within a sustainable framework, increase diving alternatives, help business of local diving shops, promote conservation and reduce tourist visits to the natural reefs in the neighboring marine protected areas thus reducing the environmental stress suffered by the reefs.

### INTRODUCCIÓN

El calentamiento de los océanos, el creciente número e intensidad de las tormentas y ciclones tropicales, y el incesante flujo masivo de visitantes a la región Caribe, constituyen factores de alta presión sobre los arrecifes de coral, uno de los ecosistemas más diversos y también más vulnerables del planeta. Los arrecifes coralinos de Cozumel no han sido ajenos a dicho estrés ambiental, pues además de verse afectados significativamente por diversos fenómenos meteorológicos, (Álvarez-Filip, 2008)

reciben, como los del resto del Caribe, un número de visitantes que practican buceo muy por encima de la capacidad de carga turística recomendada internacionalmente (Barker y Roberts, 2008; Townsend, 2008; Santander y Propin, 2009).

Frente a este panorama y como respuesta a una convocatoria para financiamiento emitida por el gobierno estatal de Quintana Roo, México, y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), se encuentra en proceso de instrumentación un estudio para la construcción y anclaje de estructuras artificiales fuera del área marina protegida de Cozumel,<sup>5</sup> entre cuyos objetivos destaca la creación de un sitio alternativo que reduzca la concentración de buzos en los arrecifes naturales.

En su fase de instrumentación e inicio de funcionamiento, el proyecto genera impactos ambientales que fue necesario evaluar previo al inicio de la etapa de construcción y sembrado de las estructuras artificiales, con el propósito de establecer las medidas de mitigación necesarias.

El objetivo del presente estudio es evaluar el impacto que la construcción e instalación de arrecifes artificiales tiene en la estructura y cantidad de vida marina en el sitio de plantado y su potencial de aprovechamiento para actividades acuático-recreativas (esnorquel y buceo scuba). Estudios previos y registros de la recuperación de la fauna marina y reclutamiento en la zona (Álvarez-Filip, 2008) fundamentan la selección del sitio. La hipótesis es que en el corto, mediano y largo plazos la concentración de vida marina aumentará a partir de la presencia inicial e inmediata de especies pioneras (hidroides, algas, serpúlidos, etc.), a la que sigue una también inmediata presencia de ictiofauna con gran cantidad de juveniles que se convertirá en un atractivo para esnorquelistas y buzos principiantes y en proceso de certificación, liberando la presión existente sobre arrecifes naturales.

El estudio se limita a la discusión sobre los resultados de la instalación de las primeras estruc-

turas artificiales y de las medidas de mitigación instrumentadas. Entre otros elementos, el estudio es relevante como una línea base para futuras investigaciones de la sucesión serial en el proceso de colonización de los arrecifes artificiales y de su aprovechamiento sustentable como recurso turístico. En este trabajo se presenta la información sobre el área en que se realizará el proyecto, las principales características del mismo y la evaluación del impacto ambiental durante las diferentes etapas del mismo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto tiene como fin construir y fijar, en el fondo submarino, 52 estructuras conocidas como Arrecife Fractal Artificial (AFA), en aguas someras de la zona denominada Playa Villa Blanca, en Cozumel, Quintana Roo, con la finalidad de crear un arrecife artificial que provea refugios para peces y sustrato para especies marinas productoras primarias, reclutadoras de especies secundarias, como peces, crustáceos y moluscos (Bohnsack, 1989).

Entre los objetivos del proyecto, se contempla: a) monitorear la sucesión biológica y el recubrimiento de las estructuras con vida marina; b) evaluar la experiencia turística de los buzos visitantes, tanto en arrecifes naturales como en los arrecifes artificiales; c) revelar el perfil de buzos atraídos por los arrecifes artificiales; y d) promover la conservación a través de la creación de material de difusión y de la rehabilitación del ecosistema de arrecifes.

La economía de la isla de Cozumel depende del turismo, particularmente de la dinámica en torno al arribo de cruceros (Segrado *et al.*, 2008). Las empresas navieras encuentran en Cozumel un punto estratégico en sus itinerarios, pues además de constituir la entrada y/o salida al Caribe, representa un destino que ofrece atractivos culturales y, sobre todo, naturales de alta jerarquía (Palafox y Zizumbo, 2009; Martínez y Gallegos, 2011). Sin duda, el recurso natural más importante de Cozumel son los arrecifes de coral, en donde históricamente la práctica del buceo ha constituido un nicho de mercado altamente redituable para la localidad; basta con mencionar la actual presencia de más de 100 operadores de servicios de buceo que satisfacen las demandas de 1,500 buzos promedio por día (Jordan-Dahlgren y Rodríguez, 2003).

<sup>5</sup> "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.

El flujo masivo de buzos, la sobre explotación de especies marinas, la contaminación y el estrés ambiental asociado al calentamiento global (cambio de temperatura y acidificación en los océanos, tormentas y huracanes más recurrentes y violentos) han causado en el Caribe el deterioro y blanqueamiento masivo de corales; incluso, en algunos casos, la pérdida irreversible de arrecifes naturales enteros<sup>6</sup> (Kramer y Kramer, 2000; Álvarez-Filip, 2008; Nim IV, 2006).

Por tal motivo, actualmente se promueven estrategias para que la isla de Cozumel conserve, mantenga y mejore su posicionamiento como destino turístico, en un marco de crecimiento y explotación de recursos de forma sustentable. El proyecto encaja en esta línea de acción, dado que brinda estrategias adecuadas para la recuperación de un ecosistema impactado y sujeto a la sinergia de las presiones ya referidas.

Las primeras estructuras se instalaron en junio de 2012 y debido a problemas en el abasto de anclas y otros materiales, a la fecha (septiembre de 2012), solamente han sido instaladas la mitad, las cuales, sin embargo, han sido monitoreadas en forma sistemática.

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*

6 Los huracanes Emily y Wilma, en 2005, redujeron en Cozumel la cobertura de coral vivo de 50 a 25%.

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, lo que configura un polígono de 7,776 metros cuadrados, cuyos vértices se localizan en las coordenadas siguientes: 20°29'04.53''N y 86°58'17.00''W punto 1; 20°29'05.07''N y 86°58'18.07''W punto 2; 20°29'11.14''N y 86°58'14.27''W punto 3 y 20°29'10.59''N y 86°58'13.20''W punto 4 (figura 1). El sitio está ubicado a poco más de dos kilómetros al norte del área marina protegida de Cozumel. El fondo marino del sitio tiene un rango de profundidad de entre 4 y 10 metros. La distancia promedio entre las estructuras es de 10 metros, su distribución y colocación es de acuerdo a las recomendaciones de Seaman y Sprague (1991), Seaman (1996) y Walker *et al.* (2002).

La isla de Cozumel, al igual que la península de Yucatán, se caracteriza por suelos cársticos. El área marina donde se están colocando los arrecifes artificiales cuenta con algunos parches de coral aislados, cuyos tamaños se encuentran por debajo de 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.

Los sustratos del área marina en la que se ubicarán los arrecifes artificiales son lajas y arenales y se identificaron cinco zonas con diferentes indicadores de vida marina (ver tabla 1).

**Tabla 1.** Caracterización física del área marina 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 de 2011).

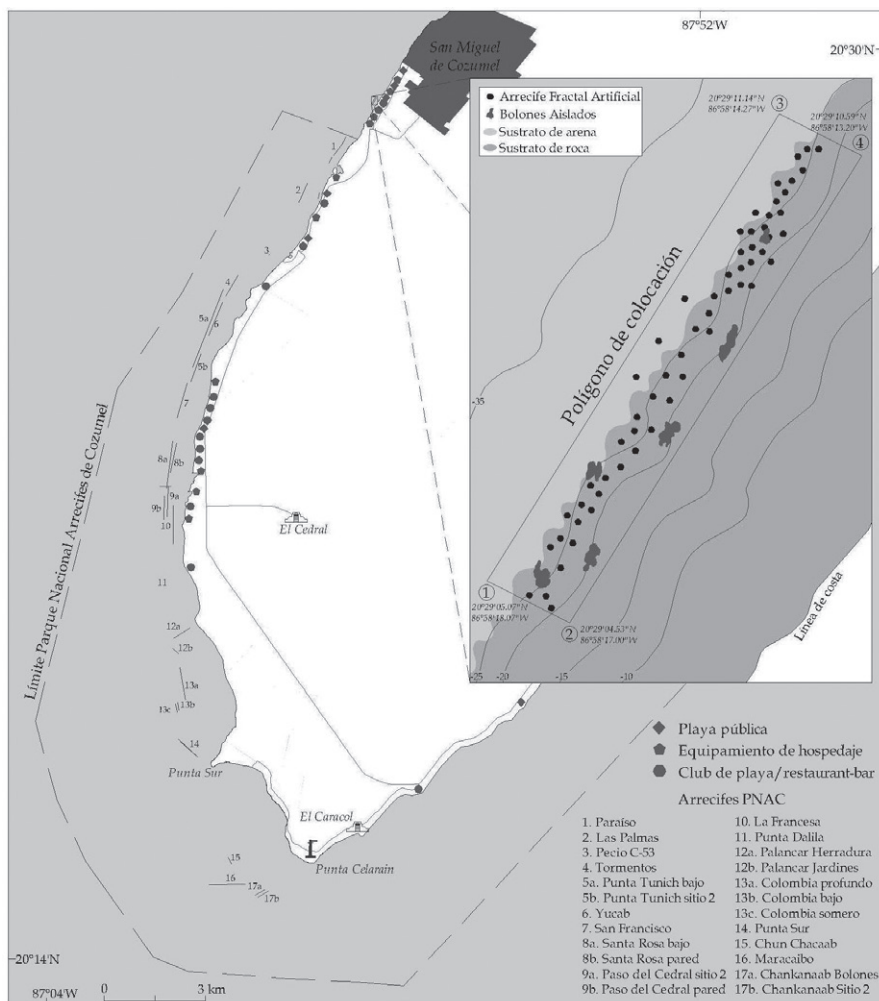


Figura 1. Localización de arrecifes artificiales, Villa Blanca, Cozumel.

Fuente: elaboración propia.

El polígono de instalación de los arrecifes artificiales se encuentra en las zonas III y IV, en donde la mayor parte del fondo está formado de laja calcárea con parches de coral aislados; en la parte más profunda, el fondo incluye arenales con un

<sup>7</sup> 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  $10 \times 10$ , con varilla de  $3/8"$ , con una modificación única del pH superficial del concreto (de 12 a 8) para promover la rápida adherencia de organismos marinos. Las propiedades mecánicas y estructurales del módulo fractal garantizan la durabilidad y estabilidad de la estructura.

<sup>8</sup> El método de anclaje de estructuras en el sustrato rocoso es mediante un equipo hidráulico de barrenación; la instalación contempla el anclaje con tres taquetes de expansión (con capacidad de 1.5 toneladas cada uno). El anclaje sobre sustrato arenoso es por medio de tres anclas de arena (con capacidad de 1 tonelada por anclaje), cuya instalación es completamente manual. Los materiales utilizados son de acero galvanizado por inmersión en caliente que garantiza la durabilidad de la estructura.

espesor aproximado de 30 cm, con grava de coral muerto transportado por el oleaje, rocas pequeñas y parches de coral aislados, en el área no existen pastos marinos.

Se diseñó un arrecife artificial basado en fisonomías de estructuras naturales, que permite la colocación de piezas en formas y números variados. Tanto el sistema constructivo modular, como la instalación de las estructuras son simples, no requieren equipo ni maquinaria pesada compleja que puedan impactar algún elemento ambiental en forma relevante o permanente. Cada arrecife artificial está compuesto de 4 a 6 módulos, según el área efectiva de arrecife que se requiera, lo que proporciona una unidad artificial con posibilidad de ensamblar varias unidades y crear una cordillera.<sup>7</sup> Las 52 estructuras arrecifales van ancladas al lecho marino, ya sea en sustrato rocoso o arenoso, por medio de un sistema que asegura la permanencia en su posición original y el bajo daño al ecosistema circundante, aún con la presencia de fenómenos meteorológicos de alto impacto, como las tormentas tropicales, huracanes y frentes fríos. En agosto de 2012, el huracán Ernesto impactó las costas de Quintana Roo y las estructuras no sufrieron daño alguno.<sup>8</sup>

El peso de cada módulo fractal es de 125 kg y su dimensión de  $1.2 \text{ m} \times 0.9 \text{ m}$  que significan un área efectiva de 0.6122 metros cuadrados, considerando únicamente la cara superior. De las 52 estructuras que se están instalando, 38 son con cuatro módulos, 10 con cinco módulos y 4 con seis módulos.

Al colocar estructuras artificiales de formas variadas y funcionales, se estima que habrá un incremento en la diversidad y complejidad de las

estructuras de especies. Al incrementar las áreas para productores primarios aumentará, en consecuencia, el 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 y Selberg, 2004; Precht, 2006). Las estructuras artificiales en el sitio del proyecto proporcionarán sustrato y refugio para diversas especies de flora y fauna marina, algunas de ellas endémicas de Cozumel, así como un espacio para la rehabilitación del ecosistema arrecifal y la práctica de actividades acuático-recreativas.

Además del espacio para futuras investigaciones, se espera que la comunidad y prestadores de servicios utilicen este espacio como alternativa para actividades turísticas. Desde antes del inicio del proyecto, diversos operadores utilizan zonas adyacentes para impartir lecciones a buzos principiantes y/o en proceso de certificación, así como para llevar grupos de esnorquelistas, cuyos guías atraen peces proporcionándoles alimento. Existe el interés y compromiso de las autoridades del área marina protegida por utilizar las estructuras para proyectos de sembrado y propagación de corales y de educación ambiental; la Universidad de Quintana Roo, por su parte, planea en el sitio talleres de educación ambiental en materia de uso turístico de arrecifes artificiales y naturales.

Al finalizar el estudio, no se contempla el desmantelamiento del arrecife artificial creado, ya que el objetivo a largo plazo es formar una comunidad coralina con especies de flora y fauna asociadas a ellas; sin embargo, de requerirse, el sistema está diseñado para tener una fácil movilidad, desarmado y extracción del medio marino. Las etapas previstas en el proyecto son: construcción, transportación, instalación y permanencia de las estructuras.

Los instrumentos normativos de carácter federal que regulan el 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 Acuacultura 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 nor-

matividad local establece en el POEL los criterios ecológicos aplicables para aprovechamientos dentro de la UGA CP1.

El desarrollo del proyecto no provocará desequilibrios ecológicos por su extensión limitada (superficie total requerida por el proyecto: 7,776 m<sup>2</sup>; superficie que ocuparán las estructuras: 138.36 m<sup>2</sup>) por su apropiada ubicación (zona con fondos rocosos y arena, con presencia de bolones o macizos de coral aislados) y por las técnicas y métodos utilizados para la construcción e instalación de las estructuras. La evaluación del impacto ambiental del proyecto fue validada y aprobada por la autoridad federal competente en enero de 2012.

## RESULTADOS

Con base en la normatividad vigente, la evaluación del impacto ambiental se realizó mediante un sistema matricial, en el cual se identificaron los componentes abióticos, bióticos y socioeconómicos potencialmente afectables durante alguna de las etapas. El procedimiento fue el contemplado en la legislación federal aplicable, es decir, un listado de amplio espectro sobre el alcance, los elementos y las acciones, que brinda un rápido referente de los impactos más relevantes y su importancia relativa. Este método ha sido aplicado en diferentes países desde los años sesenta del siglo pasado y sus alcances y limitaciones, tanto teóricas como prácticas, han sido ampliamente discutidas (Luna *et al.*, 1971; Whathern, 1990).

Los criterios utilizados para la evaluación de los impactos ambientales fueron: a) intensidad (bajo o nulo con valor de hasta 0.33, medio hasta 0.66 y alto hasta 1); b) tipo (positivo o negativo); c) duración (corto plazo, con valor de hasta 0.25, mediano plazo hasta 0.50, largo plazo hasta 0.75 y permanente hasta 1); d) extensión (puntual con valor de hasta 0.33, local hasta 0.66 y regional hasta 1); y e) reversibilidad (reversible o irreversible). Las valoraciones de los criterios utilizados se basaron en la experiencia empírica y criterios documentados en estudios similares.

La matriz principal para la evaluación del impacto ambiental contempló un listado de elementos impactados y señalados en la tabla 2 (abióticos, bióticos, socioeconómicos, ecológicos y culturales) en las etapas de construcción, trans-

**Tabla 2.** 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).
Socioeconómicos	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.

portación, instalación y permanencia de los arrecifes artificiales, así como la valoración (resultados cuantitativos) de la intensidad, tipo, duración, extensión y reversibilidad de los efectos.

Asimismo, cada rubro de los elementos sujetos a recibir impactos se desagregó en filas adicionales de la matriz, en función de diversas características particulares de cada rubro; así, la valoración se podrá mantener vigente conforme el avance de cada una de las etapas del proyecto.

Con base en la metodología descrita, se identificó que el potencial de impacto negativo en la etapa de instalación se asocia con el anclaje de las estructuras en el lecho marino, dado que la suspensión de material puede afectar a los parches de coral existentes en la zona y/o a los arrecifes de coral ubicados al norte del sitio en función de la dirección de la corriente predominante. Para contrarrestar tal efecto, el sistema para anclaje incorpora técnicas de barrenado anti sedimentos que, mediante mangueras alineadas al barreno, aspiran la materia desprendida por la perforación 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.

Para minimizar el impacto negativo al ambiente, se instrumentaron y continuaron aplicando las siguientes medidas preventivas y de mitigación: a) fabricación de módulos en un espacio externo al sitio de colocación, b) manufactura de base de concreto de alta calidad, durabilidad y pH controlado, c) estructuras y materiales no tóxicos, d) transportación terrestre y marítima e instalación de las estructuras artificiales por personal con amplia experiencia, d) anclaje permanente de alta resistencia, y e) instalación mediante sistema barrenador con succión de sedimentos y filtración de arena.

Con el procedimiento de evaluación, los rubros inicialmente 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 y educación ambiental.

Con base en el monitoreo realizado a partir de la instalación de las primeras estructuras (junio-septiembre 2012), se pudo observar su recubrimiento por productores primarios en un plazo de dos semanas, dando lugar a una casi inmediata colonización por ictiofauna, principalmente, por las siguientes especies: *Acanthurus bahianus*, *Acanthurus coeruleus*, *Bothus ocellatus*, *Haemulon flavolineatum* (juvenile), *Haemulon mela-*

*nurum (juvenile)* y *Pomacanthus paru* (ver figura 2). En virtud de que en áreas adyacentes ya se daba la presencia de esnorquelistas y buzos, se ha detectado que, en número limitado, algunos grupos se dirigen a las estructuras para observarlas de cerca y que ya se presta atención a las manifestaciones de vida marina en el área.

A pesar de que actualmente no se cuenta con elementos y observaciones suficientes que permitan una proyección numérica de la tasa de colonización y atracción de turistas, la experiencia reportada permite proponer que en el corto, mediano y largo plazos la concentración de vida marina aumentará a partir de la presencia inicial e inmediata de especies pioneras, a las que sigue una también inmediata presencia de ictiofauna con gran cantidad de juveniles que se convertirá en un atractivo para esnorquelistas y buzos, generando beneficios sociales y económicos de influencia local y de conservación de los arrecifes naturales, mientras que los impactos físicos y biológicos negativos se presentan exclusivamente en la etapa de instalación de las estructuras con un carácter limitado y reversible.

## DISCUSIÓN

A mediano y largo plazos la complejidad esperada en la estructura de especies habitando la cordillera de 52 arrecifes artificiales será reforzada por comunidades coralinas (ver figura 3), pues el sitio se encuentra en la trayectoria de estadios larvales de corales buscando sustratos para su reclutamiento (Álvarez-Filip, 2008). En el sitio seleccionado para el plantado existieron, antes de los huracanes Emily y Wilma de 2005, bolones y parches de coral de tamaño superior a los pocos existentes actualmente.

Debido a que existe un creciente número de guías locales de esnorquel y buceo y a que ya no se expiden nuevos permisos para operar dentro del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel, el potencial biológico de los arrecifes plantados y la ubicación privilegiada de la zona (a poca distancia de la mancha urbana y de los principales muelles de crucero) tiene el potencial de uso para reducir la presión social de demanda de acceso al parque marino, al tiempo que contribuye a disminuir la carga turística en los arrecifes naturales.

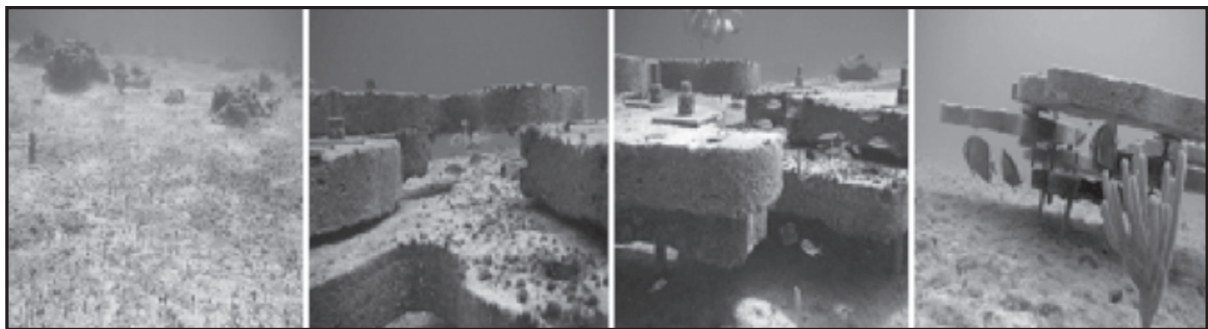


Figura 2. Secuencia de colonización de arrecifes artificiales en Villa Blanca, Cozumel (mayo-septiembre de 2012).

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

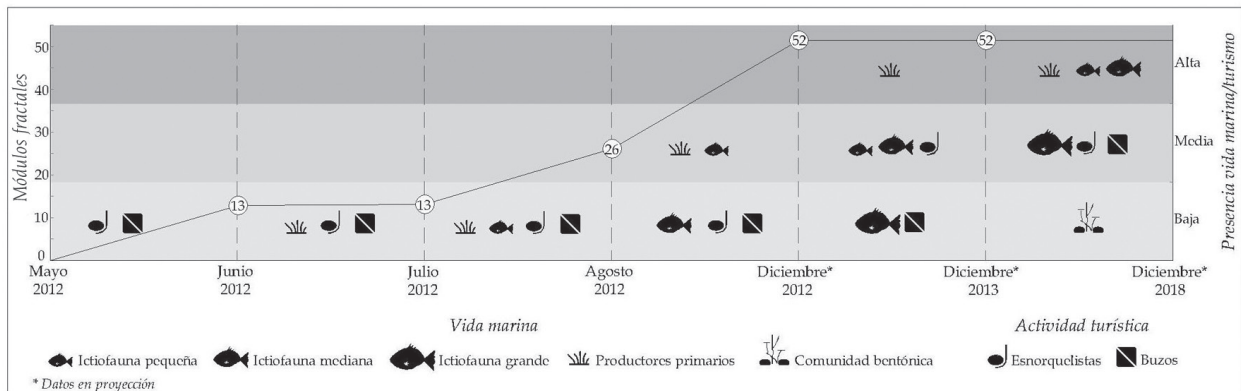


Figura 3. Perspectivas a mediano plazo para la colonización de arrecifes artificiales en Villa Blanca, Cozumel (2012-2018).

Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

El desarrollo de este tipo de estudios permite la inserción de nuevos espacios bióticos marinos en ciclos económicos sustentables, que favorece a los prestadores de servicios turísticos, comunidad en general y entorno ambiental, pues diversifican los sitios de atracción para la práctica de buceo recreativo, y con ello, descargan la presión ejercida sobre los espacios arrecifales naturales.

Por las características, dimensiones, acciones y alcances del estudio, no se identificaron acciones que puedan considerarse críticas o negativas, en asociación a su colocación y su posterior interacción con el entorno natural. Por el contrario, una vez cubiertos por productores primarios e ictiofauna, los arrecifes artificiales constituirán nuevos hábitats de crecimiento para corales, esponjas, algas, crustáceos y bivalvos.

Los principales impactos negativos, de dimensiones menores y puntuales en su localización, ocurren durante la instalación de los arrecifes ar-

tificiales. No obstante, la remoción y suspensión de sedimento ha sido de baja magnitud y no ha generado afectación relevante o irreversible al medio ambiente.

Una vez instalados, consolidados y asimilados al entorno, los arrecifes artificiales claramente generaran un sinnúmero de impactos positivos naturales, sociales y económicos permanentes –particularmente en una escala local–. Tal será el caso de nuevas rutas y/o circuitos de esparcimiento, en un contexto recreativo/público para locales, o dentro de ciclos económicos asociados a la actividad turística de la isla.

Asimismo, el fomento de las actividades de esparcimiento en arrecifes artificiales contribuirá a la dosificación y rehabilitación del ecosistema marino arrecifal natural, hoy sometido a una fuerte carga de estrés ambiental. Por su parte, la concientización y participación social son metas incorporadas al proyecto pero no evaluables en esta etapa.

## LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ-FILIP, L., Efecto de los huracanes Emily y Wilma en el Parque Nacional Arrecifes de Cozumel. *Biodiversidad acuática de la Isla de Cozumel* (pp. 361-372). UQROO México, 2008.
- BARKER, N.; ROBERTS, C.M., Attitudes to and Preferences of Divers towards Regulation. In: *New Frontiers in Marine Tourism: Diving Experiences, Sustainability, Management*. Amsterdam: Elsevier, 2008.
- BOHNSACK J.A. Are high densities of fish at artificial reefs the result of habitat limitation or behavioral preference? *Bulletin of Marine Science*, 44: 631-645, 1989.
- FITZHARDINGE, R.C.; BAILEY-BROCK, J.H., Colonization of artificial reef materials by corals and other sessile organisms. *Bulletin of Marine Science*, 44: 567-579, 1989.
- JORDAN-DAHLGREN E; RODRÍGUEZ, M.R., The Atlantic Coral Reefs of Mexico. In: *Latin America Coral Reefs* (pp. 131-158). Amsterdam: Elsevier, 2003.
- KOSTYLEV, V.E.; WILLIAMS, G.A.; MAK, Y.M., Macrofaunal community structure and habitat complexity: the importance of substratum complexity in assessing rocky shore communities. *Spatial heterogeneity and habitat complexity affecting marine littoral fauna*. PhD thesis, Göteborg University, Alemania, 1996.
- KRAMER P.A.; KRAMER, P.R., *Ecological Status of the Mesoamerican Barrier Reef: impacts of Hurricane Mitch and 1998 coral bleaching*. Final report to the World Bank. RSMAS, University of Miami, 2000.
- LARKUM, A.W.D., The primary productivity of plant communities on coral reefs. In: *Perspectives on Coral Reefs* (pp. 221-230). Townsville: Australian Institute of Marine Science, 1983.
- LUKENS, R.R.; SELBERG, C., *Guidelines for Marine Artificial Reef Materials. Atlantic and Gulf States Marine Fisheries Commissions*. Estados Unidos de América: Ocean Springs, MS, 2004.
- LUNA, L.; FRANK, C.; BRUCE, H.; BASLEY, J., A Procedure for Evaluating Environmental Impact. *Geological Survey Circular*, 645. Departamento del Interior, Estados Unidos de América, Washington, 1971.
- MARTÍNEZ, C.; GALLEGOS, O., Tendencias del turismo de cruceros al inicio del siglo XXI. *Memorias in extenso del 9º Seminario de Turismo y Sustentabilidad y 4º Congreso de Gastronomía* (pp. 171-183). Universidad del Caribe. México, 2011.
- NIM IV, C.J., *The political ecology of environmental change and tourist development in Cozumel, Mexico*.



- Thesis Master in Geography. Miami University. Estados Unidos de América, 2006.
- PALAFOX A.; ZIZUMBO, L. V., Distribución territorial y turismo en Cozumel Estado de Quintana Roo, México. *Gestión Turística*, 11: 69-88, 2009.
  - PRECHT, W.F., *Coral reef restoration handbook*. USA: CRC Press, 2006.
  - RILOV, G.; BENAYAHU, Y., Rehabilitation of coral reef-fish communities: The importance of artificial – reef relief to recruitment rates. *Bulletin of Marine Science*, 70: 185-197, 2002.
  - SALE P.E., *Coral Reef: Fishes Dynamics and Diversity in a Complex Ecosystem*. San Diego, California: Academic Press Inc., 2002.
  - SANTANDER, L.C.; PROPIN, E., Impacto Ambiental del Turismo de Buceo en Arrecifes de Coral. *Cuadernos de Turismo*, 24: 207-227, 2009.
  - SEAMAN, W., Does the level of design influence success of an artificial reef? In: *Proceedings of the 1st Conference of the European Artificial Reef Research Network* (pp. 26-30). Ancona, Italia, 1996.
  - SEAMAN, W.; SPRAGUE, L.M., Artificial Habitat Practices in Aquatic Systems. *Artificial Habitats for Marine and Freshwater Fisheries* (pp. 1-29). San Diego, California: Academic Press, Inc., 1991.
  - SEGRADO R.; PALAFOX, A.; ARROYO, L., Medición de la Capacidad de Carga Turística de Cozumel. *El Periplo Sustentable*, 13: 33-61, 2008. De: [http://www.uaemex.mx/plin/psus/rev13/articulo\\_02.pdf](http://www.uaemex.mx/plin/psus/rev13/articulo_02.pdf), Recuperado el 26 de mayo de 2012.
  - TOWNSEND, C., Dive Tourism, Sustainable Tourism and Social responsibility. In: *New Frontiers in Marine Tourism: Diving Experiences, Sustainability, Management*. Amsterdam: Elsevier, 2008.
  - WALKER B. K.; HENDERSON B.; SPIELER, R.E., Fish assemblages associated with artificial reefs of concrete aggregates or quarry stone offshore Miami Beach, Florida, USA. *Aquat. Living. Resour*, 15: 95-105, 2002.
  - WATHERN, P., *Environmental Impact Assesment: theory and practice*. Londres: Routledge, 1990.