



MANUAL
PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE
PROGRAMAS DE RESTAURACIÓN DE
ARRECIFES CORALINOS





Citar como: Calle-Triviño, J., Niño-Torres, L. A., Rojas-Cano, D. , Flores-Quintal, K., Ruiz-Flores, A., Cortés-Martínez, E., Soto-Alonso, M. y Cortés-Useche, C. (2022). Protocolo de contingencia: Respuesta oportuna al impacto de tormentas y huracanes. Wave of Change. pp.

Este manual es desarrollado por el movimiento "Wave of Change" de grupo Iberostar Resorts en convenio con el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV- Unidad Mérida) y la Escuela Nacional de Estudios Superiores de la UNAM (ENES Mérida).

Agradecemos a Dressel Divers por su colaboración en el establecimiento del vivero y su disposición de ayudar en las actividades posteriores de restauración activa.



UNAM

**ESCUELA
NACIONAL DE
ESTUDIOS
SUPERIORES
UNIDAD**

MÉRIDA

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Arrecifes de coral: Ecosistemas marinos de aguas poco profundas, conformados por comunidades coralinas y una gran variedad de especies de algas, invertebrados y peces.

Algas coralinas costrosas (CCA): Algas rojas que asisten en la construcción de los arrecifes de coral.

Blanqueamiento de coral: Respuesta de los corales al estrés térmico, que consiste en la expulsión o muerte de su simbiote algal fotosintético, causando a la larga la muerte del organismo coralino.

Coral: Organismos marinos en su mayoría coloniales, conformados por una gran cantidad de pequeños animales denominados pólipos.

Corales formadores de arrecifes: Aquellos que por su tamaño y complejidad estructural fungen como base de los arrecifes de coral.

Corredor biológico: Grandes áreas que conectan dos o más regiones, y a través de las cuales se conserva la estructura y las funciones de los ecosistemas ahí presentes.

Diversidad biológica: Variedad de organismos vivos comprendidos en distintos niveles de organización biológica (genética, de especies, ecosistémica, paisajística).

Diversidad funcional: Variedad de rasgos funcionales presentes en una población, comunidad o ecosistema.

Estresores ambientales: Variables socioambientales resultantes de fenómenos naturales o actividades antropogénicas que inducen en un estado de alerta y desgaste.

Estructura arrecifal: Esqueleto de coral utilizado como sustrato para las actividades restaurativas.

Estructuras artificiales: Diseños creados y utilizados con la finalidad de reproducir y establecer colonias coralinas en ellos (plataformas de cemento, domos, arañas y arbolitos de navidad).

Fragmento: Sección de una colonia de coral obtenida y utilizada para la propagación y trasplante dentro de la restauración de corales.

Fragmentos de oportunidad: Trozos sueltos o desprendidos de corales vivos, recolectados para las actividades de restauración cuando no muestran señales de enfermedad o alguna otra afectación, y que contribuyen a la diversidad genética dentro de los mismos.

Microfragmentación: Técnica ocupada para acelerar la velocidad a la que crecen los corales a partir de fragmentos pequeños cercanos entre ellos.

Propagación: Mecanismo mediante el cual se aumenta la abundancia de colonias desde una zona conservada a una con degradación. Esta puede lograrse de forma asexual (fragmentos) o sexual (reclutas).

Reskinning: Técnica enfocada a acelerar la propagación, crecimiento, tiempo de recuperación y el inicio de la madurez sexual de los corales a partir del montaje y la unión de múltiples fragmentos de la misma colonia en algún sustrato objetivo.

Restauración: Contribuir en la recuperación de los ecosistemas perturbados, con el objetivo de restituir en ellos los servicios ecosistémicos brindados a la sociedad.

Resiliencia: Capacidad de un ecosistema u organismo para adaptarse a algún agente perturbador o situación adversa.

Propagación asexual: medio por el cual se aumenta el tamaño poblacional de los corales a través de la cría en cautiverio o por el trasplante de fragmentos de coral en campo. También conocido como jardinería de coral.

Propagación sexual: Consiste en la captura y manipulación de gametos en el campo y/o laboratorio, y liberación en la naturaleza directamente en el sitio de restauración o mediante el uso de sustratos con reclutas de coral ya asentados. También conocido como mejoramiento larvario.

Servicios ecosistémicos: Todos los recursos o procesos que se encuentran en los ecosistemas naturales y que brindan beneficios a la sociedad, mejorando la salud, economía y calidad de vida.

Stony Coral Tissue Loss Disease (SCTLD): Enfermedad que se presenta en corales duros haciéndolos perder el tejido vivo, Se cree que es causado por un patógeno bacteriano, se propaga por contacto o vías fluviales con alta tasa de mortalidad y puede causar la muerte de una colonia en semanas o meses.

Vivero: Zona ubicada dentro del mar con ciertas características oceanográficas en donde se establecen distintos tipos de estructuras, empleadas para la estabilización y crecimiento de fragmentos de coral con la finalidad de usarlos posteriormente para su trasplante en arrecifes degradados para su recuperación.

Zonas de trasplante: Lugares que debido a sus condiciones físicas y ecológicas favorecen la supervivencia de los corales que son trasplantados. Generalmente forman parte de arrecifes con alguna perturbación.

TABLA DE CONTENIDO

	PAG.
INTRODUCCIÓN	6
PASOS DE UN PROGRAMA DE RESTAURACIÓN DE ARRECIFES DE CORAL	10
PASO 1 	11
1.1 CONTAR CON UNA PLANTILLA DE EXPERTOS	
1.2 ALIANZA CON LA ACUÁTICA	
1.3 ALIANZA ESTRATÉGICA CON LA ACADEMIA	
1.3 DISEÑO DEL PROYECTO	
PASO 2 	14
2.1 OBTENCIÓN DE PERMISO	
2.2 CONSOLIDACIÓN DE ALIANZAS	
2.3 SELECCIÓN DE SITIOS	
2.4 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS	
PASO 3 	19
3.1 SELECCIÓN DE SITIOS DONANTES	
3.2 CONSOLIDACIÓN DE ALIANZAS	
PASO 4 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURAS	21
PASO 5 COLECTA DE FRAGMENTOS	23
PASO 6 TRANSPORTE DE FRAGMENTOS	24
PASO 7 ESTABLECIMIENTO DE FRAGMENTOS EN EL VIVERO	26
PASO 8 	29
8.1 MANTENIMIENTO	
8.2 MONITOREO	
PROGRAMA DE RESTAURACIÓN WAVE OF CHANGE	31
LITERATURA CITADA	33



Playa Paraíso, Riviera Maya

INTRODUCCIÓN

Los arrecifes de coral son ecosistemas marinos altamente productivos portadores de una gran diversidad biológica. Éstos proveen a las poblaciones humanas costeras múltiples servicios ecosistémicos, entre los que destacan: la protección de la línea de costa, el mantenimiento de las especies marinas, y la generación de ingresos por su belleza paisajística (Rioja-Nieto *et al.*, 2019; Gil-Agudelo *et al.*, 2020).

Actualmente, los arrecifes de coral enfrentan diferentes estresores a nivel global y local, que ponen en riesgo su supervivencia, como son cambios en la calidad del agua, calentamiento global, impacto de tormentas tropicales, enfermedades emergentes, entre otras (Perera-Valderrama *et al.*, 2016; Suchley & Alvarez-Filip, 2018). Este conjunto de estresores ha provocado una disminución de la cobertura de especies de coral formadoras de arrecifes y su sustitución por otros grupos de organismos, llevando a una pérdida de la estructura arrecifal y los servicios ecosistémicos que le brindan a las comunidades costeras (Morillo-Velarde *et al.*, 2018).

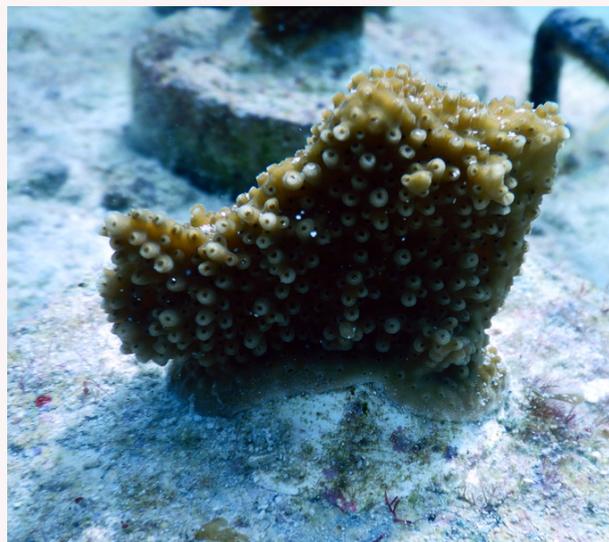
En el Caribe Mexicano, el género *Acropora spp.* ha sido uno de los más afectados por las olas de calor recurrentes y enfermedades emergentes de los últimos años, mientras que el género *Orbicella spp.* ha mostrado afectaciones importantes ante la conocida enfermedad Stony Coral Tissue Loss Disease (SCTLD) (Georgen & Gilliam, 2018; Álvarez-Filip *et al.*, 2019). Ambos géneros son de gran relevancia en los sistemas arrecifales del Caribe, al ser formadores de la estructura arrecifal de la cual depende todo el ecosistema.

Esta importancia en conjunción con su falta de recuperación natural, ha estimulado numerosas investigaciones y de gestión activa para ayudar en su recuperación (Bayraktarov *et al.*, 2020).



Acropora palmata

La restauración de los arrecifes de coral se presenta hoy como una necesidad para resguardar y recuperar las funciones biológicas y ecológicas de estos ecosistemas (Young *et al.*, 2012; Koval *et al.*, 2020).



Fragmentos de *Acropora palmata* en el vivero de La Francesita, Cozumel

El crecimiento de fragmentos de acropóridos en viveros de coral y su posterior trasplante a sitios seleccionados es la técnica más utilizada en la actualidad dentro de la restauración coralina (Young *et al.*, 2012; Ladd *et al.*, 2019; Schmidt-Roach *et al.*, 2020).

Sin embargo, investigaciones recientes han mostrado resultados prometedores en el crecimiento de tejido de especies masivas a través de técnicas de microfragmentación y reskinning (Page *et al.*, 2018). Permitiendo la incorporación de especies masivas de crecimiento lento a los esfuerzos restaurativos, contribuyendo al incremento de la resiliencia, la diversidad biológica y complejidad estructural de los arrecifes (Koval *et al.*, 2020).



Orbicella annularis



Orbicella faveolata



Equipo de Wave of Change

El movimiento Wave of Change (WOC) nace en el año 2019, a partir del compromiso del Grupo Iberostar de ofrecer un proyecto pionero que aborde los mayores desafíos que afrontan los océanos usando los puntos fuertes de la industria turística y el sector privado para idear soluciones desde un enfoque científico.

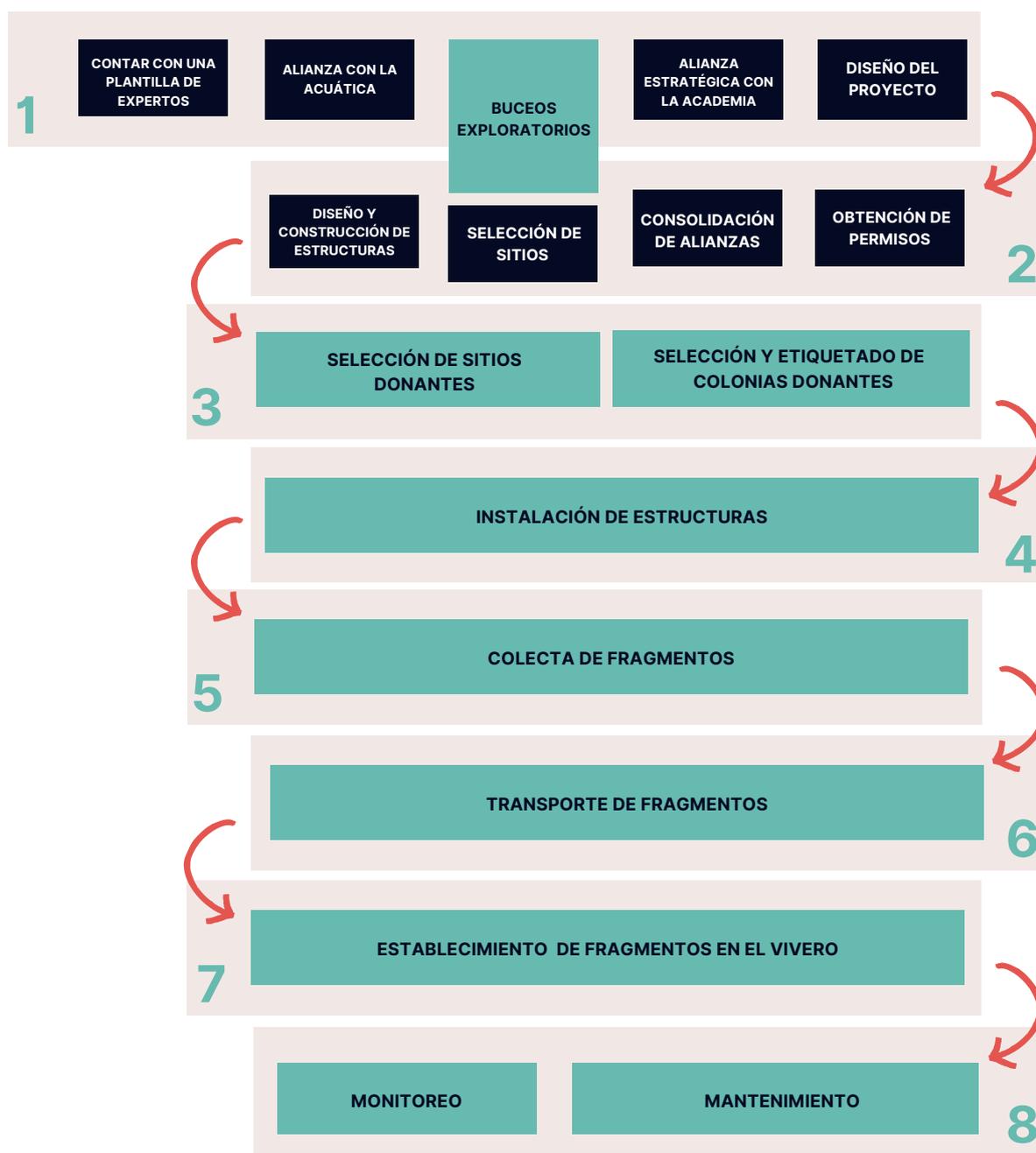
En este manual compartimos las acciones realizadas en el programa Wave of Change, en las zonas de Playa Paraíso, Riviera Maya, y Cozumel, México con el objetivo de motivar y orientar futuros esfuerzos de restauración marina desde la industria turística, utilizando especies ramificadas y masivas en el Caribe Mexicano.



Vivero de Arrecife La Francesita, Cozumel

PASOS DE UN PROGRAMA DE RESTAURACIÓN DE ARRECIFES DE CORAL

En el siguiente diagrama se muestran el orden de los pasos que son primordiales en la realización y marcha de un programa de restauración, los cuadros en azul oscuro reflejan actividades de gestión y administración, mientras los cuadros turquesa reflejan actividades a realizar en el campo. Si bien es importante el orden de los pasos, algunas de estas actividades pueden realizarse de forma paralela, evitando tiempos en pausa.



PASO 1

1.1 | CONTAR CON UNA PLANTILLA DE EXPERTOS



Equipo de expertos de Wave of Change

Un programa de restauración conlleva una inversión económica destinada para el diseño y planificación del mismo por un periodo largo de tiempo. Por lo que promovemos la importancia de incorporar a la plantilla de trabajadores a profesionales capacitados en áreas como ecología marina, manejo de restauración de zonas costeras, restauración de arrecifes coralinos, etc.

Estos profesionales **guiarán los esfuerzos de restauración optimizando la inversión económica a través de la aplicación del conocimiento científico**, incorporando nuevos avances científicos y tecnológicos y asegurando una participación real de la empresa en la conservación y recuperación de los ecosistemas costeros.

1.2 | ALIANZA CON LA ACUÁTICA

La mayor parte de las actividades del programa son realizadas en el campo, por medio de buceos. Por lo que se debe considerar los recursos para la realización de estas actividad.

Una buena manera de asegurar la disponibilidad de estos buceos es a partir de una alianza con la acuática (Dive center), que preste sus servicios dentro del hotel. En el caso del programa Wave of Change, se ha realizado alianza con Dressel Divers para la instalación y mantenimiento de los viveros.



1.3 | ALIANZA ESTRATÉGICA CON LA ACADEMIA

Las alianzas estratégicas con la academia son un factor importante en el desarrollo de programas de restauración, dado que permiten la colaboración mutua, así como la transferencia y generación de conocimientos científicos, impulsando y facilitando el desarrollo de proyectos de investigación que contribuyan la conservación y recuperación de estos ecosistemas.

En este paso se inician la comunicación con la academia, exponiendo cada uno cuales son sus expectativas, necesidades y recursos a aportar, creando las bases y lineamientos del convenio que será firmado posteriormente.

1.3 | DISEÑO DEL PROGRAMA

Antes de iniciar cualquier esfuerzo en campo, deberá ser diseñado el programa de restauración en donde se definan puntos esenciales y se planifiquen todas las actividades que serán realizadas. Este paso es de suma importancia para el éxito de la restauración.

OBJETIVOS Y META DE RESTAURACIÓN



El primer paso es articular con claridad los objetivos y las metas como una **declaración formal que detalle el impacto deseado que espera lograr al realizar intervenciones de restauración.**

Debe considerarse que la restauración de arrecifes es un proceso largo, por lo que la meta se lograra a largo o mediano plazo, alcanzándolo a través de objetivos específicos que ocurren en intervalos de tiempo más cortos.

OBTENCIÓN DE PERMISOS



Sin permisos no es posible realizar ninguna actividad de restauración, por lo que se requiere tramitarlos con antelación o bien compartirse su uso a través de alianzas con la academia.

Cuidar siempre tener permisos vigentes y realizarle las actualizaciones que sean necesarias.

PRESUPUESTOS



Es importante considerar que la restauración de cualquier ecosistema, especialmente marino conlleva un gasto económico importante, que además debe mantenerse por un periodo largo de tiempo. Por lo que deberán asegurarse desde el inicio la viabilidad económica del programa a largo plazo.

Programas de restauración fugaces y/o abandonados son recursos económicos perdidos.

PASO 2

2.1 | OBTENCIÓN DE PERMISOS

Para la realización de un programa de restauración de arrecifes coralinos es necesario tramitar permisos para la colecta y manipulación de las colonias y fragmentos que serán utilizados, así como para la instalación de estructuras de vivero de corales. En México, estos tramites se realizan a través de SAGARPA y SEMARNAT, dependiendo del grado de riesgo en el que se encuentre la especies (incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010).

SEMARNAT

1. Colecta y manipulación de corales escleractinios incluidos en la NOM-059-SEMARNAT-2010
2. Instalación de estructuras del vivero



Acropora cervicornis

El proceso de tramite de estos permisos puede ser largo, sobre todo al ser una empresa de turismo. Una forma de facilitar este proceso puede ser a través de las alianzas estratégicas con la academia, por lo que **es recomendable incluir la obtención de estos dentro de los convenios a firmar con las instituciones académicas.**

SAGARPA

1. Colecta y manipulación de corales escleractinios



Montastraea cavernosa

Además de la obtención de estos permisos, si el sitio seleccionado para los programas de restauración forma parte de alguna área natural protegida (ANP) se debe cumplir con los requisitos señalados por la dirección del ANP (CONANP) e informar constantemente de las actividades realizadas.

2.1 | CONSOLIDACIÓN DE ALIANZAS

Una vez establecida la comunicación con las instituciones académicas correspondientes y en acuerdo con las bases, mecanismos y lineamientos propuestos, deberá ser consolidada esta alianza con la elaboración y firma de un convenio de colaboración que especifique las cláusulas y compromisos de cada una de las partes.

El convenio permite **unir esfuerzos del sector privado y la academia**, para la formación de conocimientos nuevos que mejoren los esfuerzos de restauración y conservación de arrecifes coralinos, como de estudiantes de distintos niveles, contribuyendo a la solución de problemas ambientales nacionales y regionales.

Dentro del movimiento Wave of Change, desde la línea de acción de Salud costera se han realizado la consolidación de alianzas con el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV-Unidad Mérida) y con la Escuela Nacional de Estudios Superiores de la UNAM (ENES-Mérida).

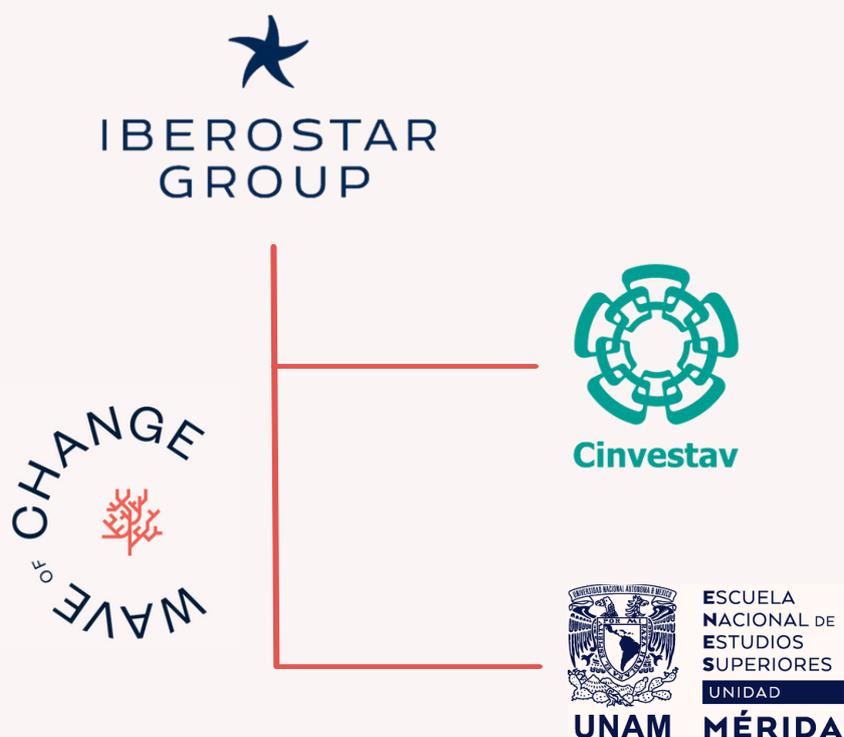


Diagrama de las alianzas estratégicas del grupo Iberostar con instituciones académicas

2.3 | SELECCIÓN DE LOS SITIOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE VIVEROS

Los sitios en los cuales se establecen los viveros de coral y las zonas de trasplante deben ser minuciosamente seleccionados con la finalidad de aumentar las probabilidades de éxito en la restauración. Por ello es necesario realizar al menos **30 buceos exploratorios** en la zona, para reconocer si cumple con los criterios para el establecimiento del vivero reconocidos por la literatura (Johnson *et al.*, 2011; Young *et al.*, 2012; Bayraktarov *et al.*, 2020; Calle-Triviño *et al.*, 2020).



Criterios decisivos para el establecimiento del vivero

2.4 | DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS

Existe una amplia gama de viveros instalados en el océano que han demostrado ser efectivos en muchos proyectos de restauración de corales en los últimos años. Usualmente las estructuras de los viveros *in situ* se agrupan en:

Flotantes: suspendido en la columna de agua y ancladas al fondo marino

Fijas: ubicadas sobre el fondo marino



Figura A y B muestran tipos estructuras fijas, mientras la figura C una estructura flotante (árbol).

El tipo de vivero que se elija debe responder a objetivos y alcance de cada proyecto de restauración, por lo que debe tomarse a consideración:

Especie de coral

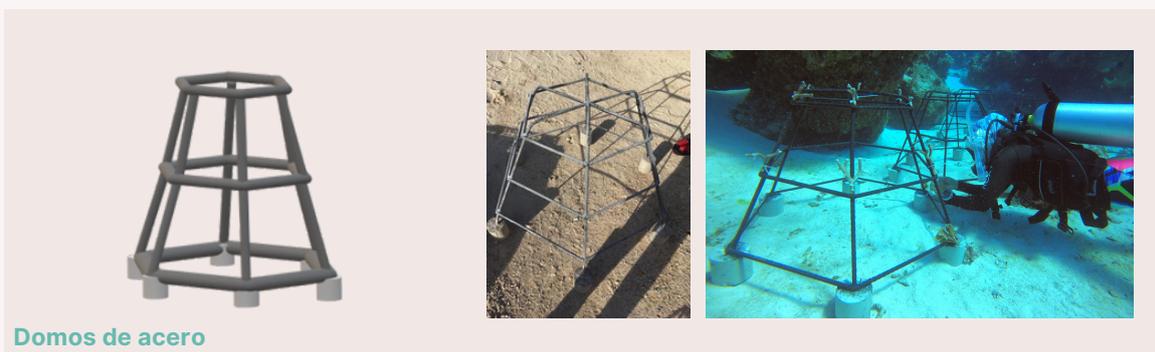
Número de fragmentos puede contener

Necesidad de mantenimiento de las estructuras

Tasa de crecimiento y trasplante de los fragmentos en el arrecife

Todas las estructuras del vivero que sean seleccionadas deberán cumplir con dos características claves: **ser de fácil instalación y que tanto su construcción como mantenimiento represente costos bajos**, esto con el fin de evitar dificultades que puedan mermar el esfuerzo de restauración.

En el programa de restauración de Wave of Change se diseñaron 3 tipos de estructuras fijas: plataformas de cemento, arañas y domos de acero. La construcción de estas fue con el apoyo del Departamento de Mantenimiento, dirección de áreas comunes de grupo Iberostar.



PASO 3 | INSTALACIÓN DE ESTRUCTURAS



Instalación del vivero de Manchoncitos, Riviera Maya

Para la instalación de las estructuras de los viveros se requiere que en coordinación de logística entre integrantes del componente científico, equipo de mantenimiento y de la acuática. Ya que en estas actividades deberán participar tanto buzos en el agua como personal de apoyo en tierra y en la embarcación.

Además de que contar con un alto número de integrantes facilita estas actividades, también promueve la **compartencia de conocimientos y aumenta la conciencia ambiental acerca de los sistemas arrecifales** entre un número mayor de personas de diferentes componentes (marineros, administrativos, instructores de buceo, personal de mantenimiento, etc.) que se hacen parte del proceso de protección y restauración de arrecifes.



Equipo de Wave of Change, Dressel Divers y depto. de mantenimiento de Iberostar Paraíso.

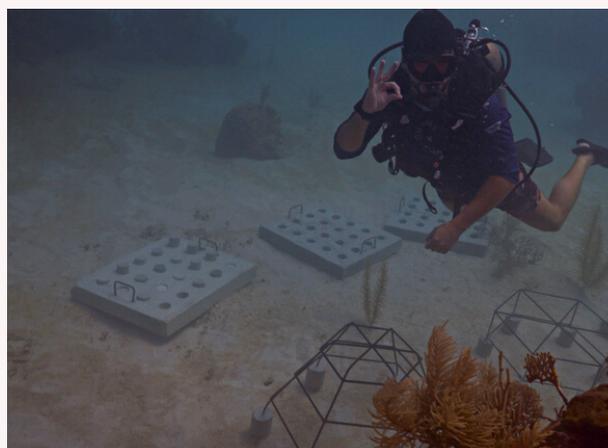
Las estructuras deben ser transportadas en la embarcación y arrojadas en el sitio elegido de instalación, para este proceso se puede utilizar cuerdas gruesas para controlar el hundimiento de las estructura.



Instalación de plataformas de cemento en Manchoncitos, Riviera Maya

Los buzos acompañarán el hundimiento de las estructuras y las acomodarán dejando un espacio favorable entre cada estructura con la finalidad de facilitar las actividades de mantenimiento (limpieza, distribución de los fragmentos, cuidado de la estructura) y monitoreo (mediciones, toma de fotografías).

Instaladas las estructuras deberán permanecer en aclimatación al menos dos semanas antes de iniciar a distribuir y fijar fragmentos en ellas.



Vivero de coral instalado en: A) La Francesita, Cozumel y B) Manchoncitos, Riviera Maya

PASO 4

4.1 | SELECCIÓN DE SITIOS DE COLECTA

Se deben seleccionar y localizar sitios fácilmente accesibles desde el vivero; que sean una fuente potencial de material de coral (Johnson *et al.*, 2011), y que cuenten con una alta densidad de colonias de las especies de interés. Se deben registrar las coordenadas de cada sitio para la colecta de los fragmentos de coral.



Colecta de fragmentos, Punta Maroma - Riviera Maya

Los factores que se deben tener en cuenta en el momento de seleccionar un sitio de donantes adecuado son:

**Poblaciones silvestres
existentes**

Proximidad al sitio del vivero

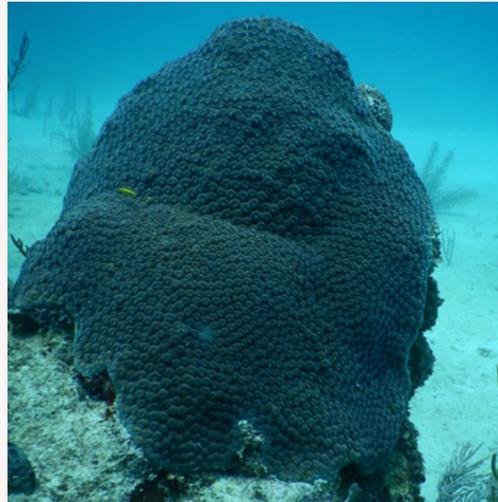
Número de sitios

Permisos

4.2 | SELECCIÓN Y ETIQUETADO DE COLONIAS DONANTES

Incorporar varias especies de coral, genotipos y formas de crecimiento con miras a reducir el riesgo de perder todos los corales durante eventos estresantes. Asimismo, se han incluido especies que muestran mayor resistencia a disturbios ambientales como *Montastraea cavernosa* y *Porites astreoides*.

Seleccionar colonias donantes que muestren robustez, coloración normal, visiblemente sanas, que permitan recolectar fragmentos con mayores posibilidades de supervivencia. Evitar colonias con signos de enfermedad, mortalidad parcial y/o reciente, blanqueamiento, y sin algún tipo de lesiones, señales de depredación y/o esponjas.



Colonia parental de *M. cavernosa*



Colonia de *M. cavernosa* etiquetada

Marcar cada una de las colonias donantes, instalando clavos con sus correspondientes **etiquetas de referencia** para poder reconocer y monitorear posteriormente estas colonias parentales

Tomar una fotografía de toda la colonia de arriba y de lado.

Registrar datos de profundidad, hora y ubicación de la colonia.



Colonia parental de *P. astreoides*

PASO 5 | COLECTA DE FRAGMENTOS

Métodos de Colecta

Fragmentos de oportunidad:

Desprendidos como producto de perturbaciones y con pocas posibilidades de sobrevivir (Arias-González *et al.*, 2015).



Fragmentos de oportunidad rescatados.

Colonias donantes:

Fragmentación de pequeñas porciones de colonias en hábitats de arrecifes naturales. Muestra menor al 10% del tamaño de la colonia.



Obtención de fragmentos de colonias donadoras

B. CONSIDERACIONES GENÉTICAS

Con el fin de favorecer la diversidad genética en los viveros, se deben tomar fragmentos de la mayor cantidad de colonias posible.

Genotipificación de los viveros

Se utiliza la herramienta genética *Single nucleotide polymorphisms (SNPs)*, para conocer los genotipos de los corales introducidos en los viveros.



Single nucleotide polymorphisms (SNPs).

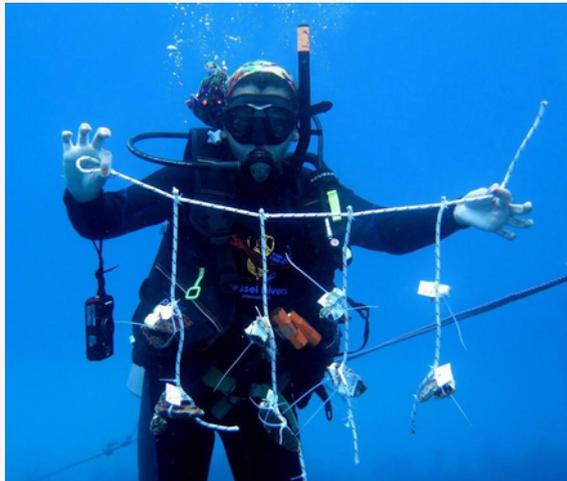
PASO 6 | TRANSPORTE DE FRAGMENTOS AL VIVERO

Fragmentos de oportunidad

Colocar las muestras en contenedores de plástico identificados con el número de la etiqueta de la colonia donante. Se deben llevar con agua colectada del mismo sitio donde se encuentran los fragmentos. Evitar mezclar las muestras diferentes.



Transporte de fragmentos de oportunidad



Transporte de colonias donantes lejos del vivero

Colonias donantes lejos del vivero

Se sujetan las muestras con cinchos, a una serie de cuerdas. Luego, se traslada a la embarcación y se sumerge en un bidón, amarrando los extremos de la cuerda al bidón para formar una U, evitando que toquen el fondo.

Colonias donantes en el mismo sitio

Los fragmentos son colocados dentro de una caja de plástico con divisiones, la cual es trasladada al sitio de instalación de los fragmentos.



Caja de plástico para transporte de colonias donantes en el mismo sitio

Consideraciones:

- El transporte a un vivero debe realizarse lo más rápido posible, para garantizar la máxima supervivencia de los fragmentos.
- Los fragmentos colectados deben mantenerse en agua durante el transporte para evitar el estrés por calor excesivo o la exposición al sol y manteniendo los corales a la sombra. En caso de que se requiera, realizar un cambio de agua para que la temperatura no supere el umbral de tolerancia de los corales.



Transporte de fragmentos en embarcación, Playa Paraíso

PASO 7 | ESTABLECIMIENTO DE FRAGMENTOS EN EL VIVERO

Una vez transportados, todos los fragmentos deberán ser establecidos en los viveros en las diferentes estructuras artificiales diseñadas (plataformas de cemento, arañas, domos de acero y arbolitos), para comenzar la **fase de estabilización** con las condiciones del sitio.

Los fragmentos deben colocarse a distancia adecuada para su crecimiento y para evitar estrés físico por abrasión. Además, de otros efectos que se pudieran generar al tener contacto entre sí como pérdida de tejido, fragmentación, blanqueamiento, entre otros.



Establecimiento de fragmentos en estructuras.

Los fragmentos pueden ser adheridos a las estructuras con hilo nylon transparente, cinchos de nylon o plastilina epóxica/pegamento epóxico para su aclimatación, limpieza, mantenimiento, monitoreo, crecimiento y/o reproducción.



Establecimiento de fragmentos con cinchos y con plastilina epóxica



Fragmentos de *M. cavernosa* establecidos en plataforma de vivero.

Consideraciones

- Realizar registro fotográfico de los fragmentos establecidos en cada estructura.
- Dependiendo de los objetivos, se puede determinar colocar los fragmentos colectados directamente sobre las estructuras arrecifales para estudiar la supervivencia de los mismos en esas condiciones, y si hay una diferencia respecto a los fragmentos colocados en las estructuras diseñadas.
- Una vez que los fragmentos alcancen un tamaño mayor a 30 cm, podrán ser trasplantados al arrecife que se desea restaurar.



Registro fotográfico de establecimiento de fragmentos.

PASO 8

8.1 | MANTENIMIENTO DEL VIVERO

El **mantenimiento periódico en los viveros es parte fundamental en el proceso de restauración activa**. Las actividades incluyen la limpieza de las estructuras y de los fragmentos para quitar sedimentos, así como para eliminar organismos incrustantes o competidores (algas filamentosas, macroalgas, cianobacterias, corales de fuego, esponjas, hidroides, tunicados, moluscos, entre otros).

También se realiza la reparación de estructuras y recolocación de los fragmentos de coral después de eventos de disturbio. Se incluye la refragmentación de colonias que alcancen un tamaño mayor para reorganizarlas sobre las estructuras.

Limpieza semanal del vivero

Estabilización o cambio de estructuras dañadas

Reordenamiento de los fragmentos de coral

Refragmentación de colonias



Limpieza de vivero



Refragmentación de colonias

8.2 | MONITOREO DEL VIVERO

Además de la limpieza de fragmentos y colonias deberá realizarse el monitoreo de estos. En el cual se midan su crecimiento y estado de salud.

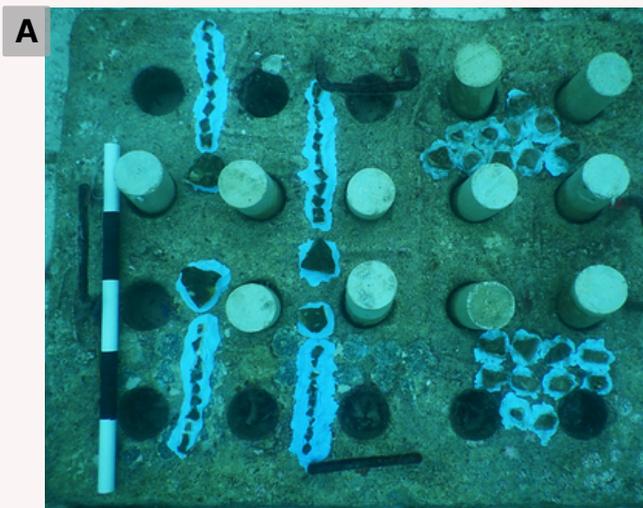
Para el monitoreo de la tasa de crecimiento de los fragmentos una forma práctica es a través de la comparación de fotos por medio de programas especializados (ImageJ).



Fragmentos de coral, Cozumel



Fragmentos medidos en Image J



A



B

A) Monitoreo del crecimiento de fragmentos.

B) Toma de temperatura y luminosidad en viveros, Playa Paraíso

Monitorear



La tasa de crecimiento

La salud de los corales

El tamaño de las colonias

El sobrecrecimiento de organismos competidores o depredación

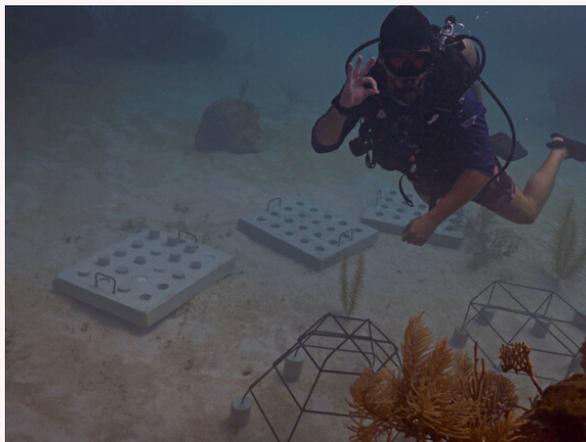
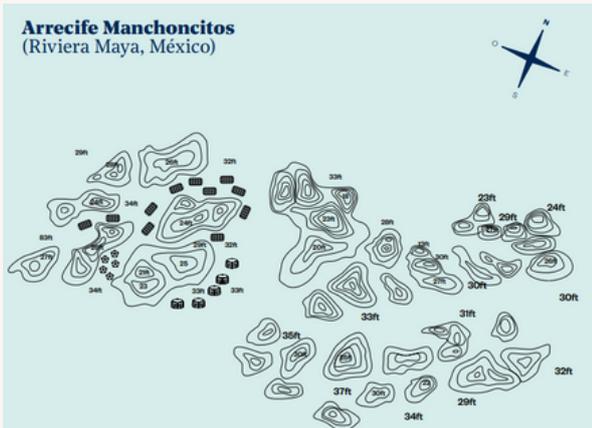
Variables ambientales

Temperatura, Luz solar, Nutrientes en el agua

PROGRAMA DE RESTAURACIÓN DE WAVE OF CHANGE EN MÉXICO

En el 2019 se pusieron en marcha esfuerzos de restauración enfocados en 2 sitios del Caribe Mexicano

Arrecife Manchoncitos

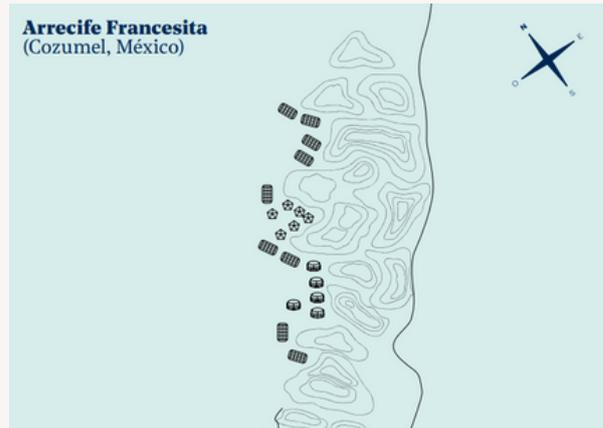


PARAÍSO, RIVIERA MAYA

- Instalación de estructuras en Junio 2020
- 10 a 14 m de profundidad
- 24 estructuras
- Dentro de la Reserva de la Biósfera del Caribe Mexicano (RBCM)

Primer esfuerzo en México, sin embargo el paso del huracán Grace significó la pérdida de estructuras restando únicamente 8 plataformas.

Arrecife La Francesita



COZUMEL

- Instalación de estructuras en Septiembre 2020
- 7 a 9 m de profundidad
- 20 estructuras
- Dentro del Parque Nacional Arrecifes de Cozumel (PNAC)

Inicio con los esfuerzos de rescate de fragmentos después del paso del huracán Cristóbal.



Vivero de La Francesita, Cozumel

En ambos sitios son utilizados tanto fragmentos de oportunidad como de colonias donantes seleccionados, dando por resultado la utilización de estas especies:



- Acropora palmata*
- Acropora cervicornis*
- Montastrea cavernosa*
- Orbicella faveolata*
- Orbicella annularis*
- Orbicella franksi*
- Porites astreoides*
- Porites porites*
- Agaricia spp.*
- Diploria labyrinthiformis*
- Isophyllia sinuosa*
- Pseudodiploria strigosa*
- Dichocoenia stokesii*
- Colpophyllia natans*

LITERATURA CITADA

- Alvarez-Filip, L., Estrada-Saldívar, N., Pérez-Cervantes, E., Molina-Hernández, A., y González-Barrios, F. (2019). A rapid spread of the stony tissue loss disease outbreak in the Mexican Caribbean. PeerJ. DOI 10.7717/peerj.8069
- Bayraktarov, E., Banaszak, A., Montoya, P., Kleypas, J., Arias-González, J., Blanco, M., Calle-Triviño, J., Charuvi, N., et al. (2020). Coral reef restoration efforts in Latin American countries and territories. Plos One. DOI: <https://doi.org/10.1101/2020.02.16.950998>
- Calle-Triviño, J., Rivera-Madrid, R., León-Pech, M., Córtes-Useche, C., Sellares-Blasco, R., Aguilar-Espinosa, M., y Arias-González, J. (2020). Assessing and genotyping threatened staghorn coral *Acropora cervicornis* nurseries during restoration in southern Dominican Republic. PeerJ. DOI: 10.7717/peerj.8863
- Georgen, E., y Gilliam, D. (2018). Outplanting technique, host genotype, and site affect the initial success of outplanted *Acropora cervicornis*. PeerJ. DOI: 10.7717/peerj.4433
- Gil-Agudelo, D., Cintra-Buenrostro, C., Brenner, J., González-Díaz, P., Kiene, W., Lusic, C., y Pérez-España, H. (2020). Coral Reefs in the Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem: Conservation Status, Challenges, and Opportunities. *Front. Mar. Sci.* 6: 807. DOI: 10.3389/fmars.2019.00807
- Johnson, M., Lusic, C., Bartels, E., Baums, I., Gilliam, D., Larson, L., Lirman, D., Miller, M., Nedimyer, K., Schopmeyer, S. (2011). *Caribbean Acropora Restoration Guide: Best Practices for Propagation and Population Enhancement*. The Nature Conservancy, Arlington, VA.
- Koval, G., Rivas, N., D'Alessandro, M., Hesley, D., Santos, R., y Lirman, D. (2020). Fish predation hinders the success of coral restoration efforts using fragmented massive corals. PeerJ 8. DOI: e9978 <https://doi.org/10.7717/peerj.9978>
- Ladd, M., Burkepile, D., y Shantz, A. (2019). Near-term impacts of coral restoration on target species, coral reef community structure, and ecological processes. *Restoration Ecology* 27 (5). 1166-1176. DOI: 10.1111/rec.12939
- Page, C., Muller, E., y Vaughan, D. (2018). Microfragmenting for the successful restoration of slow growing massive corals. *Ecological Engineering* 123. 86-94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.08.017>

- Perera-Valderrama, S., Hernández-Arana, H., Ruiz-Zarate, M., Acolcado, P., Caballero-Aragón, H., González-Cano, J., y Cobián-Rojas, D. (2016). Condition assessment of coral reefs of two marine protected areas under different regimes of use in the north-western Caribbean. *Ocean and Coastal Management* 127. 16-25. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.04.001>
- Rioja-Nieto, R., Garza-Pérez R., Álvarez-Filip, L., Mariño-Tapia, I., y Enríquez, C. (2019). The Mexican Caribbean: From: Xcalak to Holbox. En C. Sheppard (Ed.) *World Seas: An Environmental Evaluation* (pp. 637-653). DOI:10.1016/b978-0-12-805068-2.00033-4
- Schmidt-Roach, S., Duarte, C., Hauser, C., y Aranda, M. (2020). Beyond Reef Restoration: Next-Generation Techniques for Coral Gardening, Landscaping and Outreach. *Frontier in Marine Science* 7:672. DOI: 10.3389/fmars.2020.00672
- Suchley, A., y Álvarez-Filip, L. (2018). Local human activities limit marine protection efficacy on Caribbean coral reefs. *Conservation Letters*. 1-9. DOI: 10.1111/conl.12571
- Morillo-Velarde, P. S., Briones-Fourzán, P., Álvarez-Filip, L., Aguíñiga-García, S., Sánchez-González, A. & Lozano-Álvarez, E. (2018). Habitat degradation alters trophic pathways but not food chain length on shallow Caribbean coral reefs. *Scientific reports*, 8(1), 1-12. DOI:10.1038/s41598-018-22463-x
- Young, C., Schopmeyer, S., 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. DOI: <https://doi.org/10.5343/bms.2011.1143>



IBEROSTAR
GROUP