

“Instalación y monitoreo de arrecifes artificiales en la zona marina adyacente al Parque Nacional Isla Isabel”

“Installation and monitoring of artificial reefs in the marine area adjacent to Isla Isabel National Park”

Armando Calderón Rodríguez, Gonzalo Pérez Lozano, Jorge Antonio Castrejón Pineda, Cayetano Robles Carrillo, Melissa Palma Cruz
COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS
Parque Nacional Isla Isabel

Recibido: 21 de octubre de 2019
Aceptado: 10 de diciembre de 2019

RESUMEN

Entre diciembre de 2014 y enero de 2015, los pescadores autorizados para realizar actividades pesqueras en el Parque Nacional Isla Isabel (PNII) en colaboración con la dirección de esta área natural protegida

federal llevaron a cabo la colocación de estructuras de concreto en dos sitios de la zona marina adyacente al PNII para formar arrecifes artificiales buscando disminuir la presión antrópica en los arrecifes coralinos naturales por actividades como pesca y buceo recreativo; y además, generar más hábitat disponible en sitios arenosos para favorecer el refugio y reclutamiento de peces comerciales y de arrecife. Se colocaron 72 estructuras de concreto en dos sitios (36 por sitio) y se monitoreo la sucesión ecológica en solo uno de estos en tres ocasiones (al mes de instalación, a los 12 meses y por último a los 20 meses). Los resultados se presentaron como se esperaba, o incluso mejor, ya que se observó al pez lija (*Aluterus scriptus*) y a la cabrilla piedrera y (*Epinephelus labriformis*) buscar refugio en las estructuras en el mismo instante que estas se depositaron en el fondo arenoso.



Al mes de instalación se observó que ya había recubrimiento considerable de productores primarios y algunos hidrozooos sobre las estructuras, dando lugar a la llegada de una variada ictiofauna tanto de arrecife (8 especies) como comercial (3 especies). Después de un año se registró que las estructuras semiesféricas estaban prácticamente cubiertas de productores primarios (destacando los géneros de macroalgas *Caulerpa* y *Dyctiota*) e hidrozooos. Además, se observaron algunos invertebrados como la madre perla (*Pinctada mazatlanica*) y el erizo coronado (*Centrostephanus coronatus*). Las especies de peces registradas aumentaron a 18 (13 de arrecife y 5 comerciales). A los 20 meses las estructuras se observaron cubiertas totalmente por una densa capa de macroalgas principalmente *Caulerpa* sp. y se registraron sobre las estructuras dos especies de moluscos que no se habían observado (una ostra y un caracol). Las especies de peces registradas aumentaron a 21 (18 de arrecife y 3 comerciales), muchas de estas en etapa juvenil aunque también se observaron depredadores como la barracuda (*Sphyraena qenie*). Todo esto, sin duda beneficia al sector pesquero artesanal y a los prestadores de servicios turísticos al disponer de otro lugar atractivo para los buzos, generándose beneficios sociales, económicos (de influencia local) y ambientales; mientras que los impactos físicos y biológicos negativos se presentan exclusivamente en la etapa de instalación de las estructuras con un efecto en la suspensión de sedimentos limitado y reversible.

ABSTRACT

Between december 2014 and january 2015, fishermen authorized to carry out fishing activities in Isabel Island National Park (PNII) in collaboration with the management of this federal protected natural area carried out the placement of concrete structures at two sites in the marine area adjacent to PNII to form artificial reefs, seeking to reduce the

anthropogenic pressure on natural coral reefs by activities such as fishing and recreational diving, and generate more available habitat in sandy sites to encourage the refuge and recruitment of commercial and reef fish. Seventy-two concrete structures were placed in two sites (36 per site) and ecological succession was monitored at one of the sites three times: at the month of installation, at 12 months and finally at 20 months. The results were as expected or better, since the scribbled leatherjacket filefish (*Aluterus scriptus*) and the starry grouper (*Epinephelus labriformis*) were observed to seek refuge in the structures at the time of installation. In the first month of installation it was observed that there was already considerable coverage of primary producers and some hydrozoans on the structures, resulting in the arrival of varied ichthyofauna of both reef (8) and commercial (3) species. After a year it was recorded that the hemispherical structures were practically covered by primary producers (in particular macroalgae of genera *Caulerpa* and *Dyctiota*) and hydrozoans. In addition, some invertebrates such as the Mazatlan pearl oyster (*Pinctada mazatlanica*) and the crowned sea urchin (*Centrostephanus coronatus*) were observed. Registered fish species diversity increased to 18 (13 reef and 5 commercial). At 20 months the structures were observed completely covered by a dense layer of macroalgae mainly *Caulerpa* sp. and two species of mollusks that had not been observed (an oyster and a snail) were recorded on the structures. Registered fish species increased to 21 (18 reef and 3 commercial), many of them in juvenile stage although predators such as barracuda (*Sphyraena qenie*) were also observed. All this undoubtedly benefits the artisanal fishing sector and tourism service providers by offering another attractive place for divers, generating social, economic (local) and environmental benefits; while negative physical and biological impacts occur exclusively at the stage of installation of structures with a limited and reversible effect on sediment suspension.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el calentamiento de los océanos (y a nivel regional-local el fenómeno de “El Niño”), el creciente número e intensidad de las tormentas y ciclones tropicales, las redes de pesca furtiva, y los visitantes que practican buceo SCUBA y otras actividades acuáticas, constituyen factores de alta presión sobre los arrecifes de coral los cuales son uno de los ecosistemas más diversos y también más vulnerables del planeta. Los arrecifes coralinos adyacentes al Parque Nacional isla Isabel (PNII) se han visto afectados por algunos de estos factores, pero principalmente por las masas de agua cálida que llegan al área en años “niño”.

En 2010, el grupo de pescadores autorizados para llegar al Parque Nacional isla Isabel y realizar sus prácticas de pesca en aguas adyacentes decidió implementar un proyecto que favoreciera la restauración de los corales de la isla, y como consecuencia la recuperación de las poblaciones de peces comerciales de los cuales dependen para obtener sus ingresos económicos. En 2011 solicitaron apoyo a la dirección del PNII para realizar un proyecto de mejoramiento del fondo marino empleando arrecifes artificiales hechos de cemento, arena y grava (concreto). La dirección de PNII los apoyo a través del programa de subsidio llamado PROCODES (Programa de

Conservación para el Desarrollo Sostenible) que se implementa en muchas áreas protegidas administradas por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). El objetivo era llevarlo a cabo en las aguas adyacentes a la isla Isabel en zonas donde se tiene el potencial para reclutar nuevos corales pero no hay sustratos duros a donde puedan fijarse las larvas para desarrollar nuevas colonias. Además, las estructuras una vez colocadas proporcionarían de manera inmediata refugio para peces juveniles y con el paso del tiempo también alimento ya que los productores primarios y diferentes organismos sésiles no tardan en adherirse a los arrecifes artificiales, mejorando las condiciones de fondo marino. Este proyecto resulto apoyado por la CONANP con un monto de 85,000.00 (ochenta y cinco mil pesos 00/100 M.N.).

El proyecto tuvo como fin construir y colocar en el fondo marino 120 estructuras semiesféricas parecidas a un “Volcán” de diseño propio de los guardaparques del PNII (Fig. 1). La profundidad de colocación osciló entre los 10 y 20 metros en sitios principalmente arenosos con la finalidad de crear un arrecife artificial y hábitat para favorecer el reclutamiento y refugio para peces; y sustrato para especies marinas productoras primarias, reclutadoras de especies secundarias, como crustáceos, moluscos y peces (Bohnsack, 1989).



Fig. 1. Estructura semiesférica de concreto.

En junio de 2014 el arrecife coralino de isla Isabel presentó señales de estrés o “blanqueamiento” en la parte somera por las altas temperaturas en el agua (≈ 32 °C), y posteriormente (meses después) murió un gran porcentaje de las colonias del género *Pocillopora* (Fig. 2), el principal formador del arrecife a baja

profundidad (observación personal). En las áreas afectadas las estructuras de carbonatos de calcio muertas siguen brindando refugio y protección a pequeños organismos y peces juveniles, pero ya no proporcionan todos los servicios ambientales que ofrecen los corales vivos.



Fig. 2. Coral del género *Pocillopora* parcialmente muerto y con signos de estrés (blanqueamiento).

Frente a un panorama como este, el proyecto de instalación de arrecifes artificiales es una gran alternativa para generar más espacios de refugio y crianza para los peces juveniles. Además estos arrecifes pueden ser un sitio alternativo que reduzca la presión de las actividades de buceo recreativo en los arrecifes naturales.

Estas estructuras se construyeron en la playa de desembarco de la isla Isabel, con arena propia de la isla, agua de lluvia, grava y cemento, sin armado de acero (Fig. 3). Las estructuras tienen hoyos de diferentes diámetros y una abertura en la parte superior. Cada estructura mide 1.2 m de diámetro en la base, 0.45 m de diámetro superior, 0.8 m de altura y 0.10 m de espesor. Su peso es de aproximadamente 250 kilogramos

METODOLOGÍA



Fig. 3. Estructuras construidas en la playa de desembarco de la isla Isabel.

La transportación de las estructuras desde la playa de desembarco hasta el sitio de plantado se llevó a cabo con boyas inflables de materiales muy resistentes (Fig. 4). A cada estructura se le amarró

una boya para después remolcar con una embarcación con motor fuera de borda series de hasta cinco estructuras a la vez.



Fig. 4. Estructuras amarradas a boyas inflables listas para remolcarse al sitio de plantado.

Una vez en el sitio las estructuras se bajaron una por una con un sistema adaptado a la lancha que libera lentamente el cabo que sujeta la estructura,

lo que evita que caiga abruptamente y levante sedimentos o se fracture (Fig. 5).



Fig. 5. Bajado de una estructura por medio de cabos y un sistema de liberación gradual.

La disposición de los módulos en el fondo presenta un diseño que favorece el flujo de las corrientes dominantes (Fig. 6). Desde su instalación se han monitoreado para evaluar el

impacto que estos arrecifes artificiales tienen en la dinámica de los sedimentos arenosos y en la estructura y cantidad de vida marina en el sitio de plantado

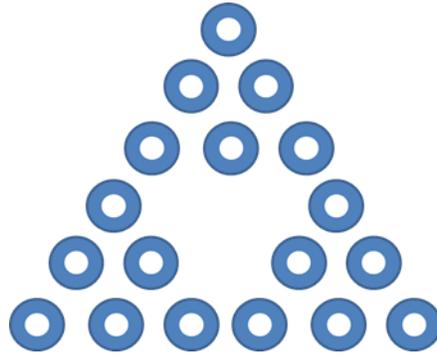


Fig. 6. Disposición de las estructuras en el fondo (módulo de 18 estructuras).

Se trabajó en dos sitios a diferente profundidad y en cada uno se tienen dos formaciones o módulos de 18 estructuras separadas 20 metros una de la otra; y el área que ocupa cada formación es de aproximadamente 60 m². En total el área que ocupan las cuatro formaciones en los dos sitios es de alrededor 240 m².

Al colocar un conjunto de estructuras artificiales con cavidades de diferentes diámetros se infiere que habrá un incremento en la diversidad y complejidad de las estructuras de especies. Al incrementar las áreas de fijación 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 del Golfo de California y enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 como el ángel de Cortés (*Pomacanthus zonipectus*); así como un espacio que favorece la rehabilitación del ecosistema arrecifal y la práctica de actividades acuático-recreativas.

El desarrollo del proyecto no provocó desequilibrios ecológicos por su extensión limitada (superficie que ocuparán las cuatro formaciones: 240 m²); por su apropiada ubicación (zona con fondos de arena gruesa, con presencia de rodolitos); y por las técnicas y métodos utilizados para la construcción, transportación e instalación de las estructuras.

Las observaciones realizadas son relevantes para futuras investigaciones de la sucesión serial en el proceso de colonización de los arrecifes artificiales hechos con concreto, y de su aprovechamiento sustentable como recurso turístico.

ÁREA DE COLOCACIÓN

Los sitios de colocación de estos arrecifes se encuentran en las aguas adyacentes a la isla Isabel que es un Área Natural Protegida (ANP) de carácter Federal con categoría de Parque Nacional. El decreto de ésta ANP solo considera la parte terrestre de la isla, por lo cual, aunque están muy cerca los sitios con arrecifes artificiales quedan fuera del polígono protegido.

El sitio uno está localizado a una distancia de 350 m de la isla entre Las Monas y el Cerro Pelón, con una profundidad de 12 m y un fondo arenoso. Las coordenadas de localización del sitio son:

21° 51.369' latitud norte y 105° 53.027' longitud oeste.

El sitio dos se instaló a una distancia de 100 m del sitio uno a una profundidad de 17 m con el

mismo tipo de fondo arenoso, con una distancia aproximada de 450 m de la isla (coordenadas 21° 51.422' latitud norte y 105° 52.984' longitud oeste) (Fig. 7).



Fig. 7. Sitios donde se plantaron los arrecifes artificiales marcados con 1 y 2.

Antes de la instalación de las estructuras de concreto estos sitios no se usaban para buceo recreativo porque el fondo es arenoso y esta condición no atrae a muchos peces. Se espera que los prestadores de servicios empiecen a usar los sitios con más frecuencia conforme pase el tiempo y se dé la sucesión biológica sobre la superficie de cada estructura o semiesfera haciendo más complejo y atractivo el ensamblaje en el sitio. Además, estos espacios pueden servir de sustrato para la propagación de corales y para futuras investigaciones.

RESULTADOS

Entre diciembre de 2014 y enero de 2015 se instalaron 72 estructuras en dos sitios al lado este de isla Isabel (36 por sitio), donde los fondos están compuestos principalmente de arena y rodolitos, pero los resultados presentados en este documen-

to corresponden solo al sitio uno, a 12 metros de profundidad y coordenadas geográficas 21° 51.369' latitud norte y 105° 53.027' longitud oeste. Para este proyecto la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas a través de la Dirección Regional Occidente y Pacífico Centro solicitó a la delegación de SEMARNAT en el estado de Nayarit por medio del oficio No. F00/DROPC/PNII/075 con fecha del 29 de julio de 2011 la exención de la Manifestación de Impacto Ambiental establecida en el artículo 5 fracción "U" subíndice IV del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Impacto Ambiental, toda vez que el proyecto favorecerá procesos de restauración del ecosistema coralino en la zona marina de influencia del Parque Nacional isla Isabel.

La Delegación Federal de la SEMARNAT en el estado de Nayarit informó mediante el oficio No. 138.01.00.01/3812/11 “que el proyecto Instalación de Arrecifes Artificiales en las aguas del Parque Nacional Isla Isabel fue aprobado, ya que encuadra en el supuesto de excepción del artículo 5 del Reglamento de la LGEEPA en materia de la Evaluación de Impacto Ambiental en su inciso Q) Desarrollos inmobiliarios que afecten los ecosistemas costeros; el cual exceptúa a las obras correspondientes a arrecifes artificiales, cuando tengan como propósito la protección mediante la utilización de especies nativas; como es el presente caso. Asimismo el artículo 5 del reglamento de la LGEEPA en materia de la Evaluación del Impacto Ambiental, en su inciso U) Actividades acuícolas que puedan poner el riesgo la preservación de una o más especies o causar daños a los Ecosistemas; el cual no contempla entre sus supuestos las obras correspondientes a arrecifes artificiales”.

Para minimizar el impacto negativo al ambiente se aplicaron las siguientes medidas preventivas y de mitigación: a) fabricación de estructuras o semiesferas en un espacio

externo al sitio de colocación, b) manufactura de base de concreto de alta calidad, arena del sitio y agua de lluvia, c) transportación marítima e instalación de las estructuras por personal con amplia experiencia, y d) colocación de estructuras en el fondo por medio de cabos y boyas para un suave plantado.

Durante los trabajos de instalación se identificó que el impacto negativo solo se da en el momento del plantado y colocación de las estructuras semiesféricas en el lecho marino, ya que las maniobras para moverlas generan suspensión de sedimentos que pueden afectar a las colonias de coral cercanas. Para facilitar estas maniobras, suavizar los movimientos de acomodo de las semiesferas y disminuir la suspensión de sedimentos se usaron bidones con aire atados a las estructuras (Fig. 8), lo cual redujo mucho el esfuerzo de los buzos para mover cada estructura a su posición final. Con este sistema puede presentarse una ligera suspensión de materiales, pero su impacto se considera bajo, no relevante y reversible. También se observó que durante los trabajos la perturbación a la fauna marina fue mínima.



Fig. 8. Colocación de estructura semi-esférica con apoyo de bidones con aire

Una vez colocadas las estructuras semiesféricas en su posición final e incluso antes (casi al tiempo de asentarse en el fondo marino) algunos peces ya buscaban resguardo en ellas. Los primeros peces que buscaron protección en los arrecifes artificiales fueron la

lija trompa (*Aluterus scriptus*) y la cabrilla piedrera (*Epinephelus labriformis*) (Fig. 9), y minutos después la mariposa de tres bandas (*Chaetodon humeralis*) merodeaba las estructuras.

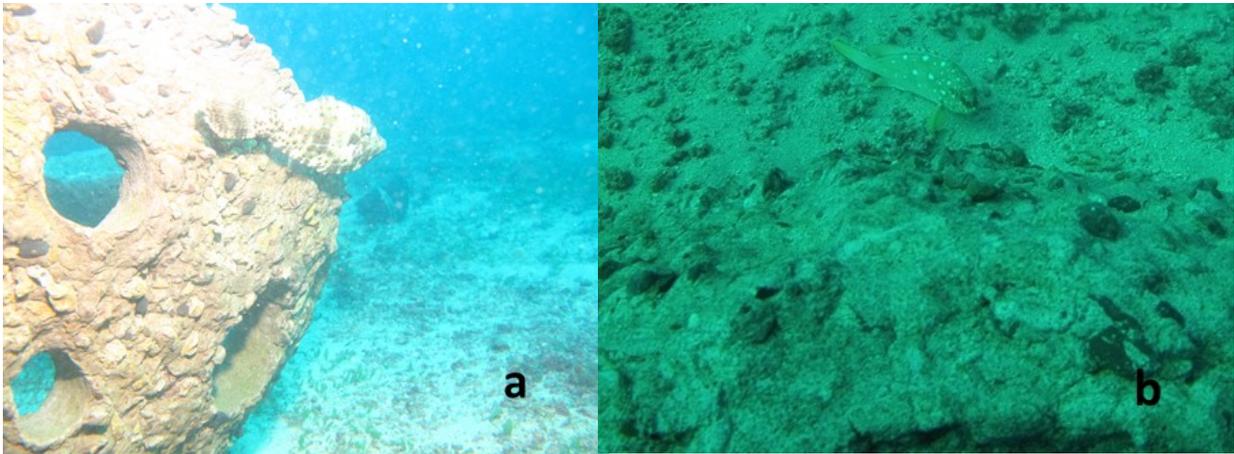


Fig. 9. Lija trompa (*Aluterus scriptus*) (a) y cabrilla piedrera (*Epinephelus labriformis*) (b).

Monitoreo al mes de su instalación

Después de la instalación del primer módulo de 36 estructuras en el sitio uno transcurrió un mes y se hizo el primer monitoreo donde se observó

que ya había recubrimiento considerable de productores primarios y algunos hidrozooos (Fig. 10), dando lugar a la llegada de una variada ictiofauna tanto de arrecife como comercial.

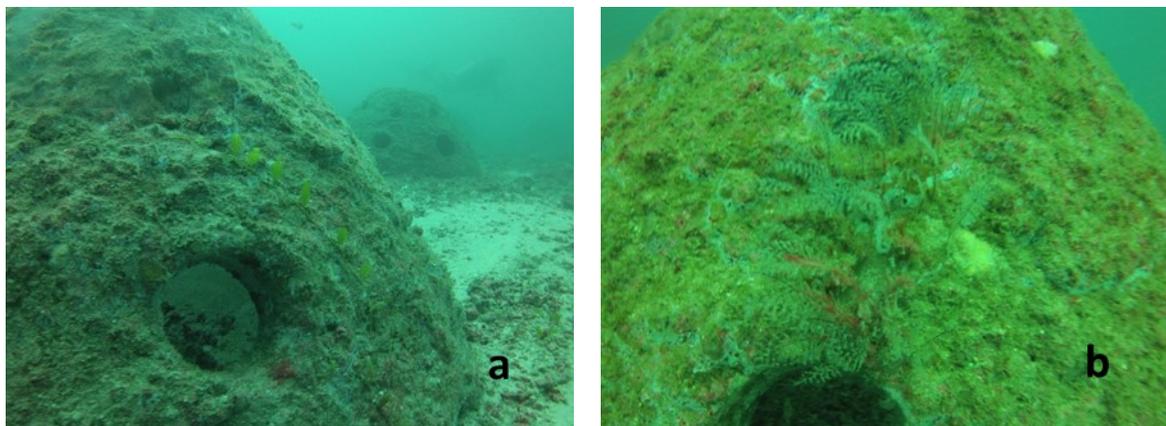


Fig. 10. Productores primarios (a) e hidrozooos (b) recubriendo las estructuras un mes después.

Las especies de arrecife más conspicuas al mes de la instalación fueron la mariposa barbero (*Johnrandallia nigrirostris*) (Fig. 11), el cochito bota (*Pseudobalistes naufragium*), la cabrilla piedrera (*Epinephelus labriformis*), la mariposa de tres bandas (*Chaetodon humera-*

lis), el chivo barbón (*Mulloidichthys dentatus*), el botete bonito (*Canthigaster punctatissima*), el cirujano aleta amarilla (*Acanthurus xanthopterus*) y muchos ejemplares del genero *Halichoeres*.



Fig. 11. Mariposa barbero (*Johnrandallia nigrirostris*) dentro de una estructura semiesférica

Las especies comerciales presentes al paso de un mes de la instalación de los arrecifes artificiales fueron el pargo canario (*Lutjanus argentiventris*), el pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*) (Fig. 12) y el pargo coconaco (*Hoplopagrus guentherii*), las tres especies en etapa juvenil. El pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*) se observó en grandes cardúmenes aso-

ciado con el chivo barbón (*Mulloidichthys dentatus*) nadando alrededor de las estructuras y entrando ocasionalmente en ellas buscando ocultarse; en cambio el pargo coconaco (*Hoplopagrus guentherii*) se presentó solitario con un nado pausado deteniéndose frecuentemente pegado a los arrecifes artificiales.



Fig. 12. Pargos lunarejos (*Lutjanus guttatus*) nadando alrededor de las estructuras instaladas

Monitoreo después de un año de instalación

Después de un año, en el monitoreo se registró que las estructuras semiesféricas estaban prácticamente cubiertas de productores primarios (Fig. 13) destacando macroalgas como *Dyctiota* sp. y

Caulerpa sp, lo que se tradujo en mayor biodiversidad en el sitio. Los hidrozoos sobre las estructuras fueron más evidentes y se presentaron en la mayoría de las estructuras



Fig. 13. Estructuras cubierta de productores primarios (a) y Macroalga del género *Dyctiota* (b).

Se registró la presencia de moluscos bivalvos como la madreperla (*Pinctada mazatlanica*) (enlistada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 como especie sujeta a protección especial) adheridos a las es-

tructuras artificiales (Fig. 14), y algunos caracoles posados en las cavidades. También se observaron caracoles en el sustrato arenoso adyacente a las estructuras.

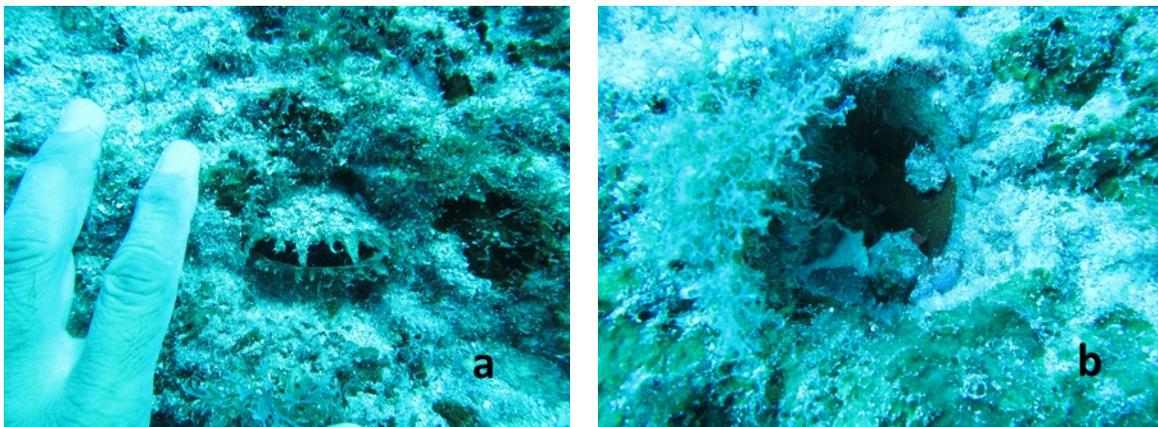


Fig. 14. Madreperla (*Pinctada mazatlanica*) (a) y un pequeño caracol (b) sobre arrecife artificial.

En el interior de las estructuras se han desarrollado algas calcáreas incrustadas en las paredes y en el fondo arenoso se encontraron

macroalgas de la especie *Halimeda discoidea* (Fig. 15).

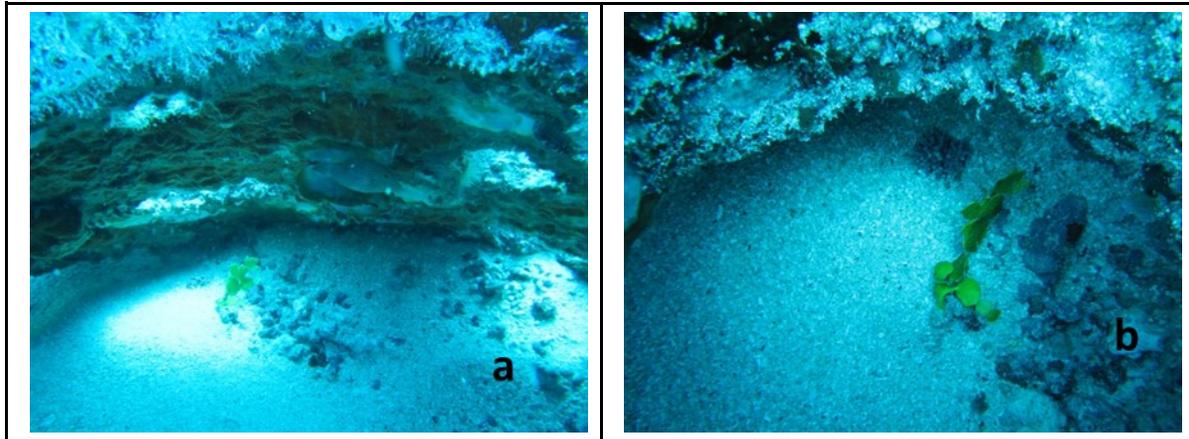


Fig. 15. Pared interior de una estructura semiesférica (a) y macroalga *Halimeda discoidea* al fondo

Del grupo de los equinodermos se observó el erizo bandeado (*Centrostephanus coronatus*) en los huecos o entradas de las estructuras arrecifales, y

se le distinguió por sus espinas características blanco y negro (Fig. 16).



Fig. 16. Erizo bandeado (*Centrostephanus coronatus*) en un hueco de una estructura artificial

Como se previó, en un año la variedad de ictiofauna se incrementó notablemente y también la biomasa. Los peces que se registraron durante el monitoreo fueron el ángel real (*Holocanthus passer*), la cabrilla piedrera (*Epinephelus labriformis*), la mariposa de tres bandas (*Chaetodon humeralis*), el pez

sandia (*Paranthias colonus*), el ídolo moro (*Zanclus cornutus*), la señorita herida (*Halichoeres chierchiae*), el botete bonito (*Canthigaster punctatissima*), el chivo barbón (*Mulloidichthys dentatus*), la mariposa barbero (*Johnrandallia nigrirostris*), el pargo coconaco (*Hoplopagrus guentherii*), el pargo canario

(*Lutjanus argentiventris*), el pez erizo apache (*Diodon holocanthus*), el halcón del coral (*Cirrhitichthys oxycephalus*), el cirujano aleta amarilla (*Acanthurus xanthopterus*), la morena verde (*Gymnothorax castaneus*), el ángel de cortes

(*Pomacanthus zonipectus*), el cochito bota (*Pseudobalistes naufragium*) y el pez cochi (*Balistes polylepis*); este último se observó en un gran cardumen en el sitio uno en el mes de abril, a los 4 meses de la instalación de las estructuras (Fig. 17).



Fig. 17. Cardumen de pez cochi (*Balistes polylepis*) en el sitio uno.

Monitoreo de las estructuras al año y ocho meses

En agosto del 2016 se realizó el último monitoreo a las estructuras instaladas, y se observó que ya estaban completamente cubiertas por una densa capa de productores primarios, destacando las macroal-

gas *Caulerpa* sp y *Dyctiota* sp, y en mucho menor proporción *Padina* sp y *Halimeda* sp; también se apreciaron muchos hidrozooos o “corales de fuego” entre éstas macroalgas (Fig. 18).



Fig. 18. Estructura cubierta de macroalgas e hidrozooos (a) y detalle de la misma (b).

Se registró la presencia de moluscos bivalvos como la madreperla (*Pinctada mazatlanica*) y otra especie de ostra con bordes ondulados que no se

había registrado (Fig. 19). También se observaron nuevas especies de caracoles sobre las estructuras.

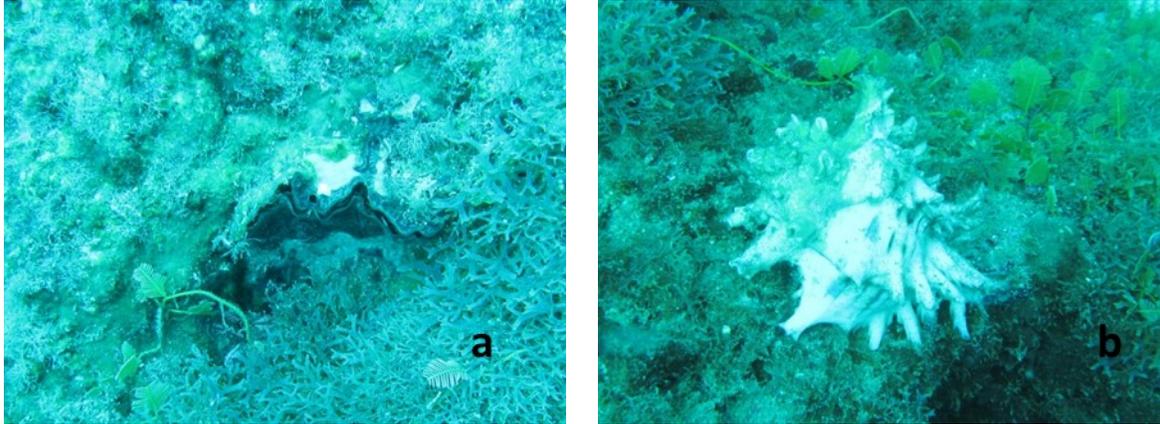


Fig. 19. Ostra (a) y caracol (b) registrados en las estructuras arrecifales en el monitoreo.

Además del erizo bandeado (*Centrostephanus coronatus*) presente en las estructuras semiesféricas, dentro del grupo de los equinodermos se observó la estrella de mar *Pentaceraster cumingi* en el fondo

arenoso dentro del área de instalación de los arrecifes artificiales, misma que se distinguió por sus llamativos diseños (Fig. 20).



Fig. 20. Estrella de mar *Pentaceraster cumingi* en el área de instalación de los arrecifes artificiales

En este monitoreo se incrementó la variedad de ictiofauna y notoriamente su biomasa, ya que se

observaron varios ejemplares de cada especie interactuando en el arrecife artificial (Fig. 21).



Fig. 20. Estrella de mar *Pentaceraster cumingi* en el área de instalación de los arrecifes artificiales.

En este monitoreo se incrementó la variedad de ictiofauna y notoriamente su biomasa, ya que se observaron varios ejemplares de cada

especie interactuando en el arrecife artificial (Fig. 21).



Fig. 21. Diversidad de peces en el arrecife artificial después de 20 meses de instalación.

Las especies de peces más conspicuas en el arrecife artificial fueron la cabrilla piedrera (*Epinephelus labriformis*), la mariposa de tres bandas (*Chaetodon humeralis*), el pez sandía (*Paranthias colonus*), el cirujano aleta amarilla (*Acanthurus xanthopterus*), el ídolo moro (*Zanclus cornutus*), la mariposa barbero (*Johnrandallia nigrirostris*), el chivo barbón (*Mulloidichthys dentatus*), el pargo canario (*Lutjanus argentiventris*) y el pargo coconaco (*Hoplopagrus guentherii*). Además, en menos abundancia, y algunas por su tamaño menos notorias se registraron el botete bonito (*Canthigaster punctatissima*), la señorita herida (*Halichoeres chierchiae*),

el halcón del coral (*Cirrhichthys oxycephalus*), la morena verde (*Gymnothorax castaneus*), el ángel real (*Holocanthus passer*), el ángel de cortes (*Pomacanthus zonipectus*) (Fig. 22; etapa juvenil), el cochito bota (*Pseudobalistes naufragium*), el pez cochi (*Balistes polylepis*), el pez erizo apache (*Diodon holocanthus*), el serrano guaseta (*Serranus psittacinus*) y el pez cofre moteado (*Ostracion meleagris*). En esta etapa es notable la diversidad y biomasa de ictiofauna en el arrecife artificial, tanto así que depredadores como la barracuda (*Sphyræna qenie*) se han observado nadando en el sitio



Fig. 22. Juvenil de ángel de cortes (*Pomacanthus zonipectus*).

DISCUSIÓN

A pesar de que los monitoreos de la sucesión ecológica en los arrecifes artificiales instalados fueron muy espaciados, la experiencia reportada permite proponer que en el corto, mediano y largo plazo la concentración de vida marina aumentará a partir de la rápida presencia de especies de flora pioneras, a las que sigue una también inmediata presencia de ictiofauna con gran cantidad de juveniles de los cuales podemos distinguir al ángel de Cortes (*Pomacanthus zonipectus*) que está en la lista de la NOM-059-SEMARNAT-2010 con categoría de Sujeta a protección especial. Otra especie en la lista de esta norma es el molusco llamado madre perla (*Pinctada mazatlanica*) con categoría de Sujeta a protección especial. Todo esto, sin duda se convertirá

en un atractivo para los 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.

A mediano y largo plazos la complejidad esperada en la estructura de especies habitando en estos arrecifes artificiales (conformados por 72 estructuras semiesféricas) será reforzada por comunidades coralinas, pues el sitio se encuentra en la trayectoria de estadios larvales de corales buscando sustratos para su reclutamiento (Álvarez-Filip, 2008).

La cantidad de visitantes a isla Isabel va aumentando gradualmente año con año, y el potencial biológico de los arrecifes artificiales plantados puede ser una alternativa para reducir la carga de buzos en los sitios autorizados para su actividad en el parque, lo que representa menos presión para los arrecifes coralinos naturales.

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 (Santander *et al.*, 2012).

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 y colonizados por ictiofauna, los arrecifes artificiales constituirán nuevos hábitats de refugio para peces juveniles y espacios de crecimiento para corales, esponjas, algas, crustáceos, equinodermos y moluscos.

Los principales impactos negativos, de dimensiones menores y puntuales en su localización, ocurren durante la instalación de los arrecifes artificiales. No obstante, gracias a las técnicas utilizadas para ubicar las estructuras, la remoción y suspensión de sedimento fue de baja magnitud y no ha generado afectación relevante o irreversible al medio ambiente.

Una vez instalados y asimilados al entorno, los arrecifes artificiales claramente generaran un sin número de impactos positivos naturales, sociales y económicos permanentes, particularmente en una escala local.

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. En este contexto, la concientización y participación de los diferentes usuarios del Parque Nacional Isla Isabel han sido metas incorporadas al proyecto desde su inicio.

LITERATURA CITADA

Bohnsack J. A. (1989). Are high densities of fish at artificial reefs the result of habitat limitation or behavioral preference?. *Bulletin of Marine Science*, 44: 631-645.

Larkum A. W. D. (1983). The primary productivity of plant communities on coral reefs. In: *Perspectives on Coral Reefs* (pp. 221-230). Townsville: Australian Institute of Marine Science.

Fitzhardinge R. C., Bailey-Brock, J. H. (1989). Colonization of artificial reef materials by corals and other sessile organisms. *Bulletin of Marine Science*, 44: 567-579.

Seaman W., Sprague L. M. (1991). *Artificial Habitat Practices in Aquatic Systems. Artificial Habitats for Marine and Freshwater Fisheries* (pp. 1-29). San Diego, California: Academic Press, Inc.

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. Spatial heterogeneity and habitat complexity affecting marine littoral fauna. PhD thesis, Göteborg University, Alemania.

Rilov G., 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. (2002). *Coral Reef: Fishes Dynamics and Diversity in a Complex Ecosystem*. San Diego, California: Academic Press Inc.

Lukens R. R., Selberg C. (2004). *Guidelines for Marine Artificial Reef Materials*. Atlantic and Gulf States Marine Fisheries Commissions. Estados Unidos de América: Ocean Springs, MS.

Precht W.F. (2006). *Coral reef restoration handbook*. USA: CRC Press.

Álvarez-Filip L. (2008). 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.

Santander L. C., López-Mejía M., Mejía-Ortiz L. M., Gallegos-Jiménez O. (2012). 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.

