

Análisis de las estructuras utilizadas para el cultivo de coral: consideraciones para El Salvador

Analysis of the structures used for coral cultivation: considerations for El Salvador

Laura Liseth Figueroa Segovia

Egresada de Licenciatura en Biología por la Universidad de El Salvador
Voluntaria en el Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación (ICTI),
de la Universidad Francisco Gavidia (UFG)
laurafigue.sg@gmail.com

María Fernanda Ramos Cáceres

Egresada de Licenciatura en Biología por la Universidad de El Salvador
Voluntaria en el Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación (ICTI),
de la Universidad Francisco Gavidia (UFG)
ramos.fernandasv@gmail.com

Johana Vanessa Segovia de González

Licenciada en Biología por la Universidad de El Salvador
Máster en Biología con énfasis en Ecología por la Universidad de Costa Rica
Investigadora Asociada del Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación (ICTI),
de la Universidad Francisco Gavidia (UFG)
e.vsegovia@ufg.edu.sv
<https://orcid.org/0000-0001-8548-3790>

Fecha de recepción: 21 de enero de 2020
Fecha de aprobación: 31 de mayo de 2020
DOI:



RESUMEN

Los arrecifes coralinos son ecosistemas diversos, productivos y complejos, proveen servicios ecosistémicos, pero por acciones naturales y antrópicas está disminuyendo su biodiversidad y salud. Para mitigar la pérdida de cobertura coralina, la restauración es una herramienta de rehabilitación factible que pueden implementarse a corto plazo. Con el objeto de realizar una revisión sistemática de las estructuras utilizadas para cultivo de corales en proyectos de restauración y resaltar la información disponible que proporcionan, se reunieron las descripciones de estos proyectos *in situ* en las regiones Oceanía, Índico, Atlántico, Caribe, Pacífico Central y Oriental Tropical, identificando los proyectos más destacados. El Caribe presentó mayor número de proyectos (nueve), seguido por el Índico (siete). Los tipos de corales más utilizados para cultivo son ramificados (96 %) y la estructura más utilizada es el árbol de coral. Esta información pretende generar una línea base para considerar el tipo de estructura apta bajo las condiciones de nuestro país.

Palabras clave: estructuras, restauración, arrecife, El Salvador.

ABSTRACT

Coral reefs are diverse, productive and complex ecosystems, they provide ecosystem services, but due to natural and anthropic actions, their biodiversity and health are diminishing. To mitigate the loss of coral cover, restoration is a feasible rehabilitation tool that can be implemented in the short term. In order to carry out a systematic review of the structures used for coral culture in restoration projects and highlight the available information they provide, descriptions of these projects were gathered in situ in the Oceania, Indian, Atlantic, Caribbean, Central and Eastern Pacific regions, identifying the most outstanding projects. The Caribbean presented the highest number of projects (nine), followed by the Indian Ocean (seven). The types of corals most used for cultivation are branched (96 %) and the most used structure is the coral tree. This information aims to generate a baseline to consider the type of structure suitable under the conditions of our country.

Keywords: structure, restoration, reef, El Salvador.

Introducción

Los arrecifes coralinos se ubican en las costas tropicales y subtropicales, son considerados ecosistemas diversos, productivos y complejos (Knowlton *et al.*, 2010). La deposición de carbonato de calcio de los corales, es un factor importante para la construcción y crecimiento de estructuras que proveen hábitat directa e indirectamente a otros organismos marinos (Tortolero-Langarica *et al.*, 2017). Los arrecifes sirven como amortiguadores físicos para las corrientes y olas oceánicas, permiten que dentro del ecosistema se realicen diferentes interacciones biológicas, y además proveen servicios ecosistémicos como la pesca y el atractivo turístico (Mober y Folke, 1999). Sin embargo, por acciones naturales y antrópicas, los arrecifes se degradan a ritmos perturbadores disminuyendo la biodiversidad y la salud en los ecosistemas (Lizcano-Sandoval *et al.*, 2018). En respuesta a lo anterior se han empleado medidas de intervención para mitigar la pérdida de cobertura coralina, las cuales consisten en cultivar fragmentos de corales en estructuras con sustratos artificiales o naturales, llamados viveros; dichos corales, al alcanzar una talla adecuada para su sobrevivencia, son trasplantados a los arrecifes degradados (De la Cruz *et al.*, 2015).

Los métodos utilizados en la restauración coralina son una herramienta de rehabilitación factible de bajo costo que pueden implementarse a corto plazo; al mismo tiempo que estas técnicas pueden mitigar la pérdida de cobertura de coral, se deben implementar estrategias de manejo, tales como concientizar a la población, la restricciones de ciertas actividad, talleres educativos que involucran agencias de turismo regionales, comunidades locales y partes interesadas (Tortolero-Langarica *et al.*, 2014). Uno de los métodos más comunes para el cultivo *in situ* de corales pétreos consiste en fragmentar un pequeño pedazo de coral (aproximadamente 5-10 cm de longitud) y unir el coral a un disco redondo con adhesivo submarino o cuerda (Ellis y Ellis, 2002). Los viveros *in situ* que utilizan diseños tradicionales han enfrentado grandes desafíos de mantenimiento y son vulnerables a huracanes, escorrentías terrestres y las actividades como la pesca, captura o navegación (Nedimyer *et al.*, 2011). A pesar de esto, se han diseñado diferentes estructuras que se adaptan a diferentes condiciones oceánicas como los denominados vivero de coral a media agua, que combinan el diseño de discos donde se coloca el coral a cultivar con el diseño del vivero de línea suspendida, para crear una estructura de red flotante que sostiene bastidores de discos o corales montados en pedestal (Rinkevich, 1995). Otra de las estructuras más innovadoras son los árboles de coral, conocidos en inglés como *coral tree nursery*, que debido a su sencillez y la facilidad de obtener los materiales, lo convierten en un método bastante accesible y factible ya que puede utilizarse en prácticamente cualquier región.

Nuestro objetivo es proporcionar una revisión sistemática de proyectos de restauración coralina *in situ* disponibles en la web, y con esto analizar las estructuras utilizadas en ellos y resaltar la información disponible que proporcionan, con el fin de generar una línea base de las estructuras que se utilizan para analizar cuáles pueden ser adecuadas para el cultivo de corales en El Salvador.

Método

Se reunieron descripciones de proyectos sobre restauración coralina *in situ* pertenecientes a las regiones de Oceanía, Índico, Atlántico, Caribe, Pacífico Central y Oriental Tropical. En cada una de ellas se identificaron los proyectos más destacados, por lo menos uno de cada región, en donde se indagó por medio de tres fuentes de información: a) descripciones disponibles en línea de sitios web de proyectos de restauración coralina, con los buscadores de Google y Google Académico, recabando información sobre la temática desde el año 2000 hasta la actualidad, mediante palabras clave como: coral, estructuras, *in situ*, restauración, proyectos, fragmentación y microfragmentación; b) literatura primaria (artículos científicos revisados por pares y publicados); y c) literatura gris (informes técnicos y resúmenes de congresos), estas últimas consultadas para abonar al análisis de las estructuras utilizadas para el cultivo de coral e identificar aspectos relevantes para su establecimiento en El Salvador.

Con esta información, se crearon bases de datos con la siguiente información: nombre del proyecto, naturaleza de las instituciones involucradas (gubernamental, no gubernamental, academia o población civil), región y país de procedencia, especie y morfología de coral utilizado para el cultivo.

En general, para los proyectos de restauración que han sido liderados o conducidos por la academia, se formularon preguntas orientadoras: a) ¿Crecimiento mensual o cobertura de los corales?; y b) ¿Tasas de sobrevivencia coralina?; de forma que estas condujeran al análisis y enriquecimiento de los resultados.

Resultados y discusión

Se identificaron 26 proyectos disponibles en la web sobre restauración coralina *in situ* en seis regiones y 19 países. La región del Caribe presentó mayor número de proyectos (nueve), seguido por la región del Índico (siete), Pacífico Oriental Tropical y Atlántico con cuatro proyectos por región, mientras que Pacífico Central y Oceanía presentaron un proyecto cada uno (gráfico 1). Boström-Einarsson *et al.* (2020), en una revisión exhaustiva sobre proyectos de restauración coralina a nivel mundial, señalan que éstos son realizados en 56 países, liderados principalmente por Estados Unidos (Florida y Hawái), Filipinas, Indonesia y Tailandia, representando el 40 % del total de proyectos a nivel mundial.

Se rescató la siguiente información disponible, de 26 proyectos nueve mostraron el número de corales sembrados inicialmente, los cuales fueron los siguientes: el proyecto Reef Restoration Foundation Great Barrier Reef con 650 corales, Nature Seychelles (40,000), Okinawa Institute of Science and Technology Graduate University (298), Ocean Gardener (100), Perry Institute Of Marine Science (18,000), Coral Restoration Foundation (100,000), MOTE (76,000), Caribbean Coral Restoration (2,000), Raising Coral Costa Rica más de 1,000 y Corales de Paz (13,000). En cuanto a la profundidad registrada por proyecto, el Instituto Nacional de Pesca y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Restauración en Parque Nacional Arrecife Los Alacranes, destacaron que fijaron las estructuras a una

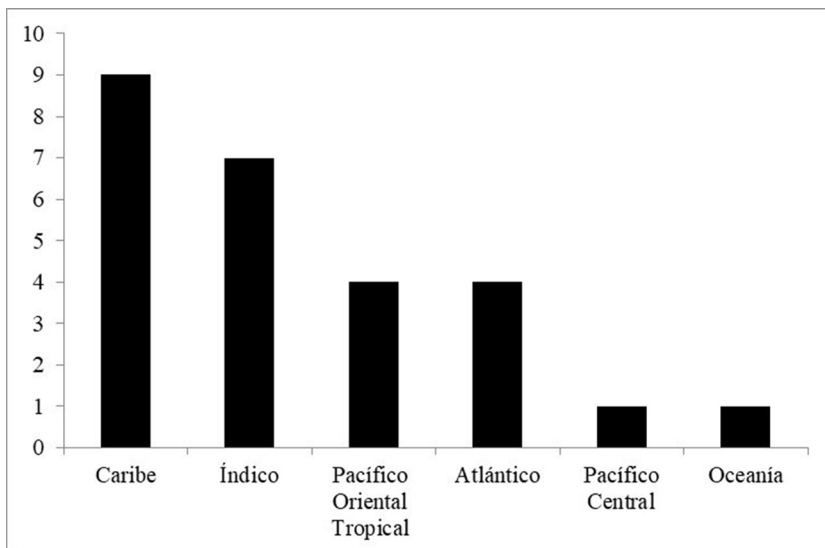


Gráfico 1. Número de proyectos por región.
Fuente: elaboración propia.

profundidad que iba desde un metro hasta los cuatro metros. Sin embargo, en ninguna página web se reportaron las características del lugar de muestreo. En cuanto a la distancia de la costa hasta el punto de restauración, Reef Restoration Foundation Great Barrier Reef indicó que son 45 minutos en ferry hasta el sitio donde se instalaron las estructuras de cultivo. En cuanto al porcentaje de cobertura o crecimiento coralino, Fragments of Hope señaló que los corales presentaron un 50 % de crecimiento. Así mismo, Reef Doctor indicó que los corales sembrados tuvieron un 90 % de sobrevivencia (tabla 1 y anexo 1).

| Categorías | Número de proyectos que presentan información |
|---|---|
| Número de corales sembrados | 9 |
| Profundidad de fijación para las estructuras | 2 |
| Características físicas del punto de restauración | 0 |
| Distancia desde la costa al punto de restauración | 1 |
| % de cobertura o crecimiento coralino | 1 |
| % de sobrevivencia de los corales | 1 |

Tabla 1. Número de proyectos que presentaron información en sus sitios web por categorías.
Fuente: elaboración propia.

En los proyectos se encontraron tres tipos de crecimiento de coral que son los ramificados, masivos e incrustantes; en algunos casos un mismo proyecto utiliza dos tipos de crecimiento coralino. Sin embargo, el que se utiliza con mayor frecuencia para cultivo es de tipo ramificado, representado en

el 96 % de los casos, debido a que éstos poseen mayor rapidez de crecimiento y son más susceptibles a fragmentarse por fuertes oleajes que se traduce en habilidad de reproducción asexual (Highsmith, 1982; Bliss, 2015), provocando que estos fragmentos estén disponibles en el arrecife y, posteriormente, puedan utilizarse para cultivo. Se estima que a nivel mundial el 59 % de los proyectos de restauración coralina utilizan este tipo de corales. En cuanto a los corales masivos e incrustantes únicamente se presentaron en siete de los proyectos; sin embargo, a nivel mundial representan el 18 y 6 % (Boström-Einarsson *et al.*, 2020), respectivamente, de la morfología del coral utilizado para restauración, esto según Page *et al.* (2018), principalmente debido a su lento crecimiento y esqueletos más gruesos, que son menos susceptibles a la fragmentación (gráfico 2).

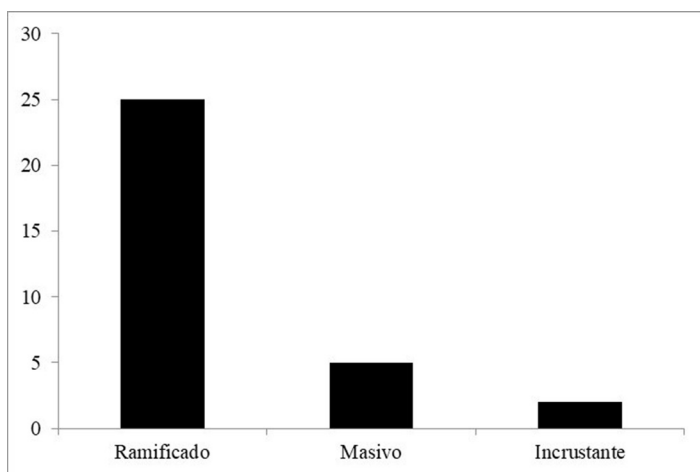


Gráfico 2. Tipos de crecimiento coralino utilizados para cultivo de coral.
Fuente: elaboración propia.

El género más utilizado de corales ramificados es *Acropora sp.*, con las especies *A. cervicornis* y *A. palmata*, las cuales se encuentran dentro de las cinco especies más utilizadas en los proyectos de restauración en el mundo, además de encontrarse en el listado de especies en peligro de extinción de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza; son consideradas como especies predominantes en la formación de arrecifes (Boström-Einarsson *et al.*, 2020). Así mismo, Young *et al.* (2012), señalan que en la región del Caribe el 40 % de los proyectos de restauración utilizan ambas especies de coral para restauración de arrecifes. Posteriormente, el género *Pocillopora sp.* se utiliza en cuatro de los proyectos, seguido por corales masivos representados por el género *Porites sp.* con las especies *P. porites* y *P. furcata*, y corales incrustantes como *Pavona gigantea* y *P. frondifera*. Por otra parte, aproximadamente el 77 % de los proyectos identificados durante la investigación están liderados por Organizaciones No Gubernamentales, mientras que el 23 % está conformado por la academia, instituciones gubernamentales y población civil. Sin embargo, algunos proyectos poseen participación de distintos sectores de la sociedad (tabla 2).

| Proyecto | Sector de la sociedad | Región | País | Tipo de estructura | Especie | Tipo de crecimiento | Sitio web |
|--|-----------------------|--------|------|--------------------|--|---------------------|--|
| Reef Restoration Foundation Great Barrier Reef | ONG, G, A | O | A | AC | <i>Acropora sp.</i> | R | https://reefrestorationfoundation.org https://www.gbrcoralrestoration.org/ |
| My Coral Garden | ONG, G | I | M | BV, D | <i>Acropora cervicornis</i> y <i>Porites porites</i> | R | https://www.mycoralgarden.com |
| Nature Seychelles | ONG | I | S | BC | <i>Acropora sp.</i> y <i>Pocillopora sp.</i> | R, MV | http://www.natureseychelles.org |
| Okinawa Institute of Science and Technology Graduate University | G | I | J | PM | <i>Acropora sp.</i> | R | https://www.oist.jp |
| Ocean Gardener | ONG | I | ID | TM | <i>Acropora sp.</i> , <i>Isopora sp.</i> , <i>Pocillopora sp.</i> , <i>Seriatopora sp.</i> , <i>Euphyllia sp.</i> , <i>Plerogyra sp.</i> , <i>Caulastrea sp.</i> , <i>Montipora sp.</i> , <i>Porites sp.</i> | R, MV, IN | https://oceangardener.org |
| Perry Institute Of Marine Science | ONG | I | BA | AC | <i>Acropora cervicornis</i> | R | http://www.perryinstitute.org |
| Reef Doctor | ONG | I | MG | TM, D | <i>Acropora sp.</i> | R | https://www.reefdoctor.org |
| Biorock Thailand Coral Reef Restoration | ONG | I | T | B | <i>Acropora sp.</i> | R | http://www.biorock-thailand.com |
| Mar Fund | ONG | A | G | PVC | <i>Acropora palmata</i> | R | https://Mote.org |
| Plant a Million Corals | ONG | A | EEUU | AC | <i>Acropora cervicornis</i> | R | http://plantamillioncorals.org |
| Coral Restoration Foundation | A, G | A | EEUU | AC | <i>Acropora sp.</i> | R | https://www.coralrestoration.org |
| MOTE- Marine Science Education Intitution y The Nature Conservancy | ONG | A | EEUU | AC | <i>Acropora sp.</i> | R | https://mote.org |

| Proyecto | Sector de la sociedad | Región | País | Tipo de estructura | Especie | Tipo de crecimiento | Sitio web |
|--|-----------------------|--------|------|--------------------|---|---------------------|--|
| Restore Coral | P | C | MX | B | <i>Porites porites</i> y <i>Agaricia tenuifolia</i> | R, MV | http://www.restorecoral.org |
| Restauración en Parque Nacional Arrecife Los Alacranes | ONG, G | C | MX | PVC | <i>Acropora cervicornis</i> y <i>A. palmata</i> | R | http://www.conanp.gob.mx |
| Instituto Nacional de Pesca y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas | G | C | MX | PVC | <i>Acropora cervicornis</i> | R | http://www.conanp.gob.mx |
| Fragments of Hope | ONG, G | C | B | D, MA, VL, TM | <i>Dendrogyna cylindrus</i> , <i>Montastrea cavernosa</i> , <i>Undaria tenuifolia</i> , <i>Porites furcata</i> , <i>Orcibella annularis</i> , <i>O. faveolata</i> , <i>O. franki</i> , <i>Diploria strigosa</i> , <i>Pseudodiploria clivosa</i> | R, MV | http://fragmentsofhope.org |
| Turquoise bay y Subway Watersport | ONG | C | H | AC | <i>Acropora cervicornis</i> y <i>A. palmata</i> | R | https://www.turquoisebayresort.com https://www.subwaywatersports.com |
| Oracabessa Foundation | ONG | C | JM | VL | <i>Acropora sp.</i> | R | https://www.bloomberg.com |
| Fundación Reef Check | ONG | C | RD | MA | <i>Acropora sp.</i> | R | http://www.reefcheckdr.org |
| Caribbean Coral Restoration | ONG | C | P | AC, VC | <i>Acropora sp.</i> | R | https://loveforthesea.com/ |
| Ecomares | ONG | C | C | T | <i>Acropora cervicornis</i> y <i>A. palmata</i> | R | http://ecomares.org/ |
| Coral Reef Assessment and Monitoring Program | A, G | PC | HW | SS | <i>Porites compressa</i> , <i>Montipora capitata</i> | R, MV | http://cramp.wcc.hawaii.edu/ |
| Corales de Paz | ONG | POT | C | T, D, DI | <i>Acropora sp.</i> | R | https://www.coralesdepaz.org/ |

| Proyecto | Sector de la sociedad | Región | País | Tipo de estructura | Especie | Tipo de crecimiento | Sitio web |
|---|-----------------------|--------|------|--------------------|---|---------------------|---|
| Raising Coral Costa Rica | ONG, G, A | POT | CR | AC | <i>Pocillopora</i> sp., <i>Psammocora stellata</i> , <i>Pavona gigantea</i> y <i>P. frondifera</i> | R, IN | https://www.raisingcoral.org/ |
| PROZONA | ONG, G, A | POT | MX | SS | <i>Pocillopora</i> sp. | R | http://prozona.org |
| Restauración coralina y sus roles ecológicos | A, G, P | POT | MX | SS | <i>Pocillopora</i> sp. | R | http://www.cienciamx.com |

Tabla 2. Información obtenida de cada uno de los proyectos consultados en la web.
Fuente: elaboración propia.

Notas:

- Sector de la sociedad: *ONG: Organización No Gubernamental; G: Entidad Gubernamental; A: Academia; P: Población civil.
- País: A: Australia; M: Malasia; S: Seychelles; J: Japón; ID: Indonesia; BA: Bahamas; MG: Madagascar; T: Tailandia; G: Guatemala; EEUU: Estados Unidos; MX: México; B: Belice; H: Honduras; JM: Jamaica; RD: República Dominicana; HW: Hawái; C: Colombia; CR: Costa Rica; P: Panamá.
- Región: *O: Oceania; I: Índico; A: Atlántico; C: Caribe; PC: Pacífico Central; POT: Pacífico Oriental Tropical.
- Tipo de estructura: *AC: árbol de coral; BV: botellas de vidrio; D: domos; BC: bloque de concreto con discos de azulejo; PM: postes de metal; TM: tipo mesa; B: bioroca; PVC: policloruro de vinilo; MA: marcos en A; VL: vivero en línea; DI: discos; T: tendadero; SS: siembra en sustrato; VC: viveros en caja.
- Tipo de crecimiento coralino: *R: ramificado; MV: masivo; IN: incrustante.

En cuanto a los tipos de estructuras para cultivo de coral *in situ*, se encontraron 14 diferentes en las seis regiones a nivel mundial. La estructura más utilizada es el árbol de coral con corales ramificados (tabla 3 y gráfico 3); inicialmente fue diseñada para el cultivo de *Acropora cervicornis* pero en la actualidad se utiliza para el cultivo de diferentes especies de coral. Nedimyer *et al.* (2011), realizan una descripción completa de la estructura, que consiste en un diseño similar a las ramas de un árbol con el objetivo de superar las deficiencias de otros diseños de estructuras para cultivo de coral, los cuales son fragmentados ya sea por condiciones naturales o como parte de los métodos para cultivo, y luego son adheridos a las ramas del árbol con lazos o cables. Dependiendo del tipo de fondo marino en donde se instale la estructura se utilizan diferentes métodos: para fondos arenosos o con pasto marino se puede utilizar un anclaje tipo Duckbill en la arena o sedimento el cual mantendrá el árbol en su lugar; en fondos rocosos, el árbol puede atarse a un punto fijo que contenga pegamento epoxi o cemento; en la parte superior la estructura posee una boya para que permite su flotabilidad. Una de las ventajas de este método es que permite su movilización en la columna de agua con la onda de la marea, disipando esta energía y evitando el daño a los corales en crecimiento y a la estructura (Galárraga y Yáñez, 2018).

Las segundas estructuras más utilizadas para cultivo de coral son los domos, utilizados en la región del Índico y Pacífico Oriental Tropical; tipo mesa y bioroca en la región del Índico y Caribe; estructuras de PVC en el Atlántico y Caribe; la siembra directa en el sustrato en el Pacífico Central y Oriental Tropical. Los viveros en caja, los discos, bloques de concreto, tendedero, viveros en línea, marcos en A, postes de metal y botellas de vidrio son utilizados únicamente en una región, entre ellas el Caribe, Pacífico Oriental Tropical e Índico (gráfico 3). Estas estructuras en su mayoría son utilizadas para el cultivo de especies ramificadas y en algunos casos masivas (tabla 3).

| Tipo de estructura | Tipo de crecimiento |
|---------------------|---------------------|
| Árbol de coral | R |
| Domos | R, MV |
| Botellas de vidrio | R |
| Postes de metal | R |
| Tipo mesa | R, MV |
| Bioroca | R, MV |
| PVC | R |
| Marcos en A | R |
| Vivero en línea | R |
| Tendedero | R |
| Siembra en sustrato | R, MV |
| Discos | R, MV |
| Vivero en caja | R |
| Bloques de concreto | R |

Tabla 3. Tipos de estructuras utilizadas para cultivo de coral y tipos de crecimiento coralino.

Fuente: elaboración propia.

Nota: *R: ramificado; MV: masivo.

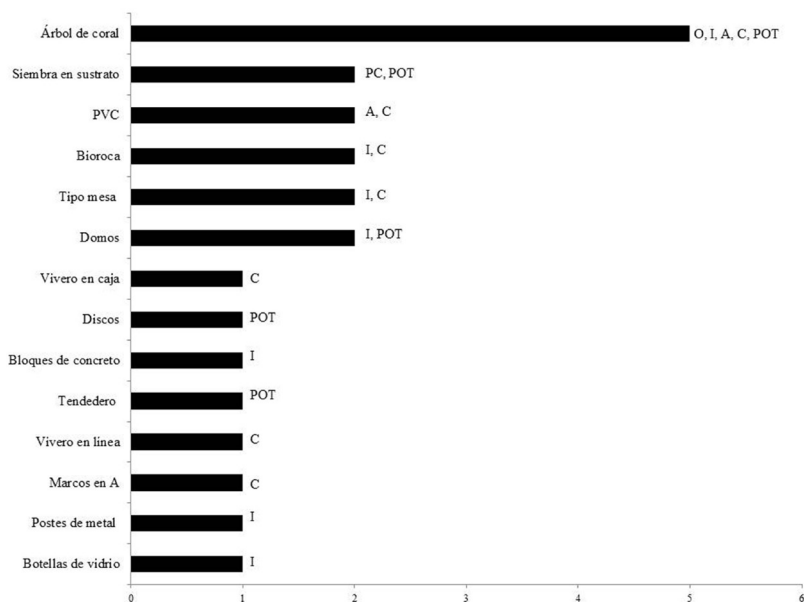


Gráfico 3. Tipos de estructuras para cultivo de coral y su frecuencia de uso.

Fuente: elaboración propia.

Nota: *O: Oceanía; I: Índico; A: Atlántico; C: Caribe; PC: Pacífico Central; POT: Pacífico Oriental Tropical.

Los domos son arrecifes artificiales con propósitos de restauración coralina; aproximadamente el 21 % de los proyectos a nivel mundial utilizan este tipo de estructuras para el cultivo de corales (Boström-Einarsson *et al.*, 2020). En algunos casos, los domos se colocan en sitios en donde el sustrato es inestable y su diseño consiste en una estructura metálica de hierro asemejando una araña, que luego es recubierta con una capa protectora de textura rugosa (que consiste en resina y arena gruesa) para que el coral se adhiera. Ha sido ampliamente utilizado en el Índico como una estrategia para mitigar el daño en los arrecifes que han sido dinamitados, o donde se practicaba pesca con cianuro (Williams *et al.*, 2018).

Las estructuras de bioroca son conocidas también como arrecifes artificiales con sustratos mejorados con electricidad, ya que utilizan corriente eléctrica directa de bajo voltaje para mejorar el crecimiento de los corales, organismos que secretan calcita y estimular la precipitación de calcio y magnesio; el principal objetivo de la bioroca es simular las propiedades químicas y físicas de los sustratos calcáreos en el arrecife (Goreau, 2005; Terlouw, 2012). Goreau y Hilbertz (1996), señalan que este tipo de estructuras muestran resultados prometedores como en la región del Caribe, Jamaica, en donde el crecimiento incrementó entre 3-5 veces en sitios donde los corales en condiciones naturales habían disminuido su cobertura por sobrecimiento de algas o exceso de nutrientes. Así mismo, Goreau *et al.* (2000), en la región del Índico en las Maldivas describen que entre el 50-80 % de corales sobrevivió a elevaciones de temperatura en donde 1-5 % de los arrecifes cercanos sobrevivió. Sin embargo, algunos

experimentos muestran resultados cuestionables en cuanto al crecimiento entre algunas especies de coral como *Acropora pulchra* y *A. yongei* (Romatzki, 2014; Borell *et al.*, 2010). Por esta razón, la utilización de estas estructuras aún es muy debatida entre los expertos en restauración de arrecifes.

Los viveros en caja, las estructuras tipo mesa metálica, estructuras de PVC, bloques de concreto, botellas de vidrio, postes de metal, marcos en A y discos corresponden a métodos de fondo que, según Bowden-Kerby (2008), presentan mayores tasas de mortalidad coralina durante los primeros meses posteriores a la fragmentación, que generalmente se asocia a la fijación del coral al sustrato y a su crecimiento inicial, aún sin disturbios mayores. Sin embargo, uno de sus principales beneficios es que son de bajo costo y construcción rápida (Ellis y Ellis, 2002).

Las estructuras tipo mesa construidas con hierro están diseñadas para ser de larga duración y muy resistentes ante huracanes o fuertes oleajes, dejando los corales en crecimiento muy por encima del sustrato, evitando el contacto con arena o limo suspendido en la columna de agua; esto además de evitar algunos depredadores de fondo como gusanos de fuego y peces damisela del género *Stegastes sp.*, y son resistentes al crecimiento de corales hasta la segunda generación (Ellis y Ellis, 2002; Bowden-Kerby, 2008). Tradicionalmente, este método de cultivo se ha acompañado con discos en donde se colocan los fragmentos de coral a cultivar y estos pueden ser de diferentes materiales (cemento, cerámica o cemento con arena). De esta forma Dubininkas (2017), utilizó dos especies de coral (*Montipora capitata* y *Porites lobata*) para determinar el efecto del sustrato en el cultivo de corales utilizando como sustrato natural roca volcánica y discos de sustrato sintético de diferentes materiales, en donde luego de 184 días del experimento obtuvo un aumento de la cobertura coralina de 98.9 ± 6.1 % y sobrevivencia media más alta de 100 ± 0 %, que se observó para los trasplantes cultivados en sustrato natural. Por el contrario, la supervivencia media más baja fue de 50 ± 17 %, que se observó para los trasplantes cultivados en sustrato artificial. Por esta razón, es importante tener en cuenta también el tipo de material del cual se construirá el disco y así evitar que los oleajes fuertes puedan romperlos. Bowden-Kerby (2008), describe que una de las lecciones aprendidas con las estructuras tipo mesa es que, en sitios donde los oleajes son intensos, las bases de la estructura pueden formar una “U” y añadir refuerzos con otras barras metálicas por en medio de la mesa, y colocarla en dirección de la corriente y no contra la corriente.

Los viveros en línea están contruidos de forma similar que las estructuras tipo mesa y están diseñados para el crecimiento de colonias madre de corales ramificados, dejando espacio entre una línea y otra para la colocación de los corales, de forma que estos puedan crecer sin ganar espacio entre sí. Cabe resaltar que la distancia entre las cuerdas se puede ajustar con el tiempo, mientras que la distancia entre colonias de coral en una cuerda no, ya que los fragmentos sobrepasan rápidamente la cuerda y se ramifican en todas las direcciones; se recomienda que las colonias madres se recorten para producir corales de segunda generación en forma de fragmentos. Es importante señalar que estas estructuras pueden ser de fácil depredación para peces mariposa, especialmente en donde los corales están maduros y próximos a ser fertilizados (Bowden-Kerby, 2008).

La siembra directa sobre el sustrato, si bien no requiere una estructura como tal, es uno de los métodos para cultivo de coral que se registró en los proyectos. Este método es uno de los más comunes y recientes en el cual, como su nombre lo indica, se cultivan los corales directamente en el sustrato del arrecife desde una colonia de coral donadora. Aproximadamente el 20 % de los proyectos a nivel mundial utilizan esta técnica, los cuales reportan un promedio del 64 % de sobrevivencia; generalmente se practica en zonas donde la instalación de estructuras es muy dificultosa (Gayle *et al.*, 2005; Boström-Einarsson *et al.*, 2020). La siembra directa en el sustrato se ha practicado principalmente con corales ramificados de rápido crecimiento; sin embargo, se han realizado experimentos utilizando especies masivas como Page *et al.* (2018), quienes colocaron microfragmentos de dos especies masivas de coral (*Orbicella faveolata* y *Montastrea cavernosa*) y sembrados directamente en el sustrato del arrecife, todos ellos dispuestos en dos matrices, una cercana a la costa y la otra más alejada de ella. La sobrevivencia para *O. faveolata* fue de 80 % cercano a la costa y 18 % lejos de ella, en cuanto a *M. cavernosa* 100 % cercano a la costa y 40 % lejos de la misma. A pesar de esto, Boström-Einarsson *et al.* (2020), afirman que los experimentos con este método son limitados y sugieren la realización de más investigaciones en este campo.

En cuanto a proyectos liderados por entidades académicas, se encontraron los siguientes casos:

En el proyecto liderado por Mote-Marine Laboratory, Coral Restoration (costa de Florida, Estados Unidos), se colocaron matrices de ocho microfragmentos (aproximadamente menores a 1 cm²) de las especies de coral masivas *Orbicella faveolata* y *Montastrea cavernosa*; unos fueron colocados cercanos a la costa y otros más alejados. Se monitorearon durante 31 meses abarcando dos eventos de blanqueamiento coralino: como resultado se obtuvo un aumento en la cobertura 6.5 veces mayor para *O. faveolata* y dos veces mayor tejido para *M. cavernosa*, con sobrevivencia de 80 % cercano a la costa y 18 % lejos de la costa, y 100 % cercano a la costa y 40 % alejado de ella, respectivamente para cada especie (Page *et al.*, 2018). Demostrando que, probablemente, la cercanía a la costa para las especies masivas de coral propicia mayor crecimiento y sobrevivencia por la dinámica del oleaje.

En el caso de Colombia, la selección del tipo de estructura tipo “tendedero” mostró elevadas tasas de sobrevivencia y crecimiento para *Acropora cervicornis*, aventajado por la facilidad de montaje y mantenimiento. Así mismo, se colocaron estructuras colgantes que permitieron mayor flujo de energía del oleaje, mayor crecimiento coralino en múltiples direcciones y evitó la competencia por espacio con otros individuos (Zarza *et al.*, 2014).

Recientemente, en Costa Rica, con apoyo del Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad de Costa Rica y Raising Coral, describen en su sitio web que colocaron estructuras tipo árbol de coral para el cultivo de *Pocillopora sp.*, con sobrevivencia del 100 % y aumento de su área 57 veces su tamaño inicial; también utilizaron discos de cerámica para especies masivas como *Porites sp.* e incrustantes como *Pavona gigantea*, obteniendo una sobrevivencia del 24 % y área

máxima de cobertura de 4.5 cm², y 95 % con área máxima de cobertura de 7.7 cm², respectivamente, luego de 6-8 meses. Algunas lecciones aprendidas en la experiencia de Costa Rica son las interacciones biológicas que se desarrollan durante el crecimiento: para *Porites sp.* se registró “depredación” por el pez tunco (*Balistes polylepis*).

En El Salvador las corrientes oceánicas se caracterizan por formar meandros y remolinos por la corriente de Centroamérica: en las secciones de estas formaciones la rapidez incrementada por la corriente puede dificultar la navegación, las faenas de pesca o incluso arrastrar embarcaciones que se encuentren en la deriva. La temperatura y salinidad frente a la costa salvadoreña sobre la plataforma continental se caracteriza por frentes térmicos y salinos, asociados al patrón de corriente y a las descargas de los ríos o estuarios (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales -MARN-, 2020), que generan mayor cantidad de sedimentación en conjunto con las actividades antrópicas. Muchos de los proyectos de restauración se realizan en países en los que las condiciones del oleaje permiten establecer estructuras hidrodinámicas sin que puedan sufrir algún daño por acción de las ondas generadas por las mareas; de igual forma estas condiciones permiten que el tipo de coral ramificado pueda crecer sin dañarse.

El fenómeno de El Niño Oscilación del Sur, ha sido responsable en gran medida por el aumento de las temperaturas de la superficie del océano. Así mismo se le atribuye la disminución de la cobertura coralina en más del 47 % entre el 2014 y 2016 en el arrecife rocoso de Los Cóbanos (El Salvador), lo que provocó que el sustrato disponible por la muerte o blanqueamiento en los corales resultara en condiciones favorables para el aumento de la colonización de algas oportunistas, alterando el balance ecológico de las comunidades coralinas locales (Segovia, 2017).

Con base a la información reportada, se puede analizar el tipo de estructuras viables para el cultivo de *Porites lobata*, tomando en cuenta las condiciones de corriente oceánica, actividad antrópica en el sitio, vientos, sedimentación y continuas variaciones en la temperatura entre mareas. Considerando lo anterior, se necesita una estructura que propicie el crecimiento de *P. lobata*. Las estructuras de tipo mesa, ancladas al fondo marino podrían servir como una alternativa para la restauración coralina en nuestro país, debido a que la estabilidad por el anclaje supone ser una estructura resistente ante la fricción generada por las corrientes; así mismo, la estructura tipo árbol de coral, se puede adaptar a cualquier región debido al dispositivo de flotación en la superficie que le permite moverse con las marejadas generadas por las tormentas, disipando la energía de las olas y evitando daños en la estructura o en los corales (Nedimyer *et al.*, 2011).

Por lo tanto, se debe generar información oportuna para el manejo de estos proyectos. Existe la necesidad de priorizar los instrumentos de restauración más apropiados y beneficiosos, desarrollando protocolos alternativos adaptados a condiciones y circunstancias específicas; parámetros como la profundidad, los efectos de la acción de las olas, la composición del sustrato y la tolerancia de las especies, deben evaluarse cuidadosamente en estudios detallados (Shaish *et al.*, 2010). Además, es

recomendable que todas estas medidas de restauración vayan acompañadas de otras estrategias de manejo que disminuyan el impacto antrópico en las zonas marino-costeras. Para esto se recomienda que la información generada en los proyectos de restauración coralina esté disponible en cualquier plataforma, para que estos esfuerzos se armonicen y armen una sinergia exhortando a otros países a realizar este tipo de restauración.

Referencias bibliográficas

Biorock Technology Thailand (sin fecha) *Biorock Technology Thailand*. Disponible en: <http://www.biorock-thailand.com>

Bliss, B.C. (2015) *Translocation of Acropora cervicornis across geographic regions: investigating species recovery and restoration* (Tesis de maestría). Nova Southern University: Estados Unidos.

Bloomberg (2020) *Bloomberg*. Disponible en: <https://www.bloomberg.com>

Borell, E.M., Romatzki, S.B.C. y Ferse S.C.A. (2010) Differential physiological responses of two congeneric scleractinian corals to mineral accretion and an electric field. *Coral reefs*, 29, 191–200.

Boström-Einarsson, L., Babcock, R., Bayraktov, E., Ceccarelli, D., Cook, N., Ferse, S., Hancock, B., Harrison, P., Hein, M., Shaver, E., Smith, A., Suggett, D., Stewart-Sinclair, P., Vardi, T. y McLeod, I.M. (2020) Coral restoration - a systematic review of current methods, successes, failures and future directions. *PLoS ONE*, 15(1): e0226631.

Bowden-Kerby, A. (2008) *Restoration of threatened Acropora cervicornis corals: intraspecific variation as a factor in mortality, growth and self-attachment*. Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium. Estados Unidos.

Coral restoration foundation (2020) *Coral restoration foundation*. Disponible en: <https://www.coralrestoration.org>

Corales de Paz (sin fecha) *Corales de Paz-buceo con propósito*. Disponible en: <https://www.coralesdepaz.org/>

De la Cruz, D.W., Rinkevich, B., Gomeza, E.D. y Yap, H.T. (2015) Assessing an abridged nursery phase for slow growing corals used in coral restoration. *Ecological engineering*, 84, 408–415.

Dubininkas, V. (2017) Effects of substratum on the growth and survivorship of *Montipora capitata* and *Porites lobata* transplants. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 486, 134–139.

Ellis, S. y Ellis, E. (2002) *Recent advances in lagoon-based farming practices for eight species of commercially valuable hard and soft corals (147)*. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.212.1636&rep=rep1&type=pdf>

El Salvador. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales -MARN- (2020) *Pronóstico de salinidad, temperatura y corriente en la superficie del mar*. Disponible en: <https://www.marn.gob.sv/pronostico-de-salinidad-temperatura-y-corriente-en-la-superficie-del-mar-30/>

Fragments of hope, Belize (2015) *Fragments of hope*. Disponible en: <http://fragmentsofhope.org>

Fundación para la investigación y conservación biológica marina ECOMARES (sin fecha) *ECOMARES*. Disponible en: <http://ecomares.org/>

Galárraga, N. y Yáñez, P. (2018) Consideraciones para la aplicación del método coral tree nursery en la recuperación de poblaciones de *Acropora valida* (Acroporidae) en dos zonas neríticas de Galápagos, Ecuador. *INNOVA research journal*, 3(9), 18-32.

Gayle, P.M.H., Wilson-Kelly, P. y Green, S. (2005) Transplantation of benthic species to mitigate impacts of coastal development in Jamaica. *Revista de biología tropical*, 53, 105-115.

Goreau, T. y Hilbertz, W. (1996) *Reef restoration using seawater electrolysis in Jamaica*. Disponible en: http://www.globalcoral.org/oldgcra/reef_restoration_using_seawater.htm

Goreau, T. y Hilbertz, W. (2005) Marine ecosystem restoration: costs and benefits for coral reefs. *World resource review*, 17(3), 375-409.

Goreau, T.J., Hilbertz, W., Azeez, A. y Hakeem, A. (2000) *Increased coral and fish survival on mineral accretion reef structures in the Maldives after the 1998 Bleaching event*. 9th International Coral Reef Symposium, Bali, Indonesia.

Highsmith, R. (1982) Reproduction by fragmentation in corals. *Marine ecology progress*, 7, 207-226.

Knowlton, N.K, Brainard, R.E., Fisher, R., Moews, M., Plaisance, L. y Caley, M.J. (2010) Coral reef biodiversity. En: McIntyre, A. D. (Ed.). *Life in the world's oceans* (pp. 65-77). Estados Unidos de América: Blackwell Publishing.

Lizcano-Sandoval, L., Londoño, E., y Zapata, F. (2018) Growth and survival of *Pocillopora damicornis* (Scleractinia: Pocilloporidae) coral fragments and their potential for coral reef restoration in the Tropical Eastern Pacific. *Marine biology research*, 14(8), 887-897.

Marfund (2020) *Mar Fund- Fondo Sam*. Disponible en: <https://marfund.org>

Mober, F. y Folke, C. (1999) Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological economics*, 29(2), 215-233.

Mote marine laboratory & aquarium (sin fecha) *Mote marine laboratory & aquarium*. Disponible en: <https://mote.org>

Nature Seychelles (2018) *Nature Seychelles*. Disponible en: <http://www.natureseychelles.org>

Nedimyer, K., Gaines, K. y Roach, S. (2011) Coral tree nursery©: an innovative approach to growing corals in an ocean-based field nursery. *International journal of the bioflux society* 4(4), 442-446.

Ocean Gardener (2020) *Ocean Gardener*. Disponible en: <https://oceangardener.org>

Okinawa institute of science and technology graduate university (2014) *Research and community projects*. Disponible en: <https://www.oist.jp>

Page, C., Muller, E. y Vaughan, D. (2018) Microfragmenting for the successful restoration of slow growing massive corals. *Ecological engineering*, 123, 86-94.

Perry institute of marine science (2020). *Perry institute of marine science*. Disponible en: <http://www.perryinstitute.org>

Plant a million coral (sin fecha) *The plant a million corals foundation*. Disponible en: <http://plantamillioncorals.org>

PROZONA (2019) *Protección y restauración de islas y zonas naturales A.C.* Disponible en: <http://prozona.org>

Raising coral Costa Rica (sin fecha) *Raising coral Costa Rica: a human-coral symbiosis*. Disponible en: <https://reefrestorationfoundation.org>

Reef check República Dominicana (2018) *Reef check*. Disponible en: <http://www.reefcheckdr.org>

Reef doctor - marine conservation (2019) *Reef doctor creating sustainable future*. Disponible en: <https://www.reefdoctor.org>

Reef restoration foundation (2020) *Reef restoration foundation coral nursery great coral reef*. Disponible en: <https://reefrestorationfoundation.org>

Restore coral (2015) *Restores a coral*. Disponible en: <http://www.restorecoral.org>

Rinkevich, B. (2006) The coral gardening concept and the use of underwater nurseries: lessons learned from silvics and silviculture. En: Precht, W.F. (Ed.). *Coral reef restoration handbook*. (pp. 291-302). Estados Unidos: CRC Press.

Romatzki, S.B.C. (2014) Influence of electrical fields on the performance of *Acropora* coral transplants on two different designs of structures. *Marine biology research*, 10(5), 449-459.

Segovia, J. (2017) *Impactos de El Niño 2014 – 2016 en las comunidades bénticas de los arrecifes de borde, Los Cóbanos, El Salvador, Centroamérica*. 17º Congreso Latino-Americano de Ciencias do Mar – COLACMAR, Brasil.

Shaish, L., Levy, G., Katzir, G. y Rinkevich, B. (2010) Coral reef restoration (Bolinao, Philippines) in the face of frequent natural catastrophes. *Restoration ecology*, 18(3), 285–299.

Terlouw, G. (2012) *Coral reef rehabilitation on Koh Tao, Thailand. Assessing the success of a biorock artificial reef*. Disponible en: https://newheavenreefconservation.org/images/StudentPapers/Terlouw_2012_Assessing-the-success-of-a-Biorock-Artificial-Reef.pdf

Tortolero-Langarica, J.J., Carricat, J.P., Cupul-Magaña, A. y Rodríguez-Troncoso, A. (2017) Historical insights on growth rates of the reef-building corals *Pavona gigantea* and *Porites panamensis* from the northeastern tropical Pacific. *Marine environmental research* 132, 23-32.

Turquoise Bay Resort (2020) *Turquoise Bay Resort*. Disponible en: <https://www.turquoisebayresort.com>

Williams, S.L., Sur, C., Janetski, N., Hollarsmith, J.A., Rapi, S., Barron, L., Heatwole, S., Yusuf, A., Yusuf, S., Jompa, J. y Mars, F. (2018) Large-scale coral reef rehabilitation after blast fishing in Indonesia. *Restoration ecology*, 27, 447–456.

Young, C.N., Schopmeyer, S.A. y Lirman, D. (2012) A review of reef restoration and coral propagation using the threatened genus *Acropora* in the Caribbean and Western Atlantic. *Bulletin of marine science*, 88(4), 1075–1098.

Zarza, E., Vargas, A., Londoño, Pacheco A. y Duque, D. (2014) Ensayo preliminar de crecimiento de fragmentos del coral amenazado *Acropora cervicornis* en una guardería colgante y experiencia piloto de trasplante en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo, Caribe colombiano. *Biota Colombiana*, 15, 102-113.

Anexo 1. Información extraída por cada proyecto consultado en la web.

| Proyecto | Nº de corales sembrados | Profundidad (m) de instalación de la estructura | Descripción de las aguas | Distancia de la costa | Porcentaje (%) de cobertura o crecimiento | Porcentaje (%) de sobrevivencia |
|--|-------------------------|---|--------------------------|-----------------------|---|---------------------------------|
| Reef Restoration Fundation Great Barrier Reef | 650 | NE | NE | 45 minutos en ferry | NE | NE |
| My Coral Garden | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| Nature Seychelles | 40,000 | NE | NE | NE | NE | NE |
| Okinawa Institute of Science and Technology Graduate University | 298 | NE | NE | NE | NE | NE |
| Ocean Gardener | 100 | NE | NE | NE | NE | NE |
| Perry Institute Of Marine Science | 1,800 | NE | NE | NE | NE | NE |
| Reef Doctor | NE | NE | NE | NE | NE | 90 |
| Biorock Thailand Coral Reef Restoration | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| Mar Fund | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| Plant a Million Corals | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| Coral Restoration Foundation | 100,000 | NE | NE | NE | NE | NE |
| MOTE- Marine Science Education Intitution y The Nature Conservancy | 76,000 | NE | NE | NE | NE | NE |
| Restore Coral | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| Restauración en Parque Nacional Arrecife Los Alacranes | NE | 1 a 4 | NE | NE | NE | NE |
| Instituto Nacional de Pesca y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas | NE | 1 a 4 | NE | NE | NE | NE |
| Fragments of Hope | NE | NE | NE | NE | 50 | NE |
| Turquoise bay y Subway Watersport | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| Oracabessa Foundation | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| Caribbean Coral Restoration | 2,000 | NE | NE | NE | NE | NE |
| Fundación Reef Check | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| Coral Reef Assessment and Monitoring Program | NE | NE | NE | NE | NE | NE |

| Proyecto | Nº de corales sembrados | Profundidad (m) de instalación de la estructura | Descripción de las aguas | Distancia de la costa | Porcentaje (%) de cobertura o crecimiento | Porcentaje (%) de sobrevivencia |
|--|-------------------------|---|--------------------------|-----------------------|---|---------------------------------|
| ECOMARES | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| Raising Coral Costa Rica | 1,000 + | NE | NE | NE | NE | NE |
| PROZONA | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| Restauración coralina y sus roles ecológicos | NE | NE | NE | NE | NE | NE |
| Corales de Paz | 13,000 | NE | NE | NE | NE | NE |

Fuente: elaboración propia.

Nota: *NE: No específica.