



Desarrollo de un mecanismo financiero innovador para la conservación de
ARRECIFES DE CORAL
en República Dominicana
*Fondo Regional para la Cooperación Triangular
en América Latina y el Caribe*

PILOTO DE JARDINERÍA DE CORALES EN BAHÍA CULEBRA, GUANACASTE, COSTA RICA.



**PENINSULA
PAPAGAYO**
COSTA RICA



Publicado por

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Domicilios de la empresa
Bonn y Eschborn, Alemania

Fondo Regional para la Cooperación Triangular en América Latina y el Caribe:
Desarrollo de un mecanismo financiero innovador para la conservación de arrecifes de coral en República Dominicana

Agencia San José, Costa Rica.
Tel. + 506 2520 1535
Fax + 506 (0)00 123 456 789
www.giz.de

Versión
Febrero de 2020

Elaborado por: José Andrés Marín Moraga.

Equipo de trabajo: Tatiana Villalobos, Sonia Fabregat e Malé, Adriana Arce y Juan José Alvarado.

Fotografía de portada: Diego Mejías.

Responsables de la publicación
Svenja Paulino
Mauricio Solano
Cooperación alemana para el desarrollo, GIZ.

La GIZ es responsable del contenido de la presente publicación.

Por encargo del
Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ).

Contenido

1. Introducción 4
2. Elaboración del Protocolo para la Restauración de Arrecifes y Comunidades Coralinas de Costa Rica (PRACCR) 6
3. Etapa I Teórica-práctica: Taller de restauración arrecifes coralinos, Pacífico Norte, Guanacaste 7
 - Objetivo general 7
 - Metodología y desarrollo del taller 8
 - Actividades 9
 - Conclusiones 10
4. Etapa II Práctica: Instalación de estructuras y colocación de fragmentos de coral en la mismas 13
 - Objetivo general 13
 - Actividades programadas 14
 - Desarrollo de las actividades 15
 - Trabajo de campo 15
 - Instalación de viveros subacuáticos en Jícara 16
 - Colecta y fragmentación 19
 - Conclusiones 25
5. Etapa III. Monitoreo e implementación exitosa de un piloto de jardinería de corales en el sector de Bahía Culebra 25
 - Objetivo general 25
 - Mantenimiento y monitoreo 26
 - Análisis de crecimiento 27
 - Sobrevivencia y Crecimiento 28
6. Apreciaciones generales y pasos a seguir 36
7. Agradecimientos 37
8. Referencias 38
9. Anexos 42

1. Introducción

A pesar de su gran importancia ecosistémica, las comunidades coralinas hoy en día se encuentran en un estado de amenaza constante debido a una serie de factores negativos, entre ellos, uno especialmente destructivo: el incremento prolongado de la temperatura superficial del océano. Dicho aumento en la temperatura desestabiliza la asociación simbiótica del pólipo y su alga huésped la zooxantela, hasta el punto en que el hospedero expulsa el alga simbionte (Nielsen et al. 2018). Este proceso es comúnmente conocido como “blanqueamiento coralino” un estado fisiológico que implica el debilitamiento general del organismo, y que muchas veces deriva en la muerte de la colonia (Baird et al. 2009). La acidificación oceánica (Hoegh-Guldberg et al. 2007), la contaminación, el incremento en la sedimentación, la sobrepesca son también factores que ponen en riesgo la integridad de estos ecosistemas (Fabricius 2005). En las zonas tropicales se reportan pérdidas del 20% de los arrecifes coralinos, y se proyecta que cerca del 75% se encuentra en grave peligro de desaparecer (Wilkinson 2008).

Costa Rica no está exenta de esta tendencia global. Recientemente se informa de una fuerte degradación en varios arrecifes del Pacífico norte costarricense (Alvarado et al. 2018). Bahía Culebra presenta una disminución alarmante en la cobertura de coral vivo de 80%-50% en los años 1990 a 1-4% en el 2012 (Sánchez-Noguera, 2012; Alvarado et al. 2018). Este detrimento en la cobertura coralina se debe a la acción crónica de fenómenos como El Niño, la eutroficación de las aguas, la proliferación del alga invasora *Caulerpa sertularioides*, entre otros (Alvarado et al., 2018).

Una vez que un arrecife ha sufrido un episodio de mortalidad significativo, la recuperación por procesos naturales de reclutamiento puede tardar años e incluso décadas (Hongo & Kayanne 2011). Actualmente, la comunidad científica se ha visto en la necesidad de desarrollar técnicas que aceleren este proceso de recuperación, fomentando el crecimiento de los corales y en consecuencia

la recuperación de los arrecifes que estos construyen (Johnson et al., 2011). Una de las técnicas más utilizadas en la actualidad son los “jardines o viveros de coral”. Esta técnica derivada de la selvicultura en tierra (Epstein et al., 2003), aprovecha el carácter asexual de los corales, al producir una gran cantidad de fragmentos o propágulos, los cuales, después de alcanzar una talla adecuada son trasplantados al arrecife degradado con el fin de incrementar el porcentaje de cobertura coralina, aumentando así las posibilidades de recuperación del ecosistema (Young et al., 2012).

Es por esto que en el marco de la implementación del proyecto “Desarrollo de un mecanismo financiero innovador para la conservación de arrecifes de coral en República Dominicana”, y bajo la consigna de capacitar a los actores locales implicados en el establecimiento de un piloto de jardinería de corales en Bahía Culebra, es que se ejecuta los días 23-24 de agosto y 23-24 de septiembre del 2019 (Fig. 1.) la Capacitación de Restauración de Arrecifes Coralinos, Pacífico Norte, Guanacaste.

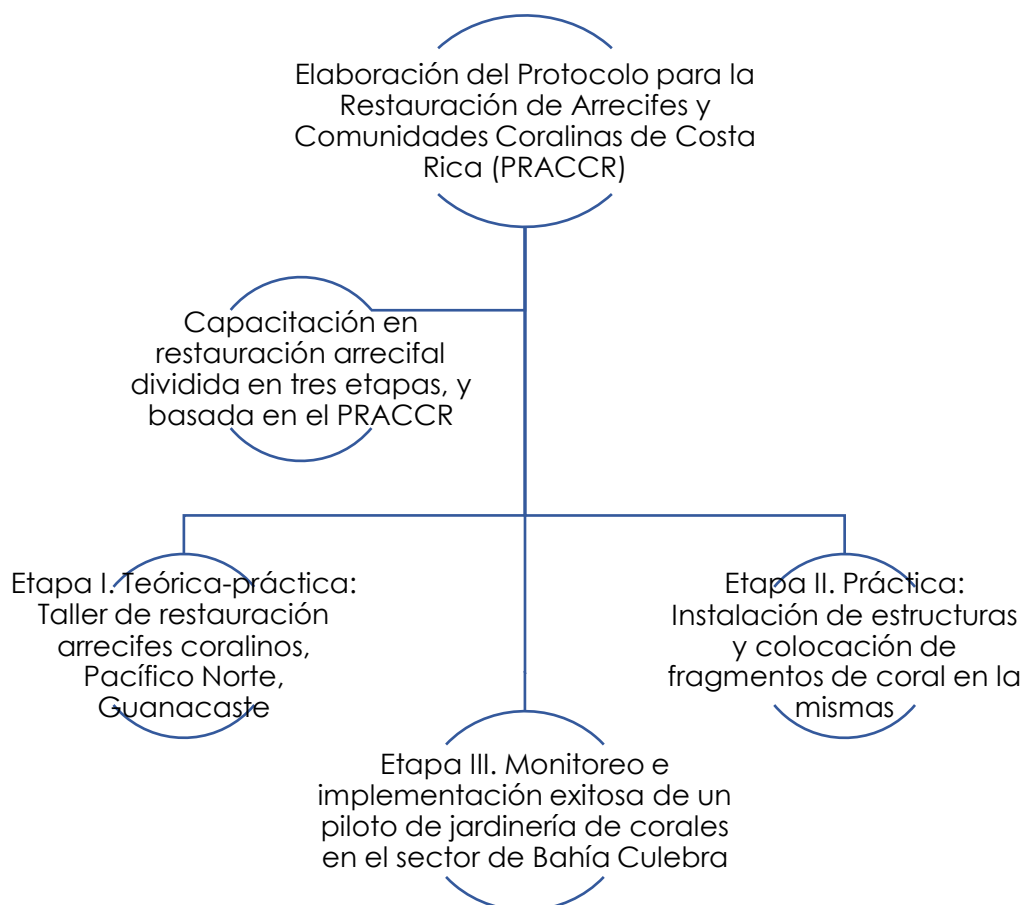


Figura 1. Esquema del desarrollo de la capacitación en restauración de arrecifes coralinos para Guanacaste, Costa Rica.

2. Elaboración del Protocolo para la Restauración de Arrecifes y Comunidades Coralinas de Costa Rica (PRACCR)

Con el fin de elaborar el PRCCR, se realizó una revisión de la información pertinente en materia de restauración coralina, tanto a nivel nacional como internacional. Una vez estuvo preparado el documento preliminar, se realizó una presentación del mismo el 20 de junio en el Parque Marino del Pacífico ante agentes de distintas instituciones implicadas en el que hacer de la conservación,

el adecuado manejo, y la restauración de los ecosistemas arrecifales a nivel nacional, entre ellas: La Universidad de Costa Rica (UCR), el Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), la Universidad Nacional (UNA), el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) y el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), entre otros. En dicha reunión se fijaron las fechas y los lineamientos a seguir con tal de generar un protocolo acorde a las necesidades nacionales.

Fecha	Actividad
20 de junio	Presentación del protocolo (preliminar)
12 de julio	Entrega del primer borrador del protocolo
26 de julio	Recepción de observaciones y correcciones por parte de los revisores. A partir de este insumo se generaría el segundo borrador
19 de agosto	Entrega del segundo borrador del protocolo
Fecha pendiente	Oficialización del protocolo

3. Etapa I Teórica-práctica: Taller de restauración arrecifes coralinos, Pacífico Norte, Guanacaste

Objetivo general

Promover la ciencia de la restauración arrecifal, a través de una experiencia educativa de carácter participativo, cuyo eje medular se basó en dar a conocer estrategias de adaptación y restauración en respuesta a la degradación del hábitat coralino, producto de fenómenos disruptivos de origen natural o generados directa o indirectamente por el ser humano. Los participantes se

vieron beneficiados al estar expuestos a una amplia gama de información científica, obtenida tanto a través del estudio profundo del tema, así como de la experiencia en campo de los expositores. Todo esto en función de la restauración de los arrecifes.

Metodología y desarrollo del taller

Para cumplir el objetivo antes mencionado se impartieron una serie de charlas participativas a personas vinculadas con alguna de las organizaciones involucradas en el desarrollo del proyecto.

Lista de participantes de los talleres impartidos como parte de la capacitación en restauración coralina.

Día 1: viernes 23 agosto		
Cédula	Nombre	Afiliación
5-354-170	Jackson Rodríguez M	Papagayo Explorers Club (PEC)
7-161-621	Oscar Rosales Baltodano	Papagayo Explorers Club (PEC)
125000158602	Lisa De Langerhagen	Scuba Caribe
5-336-0055	Juan Carlos Fonseca	Scuba Caribe
172400024208	Miguel Sánchez	Papagayo Explorers Club (PEC)
5336235	Rolbín García Méndez	Blue Dream Diving
109940408	Mónica Gutiérrez	Península de Papagayo
206810891	Tatiana Villalobos	Raising Coral Costa Rica
PAE497069	Sonia Fabregat	CIMAR
113780238	José Andrés Marín Moraga	Raising Coral Costa Rica
105070059	Giovanni Basse	Península de Papagayo
1893703	Mauricio Méndez	SINAC-ACT
Día 2: sábado 24 agosto		
Cédula	Nombre	Afiliación
5-354-710	Jackson Rodríguez M	Papagayo Explorers Club (PEC)
7-161-621	Oscar Rosales Baltodano	Papagayo Explorers Club (PEC)

125000158602	Lisa De Langerhagen	Scuba Caribe
5-336-0055	Juan Carlos Fonseca	Scuba Caribe
172400024208	Miguel Sánchez	Papagayo Explorers Club (PEC)
109940408	Mónica Gutiérrez	Península de Papagayo
206810891	Tatiana Villalobos	Raising Coral Costa Rica
PAE497069	Sonia Fabregat	CIMAR
113780238	José Andrés Marín Moraga	Raising Coral Costa Rica

Actividades

Los temas expuestos fueron seleccionados con base en el Protocolo para la Restauración de Arrecifes y Comunidades Coralinas de Costa Rica (documento en preparación). Se abordó una gran gama de temas desde conceptos básicos como lo que es un coral, hasta como se podría restaurar un arrecife coralino. Las organizaciones involucradas en el taller fueron: Raising Coral Costa Rica (RCCR), la Agencia de Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ), Península Papagayo, el Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad de Costa Rica (CIMAR-UCR), el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), Scuba Caribe y Blue Dream Diving. Las actividades se desarrollaron en las oficinas de INCOPESCA en playas del Coco, Guanacaste los días 23 y 24 de agosto de acuerdo con el siguiente cronograma:

Día 1 viernes 23 de agosto

Hora	Actividad	Encargado(a)
9:00	Bienvenida/Presentación del equipo	RCCR/UCR
9:10	Involucramiento del sector privado	Mauricio Méndez /Mónica Gutiérrez
9:30	Desayuno	
9:45	Corales y Arrecifes (Generalidades básicas)	Sonia Fabregat
10:00	Arrecifes de Costa Rica	Juan José Alvarado (video presentación)
10:30	Estado actual	Juan José Alvarado (video presentación)

11:00	Implicaciones y posibles soluciones	Tatiana Villalobos
11:30	Restauración vs Conservación/ Los 4 Principios de la restauración	José Andrés Marín
12:00	Almuerzo	
1:30	Restauración arrecifal	José Andrés Marín
2:00	Expectativa vs Realidad	Tatiana Villalobos
2:30	Casos de estudio (Republica Dominicana/Golfo Dulce)	Tatiana Villalobos
3:00	Resumen, preguntas, comentarios.	RCCR
3:30	Cierre del Día 1, comentando lo que se espera para el Día 2	RCCR

Día 2 sábado 24 de agosto

Hora	Actividad	Encargado(a)
8:30	Desayuno	
9:00	Técnicas y sitios de restauración	José Andrés Marín
9:30	Viveros <i>in situ</i> (mantenimiento y monitoreo)	José Andrés Marín
10:00	Fragmentación (especies, colonias donantes)	Tatiana Villalobos
10:30	Trasplante coralino	Tatiana Villalobos
11:00	Demostración de técnicas y equipos. Por ejemplo, una simulación de lo que sería fragmentar con la sierra	RCCR/UCR
12:10	Cierre del Taller	RCCR

Conclusiones

Se logró abarcar la totalidad de los temas según lo previsto. La interacción entre los instructores y los participantes fue fluida, dinámica, y respetuosa. Esto permitió un intercambio de información bidireccional, en el que no solo los participantes se vieron beneficiados por la información brindada, sino que también los capacitadores recibieron información valiosa de parte de los actores locales. Este hecho se ve reflejado en los siguientes puntos:

- Se deben realizar dos reuniones adicionales para abordar específicamente el tema del turismo en relación con el proyecto y el tema del laboratorio húmedo en tierra (reproducción sexual de corales).

- Se discutió más afondo el tema del alga invasora *Caulerpa sertularioides* y de lo importante que es la aspiradora subacuática para poder disminuir su densidad.
- Se discutieron formas creativas de involucrar a la comunidad como la fabricación de los discos de cerámica a partir de barro cocido trabajado por un grupo local.
- Se discutieron varias ideas con relación a la señalización o no de los viveros de coral. Queda pendiente finiquitar este tema en la segunda parte de la capacitación.
- Se da por entendido que la zona de Bahía Culebra es muy diferente al Golfo Dulce, por lo tanto, un periodo de prueba (piloto 6 meses mínimo) es totalmente indispensable.
- Durante el tiempo en el que se realice el piloto es necesario lanzar una campaña de sensibilización que fomenta la apropiación del proyecto por parte los habitantes locales. Todas las partes involucradas coinciden en que la educación es la herramienta más potente para lograr este cometido. Se le deben impartir charlas al sector pesquero, turístico y a las escuelas y colegios.
- Una vez se instalen los viveros es necesario establecer una hoja de ruta (reglas del juego) entre todos los actores y posibles usuarios de los sitios en donde estarán ubicados los viveros.



Figura 2. Participantes del taller presentes en la charla “Arrecifes de Costa Rica” a cargo de Juan José Alvarado.



Figura 3. Demostración del uso de la cierra de diamante en el corto de fragmentos de coral del tipo masivo.



Figura 4. Demostración de cómo se fabrica e instala un árbol de coral.

4. Etapa II Práctica: Instalación de estructuras y colocación de fragmentos de coral en la mismas

Objetivo general

Instalar varios viveros de coral totalmente funcionales. Dichos viveros serán poblados con fragmentos de varias especies de coral de la zona, tanto ramificados como masivos. Para lograr este objetivo fue necesario aplicar la teoría facilitada en la 1ª parte de la capacitación (23-24 de agosto). Los participantes fueron instruidos en el que hacer técnico de la restauración, por lo que se esperaba que adquirieran habilidades prácticas que les permitieron colocar un vivero subacuático, monitorear los fragmentos de coral que ellos mismos establecieron.

Actividades programadas

Día 1 lunes 23 de septiembre

Hora	Actividad	Encargado
8:00	Bienvenida	RCCR/UCR
8:10	Repaso de conceptos básicos, y explicación del plan de trabajo específico	RCCR/UCR
9:00	1. Salida de la marina 2. Instalación de viveros en Jícaro 3. Fragmentación en Mata Palo 4. Fragmentación en Güiri-Güiri (Viradores)	RCCR/UCR
-		
-		
-		
12:00	Almuerzo	
1:00	5. Colocación de los fragmentos (viveros Jícaro) 6. Simulacro de limpieza y mantenimiento 7. Medición y monitoreo	RCCR/UCR
-		
-		
-		
4:00	Regreso a la Marina. Cierre del día 1	

Día 2 martes 24 de septiembre

Hora	Actividad	Encargado
8:00	1. Repaso del plan/salida de la marina 2. Recolección de los fragmentos masivos 3. Regreso a la Marina 4. Fragmentación de corales masivos	RCCR/UCR
-		
-		
-		
-		
12:00 Almuerzo		
1:00	4.1. Fragmentación de corales masivos	RCCR/UCR
3:00	5. Colocación de los fragmentos en los viveros	
4:00	Cierre del día 2/Conclusiones/Preguntas	

Desarrollo de las actividades

Durante la mañana del día 1 se realizó una charla resumiendo lo visto en el taller anterior, y se explicó el plan de trabajo de campo a desarrollarse ese día.

Lista de los presentes en la charla:

Cédula	Nombre	Afiliación
5-354-170	Jackson Rodríguez M	Papagayo Explorers Club (PEC)
504130820	Alex Álvarez	Marina Papagayo
603480684	Mario Várelo	Scuba Caribe
5-336-0055	Juan Carlos Fonseca	Scuba Caribe
172400024208	Miguel Sánchez	Papagayo Explorers Club (PEC)
5336235	Rolbín García Méndez	Blue Dream Diving
109940408	Mónica Gutiérrez	Península de Papagayo
206810891	Tatiana Villalobos	Raising Coral Costa Rica
PAE497069	Sonia Fabrega	CIMAR
113780238	José Andrés Marín Moraga	Raising Coral Costa Rica
6-03000868	Ronald Valverde	Papagayo Explorer's Club (PEC)
1893703	Mauricio Méndez	SINAC-ACT
4-134-883	Carlos Marengo	Marina Papagayo
2-0632-0613	Ersel Aguilar	Papagayo Explorer's Club (PEC)
503960819	Julio Rodríguez	Scuba Caribe
111200810	Mauricio Solano	Agencia Cooperación Alemana (GIZ)
109870690	Diego Mejías	Fotógrafo independiente
- - - - -	Franklin Maxino	Marina Papagayo
7-235-190	Carlos Díaz	Marina Papagayo

Trabajo de campo

Se realizó una serie de buceos en varios sitios preseleccionados por los capacitadores. Durante el día 1 de taller, en la primera inmersión se instalaron en Jícaro (Fig. 5) dos viveros de coral tipo árbol y uno tipo tendedero. Seguidamente el grupo se separó en dos. Cada grupo se dirigió a una localidad distinta. El grupo

1 emprendió rumbo hacia Bahía Viradores (arrecife conocido como Güiri-Güiri), mientras que el grupo 2 se dirigió a Matapalo en Punta Gorda. Una vez preparados los fragmentos, ambos grupos regresaron a Jícaro en donde colocaron los fragmentos en los viveros. El día 2 del taller, se instalaron dos módulos de fragmentación en la Marina Papagayo. Similar al día anterior, el grupo de trabajo fue dividido en dos subgrupos. Cada grupo generó alrededor de 70 fragmentos de coral, los cuales fueron colocados en el vivero tipo árbol #2

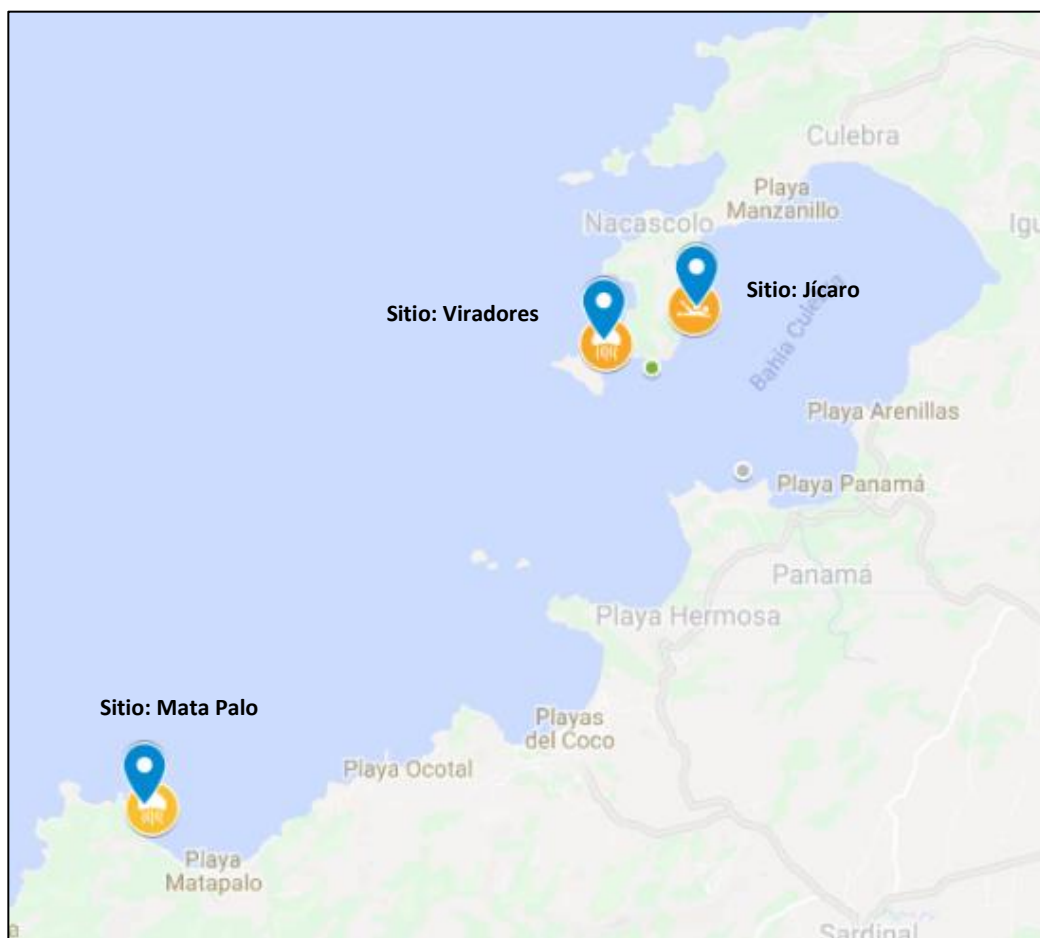


Figura 5. Mapa de Bahía Culebra mostrando los tres sitios de trabajo.

Instalación de viveros subacuáticos en Jícaro

Según lo establece el Protocolo Nacional de Restauración (en preparación), los principales factores para la escogencia del sitio fueron la accesibilidad, cercanía a un arrecife, tipo de fondo marino, y calidad del agua, y la debida aprobación previa de las organizaciones involucradas.

Se eligió un punto a 12 m de profundidad, ubicado a 160 m de la costa de Playa Jícaro para cumplir todos los criterios previamente mencionados. Además, el sitio está localizado cerca de la Marina Papagayo, cuyo personal apoya el proyecto en varias actividades de carácter logístico; vigila y da mantenimiento a los viveros.

Se instalaron tres viveros subacuáticos. El primero es una estructura de cuerdas (Fig. 6), semejante a un “tendedero” fabricado con tres tubos de PVC distanciados cinco metros el uno del otro y unidos por varias cuerdas trenzadas de polipropileno; mientras que las otras dos estructuras semejan un “árbol”, compuesto por un eje central (Tubo de PVC) de 1.60 m, con agujeros de 31 mm cuyo fin es la inserción de 6 barras de fibra de vidrio de aproximadamente 1.20 cm de largo. Dichas barras están perforadas con el fin de colocar en ellas líneas de monofilamento (130-lb), donde se suspenderán los fragmentos de coral. Las estructuras fueron suspendidas en medio de la columna de agua (a cinco metros de profundidad), sujetas al fondo con cuerdas de polipropileno atadas a un (o varias en el caso del tendedero) ancla de 503 Kg de capacidad, para luego en el tope de la estructura colocar 2 boyas posicionadas a dos metros debajo de la superficie en bajamar (Fig. 7). Los viveros se colocaron una distancia de cinco metros el uno del otro, para eventualmente delimitar el área mediante un perímetro comprendido por cuatro boyasparcialmente sumergidas (Fig. 8). Cada una de estas boyas esta señalizada para prevenir accidentes con botes, y para disuadir a posibles curiosos, dado la naturaleza experimental del proyecto (Fig. 9).

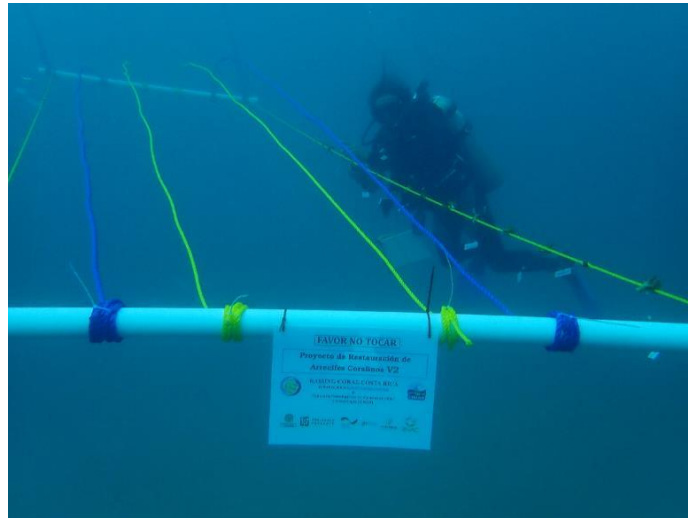


Figura 6. Vivero subacuático tipo tendedero.



Figura 7. Vivero subacuático tipo árbol.

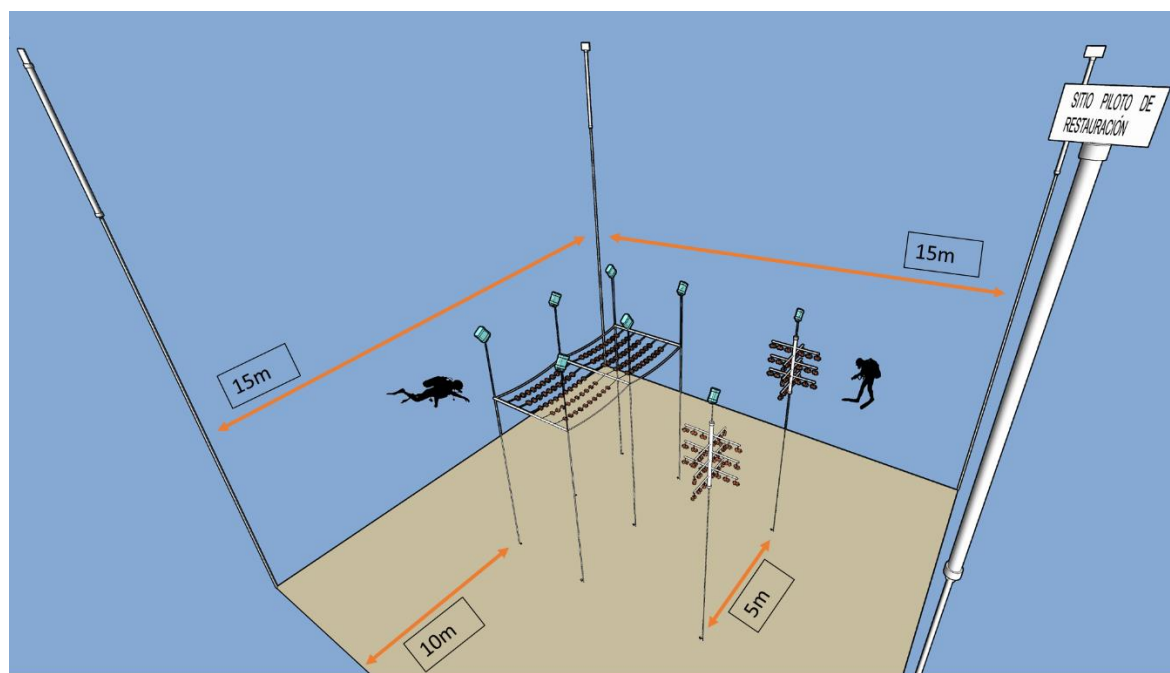


Figura 8. Esquema del área de restauración, cuyo perímetro es delimitado por cuatro boyas.

Colecta y fragmentación

Una vez colocados los viveros, un grupo de participantes se dirigió a Viradores (10.613930 N, -85.690199 O), mientras que el otro grupo emprendió rumbo hacia Matapalo (10.5396278 N, -85.7645888 O). Ambos grupos extrajeron fragmentos directamente de colonias donantes, así como también fragmentos de oportunidad cuando fue posible, tanto de *Pavona gigantea* como de *Pocillopora spp.*

Las colonias donantes fueron seleccionadas de acuerdo a su estado de salud general (síntomas de enfermedad o blanqueamiento). En el caso de los Pocilopóridos se tomaron cinco fragmentos de cinco colonias donantes, para un total de 25 fragmentos por sitio. Cabe destacar que esta técnica de recolección permite minimizar al máximo el estrés a la colonia, aumentando las posibilidades de coleccionar distintos genotipos (Baums et al. 2019). Además, se tomaron “fragmentos de oportunidad”, que suelen encontrarse en la base de

las colonias, y se han desprendido, ya sea por causas naturales, como la depredación o por daño mecánico producto de anclas. En cuanto a los corales masivos del género *Pavona*, se tomaron fragmentos no mayores al 10% de cada colonia (Edward & Gomez 2007). Por último, se tomaron las coordenadas de los sitios. Cada una de las colonias donantes fue marcada con una etiqueta (Fig. 10).



Figura 9. Boyas colocadas para delimitar el sitio donde se encuentran los viveros de coral.



Figura 10. Colonias marcadas de *Pocillopora* spp. (izquierda) y *P. gigantea* (derecha).

Finalizada la recolecta, en el bote, se colocó una etiqueta a cada uno de los fragmentos de *Pocillopora* para poder rastrear su origen (Fig. 11). Después, estos fueron trasladados a los viveros, en una hielera con agua marina y aireación. En el caso de Mata Palo, este proceso se llevó acabo de manera análoga (10.54027 N, -85.76578 O).



Figura 11. Fragmento de *Pocillopora* spp. etiquetado y colocado en el árbol.

Una vez reunido el grupo de trabajo, los 51 fragmentos de *Pocillopora* spp. generados fueron suspendidos una parte en el vivero tipo árbol por medio de monofilamento, y otra parte colocados en el tendedero (Fig. 12). En el caso de los fragmentos de *Pavona*, fueron colocados en los viveros de manera provisional, para ser microfragmentados a día siguiente.

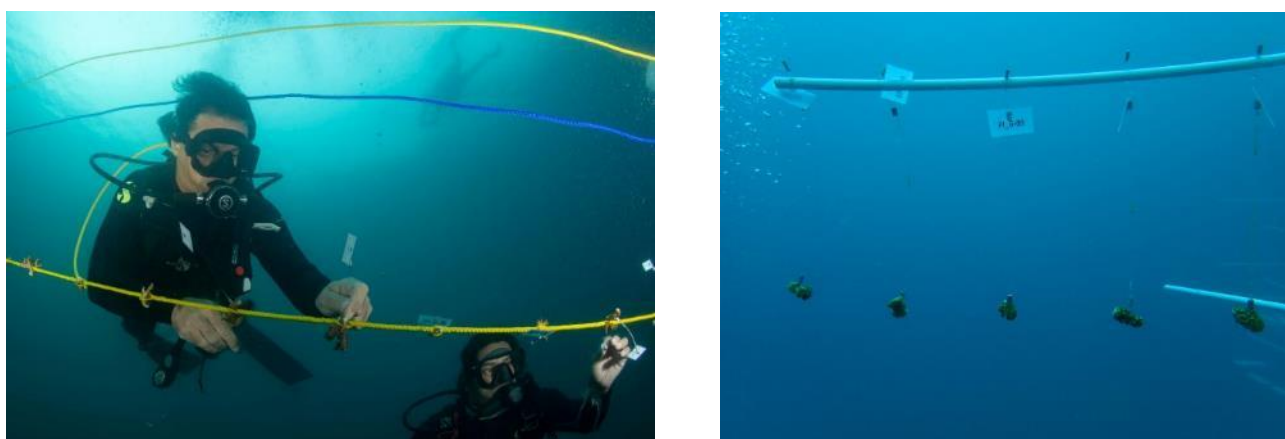


Figura 12. Fragmentos de *Pocillopora* colocados en los viveros tipo tendedero (izquierda) y tipo árbol (derecha).

En el segundo día de taller, los fragmentos de *Pavona* fueron traídos de los viveros hasta el mulle “D” de la Marina Papagayo, donde se procedió con el proceso de microfragmentación, el cual consiste en generar pequeños fragmentos de entre 1.0-2.0 cm de diámetro, utilizando una sierra de hoja de diamante (Gryphon Aquasaw).

Los fragmentos fueron adheridos usando pegamento de alta densidad a platos de cerámica de tres centímetros de diámetro, llamados “hongos”. Se irrigaron y su tejido fue limpiado de mucus y restos de carbonato de calcio producto de la fragmentación. Por último, los hongos fueron colocados en rejillas, con los corales orientados hacia arriba, de tal forma que la luz incidiera perpendicularmente sobre ellos, maximizando la cantidad de luz disponible. Las catorce bandejas con

un aproximado de entre 10-12 fragmentos (139 fragmentos en total) fueron suspendidas en el vivero, utilizando monofilamento (Fig. 13).

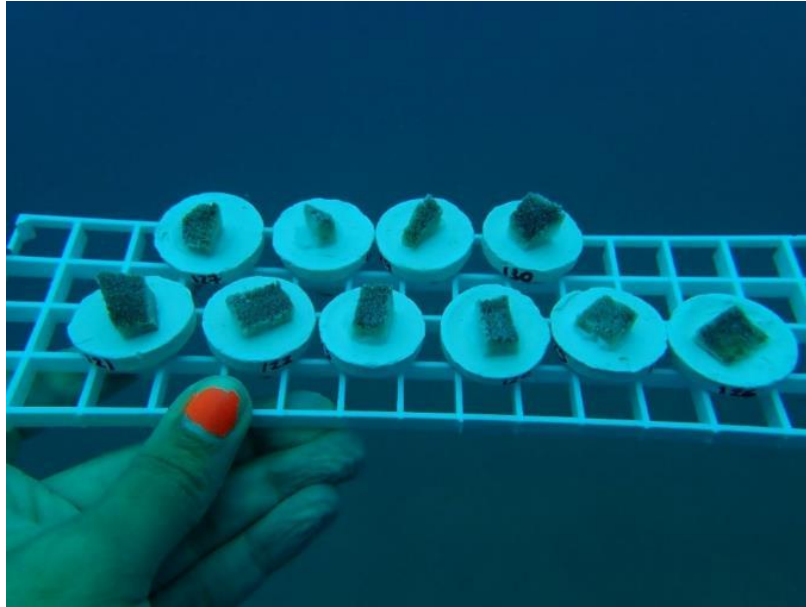


Figura 13. Rejilla compuesta por hongos de *P.gigantea*.

Luego de colocados los fragmentos en las estructuras respectivas, se fotografiaron los corales masivos, para calcular el área (en cm²) de cada fragmento. A cada fragmento de *Pocillopora*, se le tomaron dos mediciones: largo y ancho (perpendicular al largo) con la ayuda de un vernier (± 0.05 mm) (Fig. 14). Todas las mediciones fueron anotadas y procesadas en una hoja de Excel (Cuadro 1).



Figura 14. Fragmentos de *Pocillopora* siendo medido con vernier plástico.

Cuadro 1. Información recopilada y procesada en hojas de cálculo de Excel para cada fragmento

Código de fragmento	Especie	Sitio	Vivero	Rama	Fecha de fragmentación	Fecha de medición	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área de la corona $AC=LC \times AC \times \pi/4$
PL-G-11	<i>Pocillopora</i> spp.	Guiri	v1	r1	23/9/2019	1/11/2019	2.25	1.7	1.50
PL-G-03	<i>Pocillopora</i> spp.	Guiri	v1	r1	23/9/2019	1/11/2019	2.48	1.53	1.48
PL-G-09	<i>Pocillopora</i> spp.	Guiri	v1	r1	23/9/2019	1/11/2019	2.77	1.16	1.26
PL-G-02	<i>Pocillopora</i> spp.	Guiri	v1	r1	23/9/2019	1/11/2019	3.17	1.75	2.17
PL-G-05	<i>Pocillopora</i> spp.	Guiri	v1	r1	23/9/2019	1/11/2019	3.4	1.86	2.48
PL-G-19	<i>Pocillopora</i> spp.	Guiri	v1	r1	23/9/2019	1/11/2019	3.7	3.01	4.38
PL-G-12	<i>Pocillopora</i> spp.	Guiri	v1	r1	23/9/2019	1/11/2019	1.14	1.13	0.50

PL-G-15	<i>Pocillopora</i> spp.	Guiri	v1	r1	23/9/2019	1/11/2019	4.3	1.07	1.81
PL-G-18	<i>Pocillopora</i> spp.	Guiri	v1	r1	23/9/2019	1/11/2019	3.05	1.7	2.04

Conclusiones

- Se instalaron con éxito tres viveros coralinos (dos árboles, y un tendadero) en playa Jícaro, con un total de 51 fragmentos de *Pocillopora* spp. y 140 fragmentos de *P. gigantea*.
- Se discutió la posibilidad de señalizar y delimitar el área donde se encuentran los viveros, esto con el fin de prevenir accidentes o malentendidos entre los usuarios del sitio. El capitán Marengo y el equipo de Marina Papagayo se comprometieron con la fabricación y colocación de 4 boyas verticales.
- Se fijan giras mensuales de monitoreo y mantenimiento a los viveros.

5. Etapa III. Monitoreo e implementación exitosa de un piloto de jardinería de corales en el sector de Bahía Culebra

Objetivo general

Con el fin de evaluar el desarrollo de los viveros de coral a lo largo del tiempo, se establecieron giras de monitoreo y mantenimiento periódicos por parte del equipo de trabajo conformado por José Andrés Marín (RCCR), Juan José Alvarado, Sonia Fabregat y Adriana Arce, del CIMAR de la UCR. Las giras de monitoreo fueron programadas en intervalos mensuales durante un periodo de tres meses (octubre-diciembre). Sin embargo, cuando fue posible el equipo de Papagayo Explorer's Club (PEC) contribuyó con la limpieza de los viveros entre los tiempos de las visitas programadas por el equipo de trabajo. Las tres giras de monitoreo se llevaron a cabo en un lapso de cuatro días; dos días de viaje y dos días de trabajo de campo. A lo largo de las tres giras se aumentó el número inicial de fragmentos de los corales de *Pocillopora* spp. y *P. gigantea*, además se

generaron fragmentos de otras dos especies de coral formadoras de arrecife: *Pavona clavus* y *Porites lobata*.

Mantenimiento y monitoreo

Durante cada gira de campo se realizaron actividades de monitoreo, limpieza y mantenimiento a las distintas estructuras. Además, se midieron los fragmentos de coral, y se generaron nuevos fragmentos de al menos una de las cuatro especies antes mencionadas. Las partes de los viveros conformadas por tubos de PVC o fibra de vidrio fueron limpiadas con equipos de limpieza sencillos como cepillos o esponjas para lavar platos. En el caso de los hongos de cerámica se utilizaron cepillos de cerda fina, y en algunos casos cuchillos de buceo de punta fina o espátulas. La colonización por parte de diversos organismos ha sido rápida, particularmente los cirripedios (Fig. 18). Todos los fragmentos fueron fotografiados mes a mes, y a los fragmentos de *Pocillopora* se les tomaron medidas de largo y ancho con un vernier ($\pm 0.05\text{mm}$). Se tomaron datos *in situ* de los parámetros físico-químicos en Jícaro (viveros), a partir de noviembre y diciembre: temperatura, salinidad, nutrientes (amonio, nitratos, nitrito, fosfato y silicato), radiación fotosintética activa (PAR), oxígeno disuelto y conductividad.

Gira de campo del 31 de octubre al 3 de noviembre

Se realizó una primera inmersión en Güiri-Güiri en donde se recolectan varios fragmentos de *P. clavus* y *Pocillopora* spp. Se colocó un sensor de temperatura tipo HOBO en el área de los viveros, y estos fueron limpiados de manera exhaustiva. El segundo día de gira se realizó una inmersión en el sitio La Penca (10.575492 N, -85.698048 O) en donde se marcaron y fragmentaron cuatro colonias de *P. lobata* (cuadro 3). Por último, se generaron 40 fragmentos de *Pocillopora* procedentes de Jícaro, se fotografiaron y se midieron todos los fragmentos.

Gira de campo del 28 de noviembre al 1 de diciembre

Se visitó Punta Esmeralda en donde se generaron 25 fragmentos de *Pocillopora* de cinco colonias donantes. Además, se generaron 30 fragmentos de *P. lobata* provenientes de Playa Flamingo. Se limpiaron y monitorearon los viveros, y se tomaron muestras de agua.

Gira de campo del 16 al 18 de diciembre

Se generan fragmentos de *Pocillopora* spp. en varios sitios: 27 de Palmitas (10.638823 N, -85.696857 O), 23 de Güiri-Güiri, 26 de Rodolitos, 16 de Matapalo y 20 de Esmeralda. Adicionalmente, se tiñeron con rojo de alizarina seis fragmentos de *Pocillopora* y seis rejillas de corales masivos. Esto con el fin de poder medir crecimiento del esqueleto de los corales a lo largo de seis meses. Se realizó la limpieza y medición de rutina de los viveros y fragmentos, así como de muestras de agua.

Análisis de crecimiento

El incremento en el área superficial de cada uno de los fragmentos de las especies masivas e incrustantes fue medido a partir de fotografías tomadas perpendicularmente a la superficie del disco de cerámica u “hongo”. El área de los fragmentos de coral fue medida respecto al área del disco de cerámica (7.07 cm²) usando el software libre ImageJ (Schneider et al. 2012).

Para los corales ramificados se utilizó la siguiente fórmula propuesta por Baums et al. (2019):

$$AC = LC \times AB \times \pi/4$$

AC: área de la corona

LC: longitud de la corona

AB: ancho de la corona

Sobrevivencia y Crecimiento

Los corales Pocilopóridos presentaron una alta tasa de sobrevivencia con un 98.7% de los 233 fragmentos colocados en los viveros (Cuadro 2). Del total de fragmentos colocados en los viveros (tipo árbol y tendedero), únicamente tres murieron. Estos tres fragmentos eran de oportunidad (fragmentos generados por la acción mecánica de fuerzas naturales u organismos marinos).

En el caso de los fragmentos del coral de *P. gigantea* se obtuvo una tasa de sobrevivencia de 92% (n=140) en el vivero (Cuadro 3). La pérdida y/o muerte de 11 fragmentos, pudo deberse a errores durante la fase de pegado de los fragmentos al hongo durante el proceso de micro fragmentación. Los fragmentos que murieron pudiesen haber sido generados a partir de partes no óptimas del fragmento madre, acarreando problemas que finalmente resultaron en una reducida capacidad adaptativa en los viveros.

En cuanto a las restantes dos especies, *Pavona clavus*, y el masivo *Porites lobata* (Cuadro 4,5), como fueron colocados recientemente en los viveros, por lo que, para efectos de este reporte, no es factible hacer aseveraciones informadas en términos de sobrevivencia como crecimiento. Todas las especies compartieron una tasa de sanación del 100% al mes de haber sido fragmentados.

Es importante mencionar que los resultados obtenidos para el crecimiento giran principalmente en torno a *Pocillopora* spp. y *P. gigantea*. Estas dos especies fueron colocadas simultáneamente al establecimiento de los viveros, por lo que su patrón de crecimiento es continuo y representativo de lo que pudo haber acontecido durante la mayoría del periodo de estudio.

Para caracterizar el crecimiento de los *Pocillopora* spp. en el tiempo se utilizaron las medidas obtenidas de 27 de los 51 fragmentos colocados en los viveros durante la etapa práctica de la capacitación (23/09/19). El área inicial de los fragmentos fue de $5.73 \pm 5.09 \text{ cm}^2$. Luego de tres meses, en diciembre se determinó un

promedio de área de $12.13 \pm 9.32 \text{ cm}^2$, por lo que los fragmentos crecieron el doble de su área inicial (Fig. 15), esto equivale a una tasa de crecimiento de aproximadamente $2.13 \pm 0.81 \text{ cm}^2/\text{mes}$ (Fig. 16).

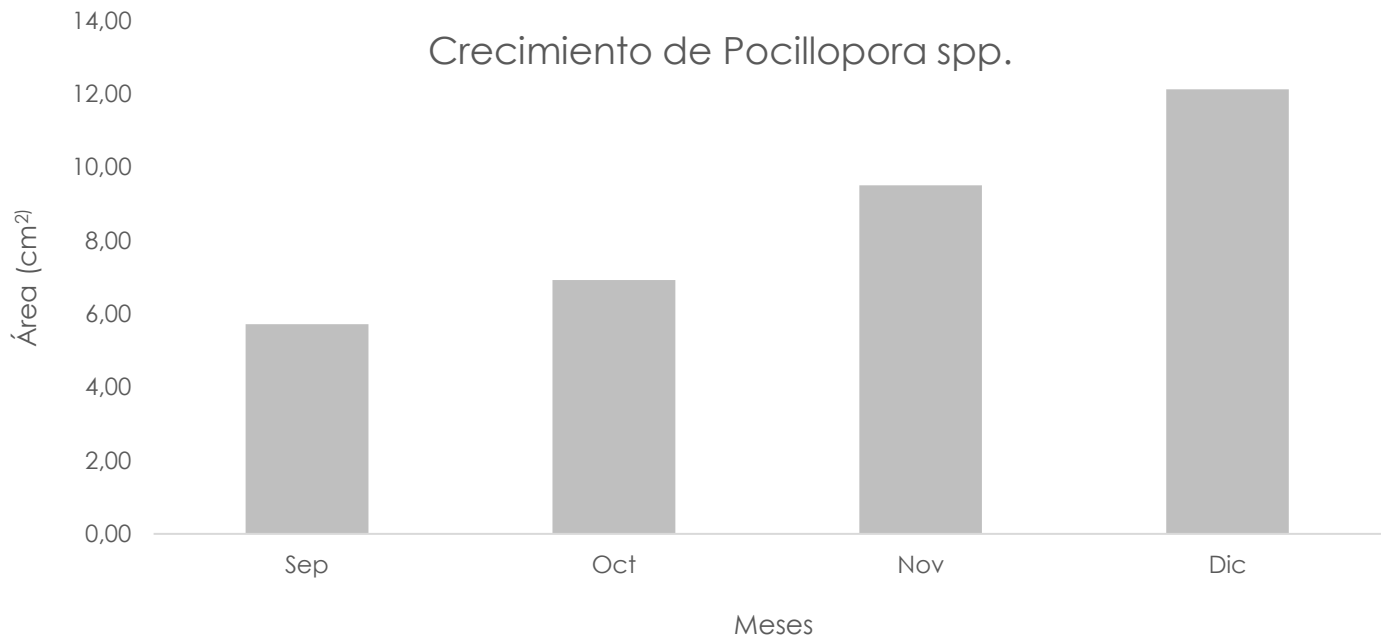


Figura 15. Crecimiento como cambio en el área ($\text{cm}^2 \text{ mes}^{-1}$) de *Pocillopora* spp. para las giras de trabajo.



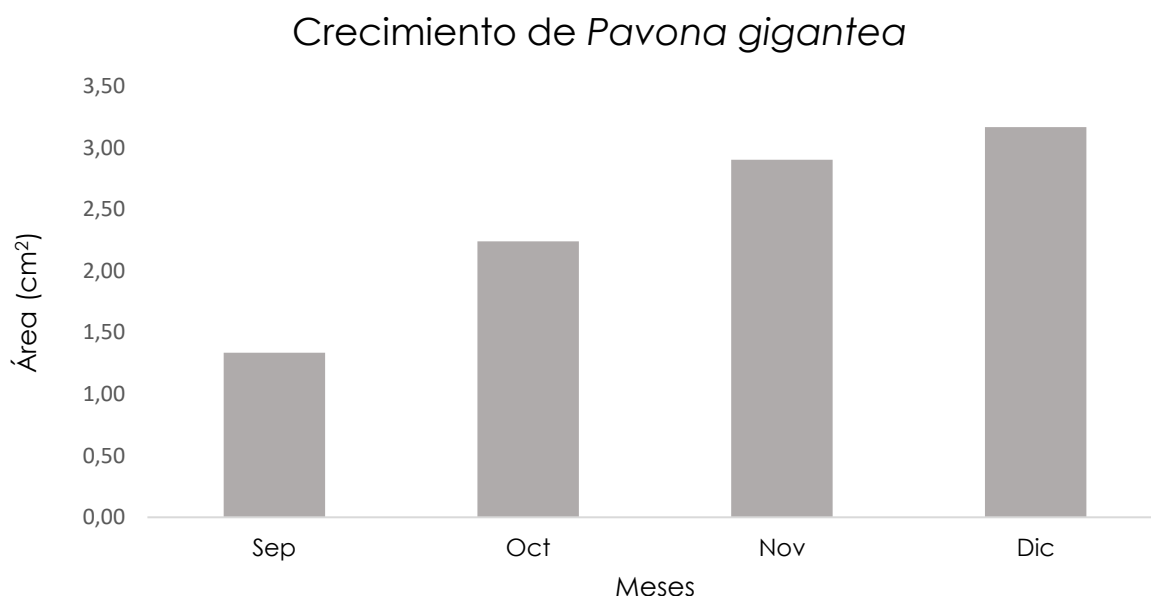


Figura 16. Crecimiento del fragmento "PI_G-11". A la izquierda el fragmento en septiembre, a la derecha el fragmento en diciembre.

Los fragmentos de *P. gigantea* aumentaron su área en un 137%, pasando de un tamaño inicial registrado en septiembre de 1.34 cm² a 3.17cm² (Fig. 16). En promedio los fragmentos crecieron 0.61 ± 0.32 cm² por mes durante los tres meses de monitoreo (Fig. 17).

Figura 16. Crecimiento como cambio en el área (cm² mes⁻¹) de *Pocillopora* spp. para las giras de trabajo.

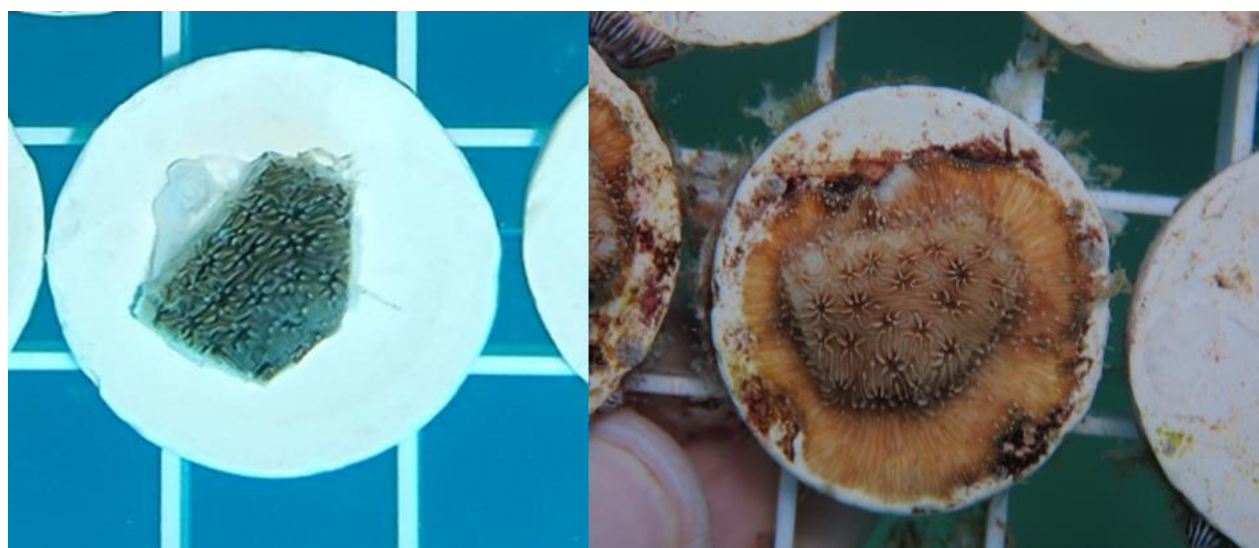


Figura 17. Crecimiento del fragmento 94. A la izquierda el fragmento en septiembre, a la derecha el fragmento en diciembre.

El hecho de que la gran mayoría de los fragmentos de las especies cultivadas sobreviviesen y se desarrollaran sin inconvenientes, se puede atribuir a dos factores: (1) Las condiciones fisicoquímicas del sitio (viveros) y (2) el trabajo periódico de limpieza y mantenimiento a las estructuras. No obstante, el grado de incidencia de estos factores, parece variar según la forma en que se cultiva la especie, es decir, en función de sus distintas formas de vida. Claro está que los corales del tipo incrustante/masivos necesitan ser limpiados más a fondo, por lo que implica un mayor trabajo en términos de costo y tiempo.

Cuadro 2. Tabla de control de los fragmentos de *Pocillopora* spp. utilizados para los viveros en Jícario, Bahía Culebra.

Especie	<i>Pocillopora</i> spp.			
Fecha de fragmentación	23-24/09/19	31-1/10/19	29-30/11/19	17-18/12/19

Arrecife de procedencia	Güiri-Güiri	Mata Palo	Güiri-Güiri	Jícaro	Esmeralda	Palmistas	Güiri-Güiri	Mata Palo	Esmeralda	Rodolitos
Número de colonias donantes (y/o número de fragmentos generados)	4 (21)	30 + 5 frag.op ort	5 (20)	7 (25)	5 (25)	27	23	16	20	26
Fragmentos perdidos/muertos	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
Fragmentos generados por gira	51	-	45	-	25	-	-	112	-	-
Total acumulado de fragmentos en los viveros	51	-	96	-	121	-	-	230	-	-

Cuadro 3. Tabla de control de fragmentos generados por sitio y gira de trabajo para *Pavona gigantea*.

Especie	<i>Pavona gigantea</i>			
Fecha de fragmentación	23-24/09/19	31-1/10/19	29-30/11/19	17-18/12/19
Arrecife de procedencia	Güiri-Güiri	Mata Palo	-	-
Número de colonias donantes y/o número de fragmentos generados	1*(70)	2(70)	-	-
Fragmentos Perdidos/muertos	-	-	11	-
Fragmentos generados por gira	140	-	-	-
Total fragmentos en el vivero (V3)	140	-	140-11*	-

Cuadro 4. Tabla de control de fragmentos generados por sitio y gira de trabajo para *Porites lobata*. *Fragmentos de oportunidad traídos por Mauricio Méndez.

Especie	<i>Porites lobata</i>			
Fecha de fragmentación	23-24/09/19	31-1/10/19	29-30/11/19	17-18/12/19
Arrecife de procedencia	-	La Penca	Flamingo*	-
Número de colonias donantes y/o número de fragmentos generados	-	4 colonias (36 frags)	30 frags	-
Fragmentos perdidos/muertos	-	-	-	-
Fragmentos generados por gira	-	36	30	-
Total fragmentos en el vivero (V3)	-	36	66	-

Cuadro 5. Tabla de control de fragmentos generados por sitio y gira de trabajo para *Pavona clavus*.

Especie	<i>Pavona clavus</i>			
Fecha de fragmentación	23-24/09/19	31-1/10/19	29-30/11/19	17-18/12/19
Arrecife de procedencia	-	Güiri-Güiri	-	-
Número de colonias donantes y/o número de fragmentos generados	-	8(38)	-	-
Frag.	-	-	-	-
Perdidos/muertos	-	-	-	-
Frag. Generados	-	-	-	-
Total frag. en el vivero (V3)	-	38	-	-

Cuadro 6. Cuadro comparativo entre los valores reportados y los valores registrados para distintos parámetros físico-químicos implicados en el desarrollo arrecifal.

Parámetros físicoquímicos	Valores promedio reportados en los viveros	Valores de referencia*	Fuentes bibliográficas
Temperatura	26.6 °C	20-30°C	Kleypas, McManus y Menez, 1999; Jiménez C. 2001; Fitt, Brown, Warner, y Dunne, 2001; Gates, Baghdasarian y Muscatine, 1992
Salinidad	35 PSU	25-37 PSU	Coles y Jokiel, 1992; Marcus y Thorhaug, 1981
PO ₄ ³⁻	0.14 µmol/L	0.1-2.0	Kleypas, McManus y Menez, 1999
		>0.1	Bell, 1992; Szmant, 2002
		≥0.5	Lalli y Parson, 1997
		0.83-0.13	Fernández-García et al., 2012
NO ₃ ⁻	0.20 µmol/L	2.0-10.0	Lalli y Parson, 1997
		>1.0	Bell, 1992; Szmant, 2002
		0.5-0.3	Kleypas, McManus y Menez, 1999
		6.69-0.33	Fernández-García et al., 2012
NO ₂ ⁻	0.31 µmol/L	0.03-0.15 µmol	Voss y Richardson, 2006

Las condiciones ambientales registradas durante el periodo piloto se encuentran dentro de los rangos óptimos de la literatura para favorecer el crecimiento de arrecifes coralinos (Kleypas et al. 1999). Entre los factores físicos, la temperatura y la salinidad con 26.6 °C y 35 PSU respectivamente, se encuentran dentro de los intervalos reportados para el desarrollo óptimo de los arrecifes (Cuadro 6). Se espera que estas condiciones cambien conforme se acerque la época seca (diciembre-abril) y con ella, el fenómeno de afloramiento (Alfaro et al. 2012), para el cual se estima los corales estén bien adaptados (Jiménez 2001, Jiménez y Cortés 2003).

A deferencia de parámetros como la temperatura y la salinidad, los nutrientes como factor limitante para el desarrollo arrecifal se comportan de manera distinta, dependiendo de las condiciones particulares de cada sitio, es decir variando de un lugar a otro (Hallock y Schlager, 1986; Kleypas, McManus y Menez, 1999; Badran et al., 2005; Szmant, 2002; Fernández-García et al., 2012). Los valores de nutrientes encontrados durante este estudio caen dentro del rango establecido por Fernández-García et al (2012). Siendo los valores observados consecuentes con los reportados por los autores antes mencionados, y siguiendo la recomendación de los mismos, resulta necesario realizar un estudio más detallado del contenido de nutrientes en el agua, el cual nos permita diferenciar fuentes de nutrientes naturales y no naturales (Fernández-García et al., 2012). Una posible carga extra de nutrientes de origen antrópico, sobre ya las naturalmente enriquecidas aguas durante la época de afloramiento, podrían desestabilizar la dinámica entre los organismos y su medio.



Figura 18. Cirrípedos sobrecreciendo un fragmento de *P.gigantea*

6. Apreciaciones generales y pasos a seguir

- Una vez probado exitoso el piloto, es necesario darle continuidad al proyecto para completar el ciclo de restauración, es decir el trasplante de los corales cultivados y el monitoreo a largo plazo del sitio objetivo de restauración.
- Se debe asegurar el monitoreo periódico de los parámetros físico-químicos, tanto durante la estación lluviosa como seca, con el fin de determinar las actividades ideales por periodo, llámese fragmentación, cultivo o trasplante de corales e incluso visita de turistas o giras educativas.
- Aumentar el número de estructuras y establecer sitios con viveros de coral en otras partes de la Bahía.
- Se recomienda aumentar el área superficial y disminuir la altura de los fragmentos de los corales masivos.
- Es importante realizar una evaluación de la diversidad genética de los corales y sus simbioses con el fin de poder identificar posibles genotipos

resilientes (claves en cualquier iniciativa restaurativa), al mismo tiempo que se asegura la diversidad genética de los sitios a restaurar.

- Reducción de las poblaciones de especies amenazantes como *Caulerpa sertularioides* o *Diadema mexicanum*.
- Establecer una campaña de divulgación y educación ambiental, enfocado a múltiples sectores, desde los pescadores y tour operadores hasta los estudiantes de escuelas y colegios, esto con el propósito de sensibilizar a las personas en torno al proyecto de restauración coralina.
- Realizar una caracterización social de los posibles actores involucrados en la restauración arrecifal en la zona y de cómo este proyecto puede afectar positiva, o negativamente, en su diario vivir.

Un proyecto como este, en donde convergen de manera equilibrada la sostenibilidad, la esfera social y las ciencias biológicas no suelen ser frecuentes, por lo tanto, es necesario idear un mecanismo que permita capitalizar de manera integral el potencial de esta triada. Es necesario implementar un plan de aprovechamiento eco-turístico, educativo y científico entorno al proyecto de restauración coralina. Dicho componente será una de las vías principales, generadoras de insumo económico para asegurar la sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

7. Agradecimientos

La realización de este proyecto no hubiera sido posible de no haberse contado con la ayuda y colaboración de varias personas y organizaciones asociadas; se agradece a: Mauricio Solano de la Cooperación alemana para el desarrollo, GIZ, a Mónica Gutiérrez gerente de sostenibilidad de Ecodesarrollo Papagayo, a Miguel Sánchez, Oscar Rosales y a Jackson Rodríguez de Papagayo Explorers Club; A Carlos Marengo de la Marina Papagayo. A Mauricio Méndez del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC); A Los centros de buceo locales

Blue Dreams y Scuba Caribe. Y finalmente, a los miembros del equipo de Raising Coral Costa Rica involucrados en este proyecto: Joanie Kleypas, y Álvaro Terán.



8. Referencias

- Alfaro, E. J., Cortés, J., Alvarado, J. J., Jiménez, C., León, A., Sánchez-Noguera, C., ... & Ruiz, E. (2012). Clima y temperatura sub-superficial del mar en Bahía Culebra, Golfo de Papagayo, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 159-171.
- Alvarado, J. J., & Vargas-Castillo, R. (2012). Invertebrados asociados al coral constructor de arrecifes *Pocillopora damicornis* en Playa Blanca, Bahía Culebra, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 60(2), 77-92.
- Alvarado, J. J., Beita-Jiménez, A., Mena, S., Fernández, C., Cortés, J., Sánchez-Noguera, C., ... & Guzmán-Mora, A. G. (2018). Cuando la conservación no puede seguir el ritmo del desarrollo: Estado de salud de los ecosistemas coralinos del Pacífico Norte de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 66(1-1), S280-S308.
- Badran, M. I., Rasheed, M., Manasrah, R., & Al-Najjar, T. (2005). Nutrient flux fuels the summer primary productivity in the oligotrophic waters of the Gulf of Aqaba, Red Sea. *Oceanologia*, 47(1).
- Baird, A. H., Bhagooli, R., Ralph, P. J., & Takahashi, S. (2009). Coral bleaching: the role of the host. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(1), 16-20.
- Baums, I. B., Baker, A. C., Davies, S. W., Grottoli, A. G., Kenkel, C. D., Kitchen, S. A., ... & Parkinson, J. E. (2019). Considerations for maximizing the adaptive potential of restored coral populations in the western Atlantic. *Ecological Applications*, e01978.
- Bell, P. R. F. (1992). Eutrophication and coral reefs—some examples in the Great Barrier Reef lagoon. *Water Research*, 26(5), 553-568.

- Chang, K. H., Chen, Y. S., & Chen, C. P. (1987). Xanthid crabs in the corals, *Pocillopora damicornis* and *P. verrucosa* of southern Taiwan. *Bulletin of marine science*, 41(2), 214-220.
- Coles SL, Jokiel P. 1992. Effects of salinity on coral reefs. In: Connell D, Hawker D (eds.), *Pollution in Tropical Aquatic Systems*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 147–166
- Edward, A., & Gomez, E. (2007). *Reef restoration concepts & guidelines: making sensible management choices in the face of uncertainty*. St. Lucia, Australia: Coral reef targeted research & capacity building for management program.
- Epstein, N. R. P. M., Bak, R. P. M., & Rinkevich, B. (2003). Applying forest restoration principles to coral reef rehabilitation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 13(5), 387-395.
- Fabricius, K. E. (2005). Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 50(2), 125-146. Francis Group, Boca Raton, Florida.
- Fernández-García, C., Cortés, J., Alvarado, J. J., & Nivia-Ruiz, J. (2012). Physical factors contributing to the benthic dominance of the alga *Caulerpa sertularioides* (Caulerpaceae, Chlorophyta) in the upwelling Bahía Culebra, north Pacific of Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 60, 93-107.
- Fitt, W. K., Brown, B. E., Warner, M. E., & Dunne, R. P. (2001). Coral bleaching: interpretation of thermal tolerance limits and thermal thresholds in tropical corals. *Coral reefs*, 20(1), 51-65.
- Forsman, Z. H., Page, C. A., Toonen, R. J., & Vaughan, D. (2015). Growing coral larger and faster: micro-colony-fusion as a strategy for accelerating coral cover. *PeerJ*, 3, e1313.
- Gates, R. D., Baghdasarian, G., & Muscatine, L. (1992). Temperature stress causes host cell detachment in symbiotic cnidarians: implications for coral bleaching. *The Biological Bulletin*, 182(3), 324-332.
- Hallock, P., & Schlager, W. (1986). Nutrient excess and the demise of coral reefs and carbonate platforms. *Palaios*, 389-398.
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., & Knowlton, N. (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318(5857), 1737-1742.
- Hongo, C., & Kayanne, H. (2011). Key species of hermatypic coral for reef formation in the northwest Pacific during Holocene sea-level change. *Marine Geology*, 279(1), 162-177.
- Jiménez C. 2001. Seawater temperature measured at the surface and at two depths (7 and 14 m) in one coral reef at Culebra Bay, Gulf of Papagayo, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 49 (Supl. 2): 153–161.

- Jiménez-Centeno, C. E., & Cortés-Núñez, J. (2003). Growth of seven species of scleractinian corals in an upwelling environment of the eastern Pacific (Golfo de Papagayo, Costa Rica). Crecimiento de siete especies de corales escleractinios en un ambiente nutritivamente rico en el Pacífico oriental (Golfo de Papagayo, Costa Rica). *Bulletin of Marine Science.*, 72(1), 187-198
- Johnson, M. E., C. Lustic, E. Bartels, I. B. Baums, D. S. Gilliam, L. Larson, D. Lirman, M. W. Miller, K. Nedimyer, and S. Schopmeyer. 2011. Caribbean *Acropora* Restoration Guide: Best Practices for Propagation and Population Enhancement. The Nature Conservancy, Arlington, VA.
- Kleypas, J. A., McManus, J. W., & Menez, L. A. (1999). Environmental limits to coral reef development: where do we draw the line? *American Zoologist*, 39(1), 146-159.
- Lalli, C. W. and T. R. Parsons. 1997. Biological Oceanography: An Introduction. Butterworth & Heinemann, Oxford. 314 p.
- López-Victoria, M., Zea, S., & Weil, E. (2006). Competition for space between encrusting excavating Caribbean sponges and other coral reef organisms. *Marine Ecology Progress Series*, 312, 113-121.
- Marcus J, Thorhaug A. (1981). Pacific versus Atlantic responses of the subtropical hermatypic coral *Porites* spp. to temperature and salinity effects. Proc. 4th Int. Coral Reef Symp. Manila 2: 15-20.
- Mumby, P. J., Steneck, R. S., Adjerdoud, M., & Arnold, S. N. (2016). High resilience masks underlying sensitivity to algal phase shifts of Pacific coral reefs. *Oikos*, 125(5), 644-655.
- Nielsen, D. A., Petrou, K., & Gates, R. D. (2018). Coral bleaching from a single cell perspective. *The ISME journal*, 12(6), 1558.
- Rodríguez-Sáenz, K., & Morales-Ramírez, A. (2012). Composición y distribución del mesozooplankton en una zona de afloramiento costero (Bahía Culebra, Costa Rica) durante La Niña 1999 y el 2000. *Revista de Biología Tropical*, 60, 143-157.
- Sánchez-Noguera, C. (2012). Cambios socioeconómicos y ambientales en Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica: implicaciones para su gestión (Tesis de Maestría). San José, Costa Rica: GIACT, Universidad de Costa Rica.
- Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. (2012). "NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis". *Nature methods*, 9(7), 671-675.
- Stimson, J. (1997). The annual cycle of density of zooxanthellae in the tissues of field and laboratory-held *Pocillopora damicornis* (Linnaeus). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 214(1-2), 35-48.
- Sunagawa, S., Cortés, J., Jiménez, C., & Lara, R. (2008). Variation in cell densities and pigment concentrations of symbiotic dinoflagellates in the coral *Pavona clavus* in the eastern Pacific (Costa Rica). *Ciencias Marinas*, 34(2), 113-123.

- Szmant, A. M. (2002). Nutrient enrichment on coral reefs: is it a major cause of coral reef decline?. *Estuaries*, 25(4), 743-766.
- Thiyagarajan, V., Harder, T., Qiu, J. W., & Qian, P. Y. (2003). Energy content at metamorphosis and growth rate of the early juvenile barnacle *Balanus amphitrite*. *Marine Biology*, 143, 543-554.
- Voss, J. D. y L. L. Richardson (2006). Nutrient enrichment enhances black band disease progression in corals. *Coral Reefs* 25: 569-576.
- Wellington, G. M. (1982). An experimental analysis of the effects of light and zooplankton on coral zonation. *Oecologia*, 52(3), 311-320.
- Wilkinson, C. (Ed.). (2008). *Status of Coral Reefs of the World: 2008*. Townsville, Australia: Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Center.
- Young, C. N., Schopmeyer, S. A., & 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.

9. Anexos

Lista de firmas de quienes participaron en el Primer taller:

DIRECCION DE DESARROLLO HUMANO CAPACITACION Y DESARROLLO ORGANIZACIONAL PROGRAMA DE CAPACITACIÓN 2019  PENINSULA PAPAGAYO		
Nombre del Curso: Taller Restauración de Corales		
Impartido por: Raising Corals		
Duración: 7 horas		
Lugar: Salón INCOPECA		
Fecha: 28.08.2019		
Cédula	NOMBRE	Área
1. 5-354 710	Jackson Rodríguez	PEC
2. 2-161-621	Oscar Rosales Ballodazo	PEC
3. 1-904-408	Mónica G. Sierra	Sostenibilidad
4. 5-336-0055	Juan Carlos Torseca	Scuba Caribe
5. 125000158602	Luis De la Cruz	Scuba Caribe
6. 113782238	José Fabrice Phislong	RCCR
7. 206870891	Tatiana Villalobos	RCCR
8. PAEX47069	Sonia Fabrega i Nub	CI MAR
9.		
10.		
11.		
12.		
13.		
14.		
15.		
16.		
17.		
18.		
19.		
20.		
21.		
22.		
23.		

**DIRECCION DE DESARROLLO HUMANO
CAPACITACION Y DESARROLLO ORGANIZACIONAL
PROGRAMA DE CAPACITACIÓN 2019**



Nombre del Curso: Taller Restauración de Corales
Impartido por: Raising Corals
Duración: 4 horas

Lugar: Salón INCOPESCA

Fecha: 24. 08. 2019

Cédula	NOMBRE	Área
1. 5-354-710	Jackson Rodríguez M.	PEC
2. 7-161-621	Oscar Rosales Daltodano	PEC
3. 125000158602	Lisa De Langenhagen	Scuba Caribe
4. 5-336-0055	Juan Carlos Fonseca	Scuba Caribe
5. 172400024208	Miguel Sánchez	PEC
6. 5336235	Rolbin García Múndez	Blue Dream Diving
7. 109940108	Monica Gutierrez	Península Papagayo
8. 206810891	TAMARA VILLALBA	RCCR
9. 1001840471	DAVIS MORENO	CIMAR
10. PAE497069	Sonia Fábregas i Dale	CIMAR
11. 113780230	José María Hernández	RCCR
12. 105070059	GIOVANNI BASSETT	Península Papagayo
13. 1893703	Mauricio Méndez U.	SINAC - ACT
14.		
15.		
16.		
17.		
18.		
19.		
20.		
21.		
22.		
23.		

Lista de firmas de quienes participaron en el Segundo Taller:

DIRECCION DE DESARROLLO HUMANO CAPACITACION Y DESARROLLO ORGANIZACIONAL PROGRAMA DE CAPACITACIÓN 2019		
 PENINSULA PAPAGAYO COSTA RICA		
Nombre de la actividad: II Taller Restauración de Corales		
Impartido por: Jose Andres Marin Raising Corals		
Duración: 1 hora		
Lugar: Marina Papagayo		
Fecha: 23.09.2019		
Cédula	NOMBRE	Área
1. 1994408	Mónica Gutiérrez	Sostenibilidad
2. 504130820	Alex Alvarez	Marina
3. 4-134-883	Carlos H. Marceno G.	Marina
4. 172400024208	Miguel Sanchez	PEC
5. 6-08000868	Ronald Valverde V.	Pe6
6. 5-354-170	Jackson Rodriguez M.	PEC
7. 2-0632-0613	Ersel Aguilar I.	PEC
8. -	Kuonklin Patrón Patrón	Marina
9. Carlos Diaz B	7-235-190	Marina
10. PAE497069	Sonia Fabrega: Male	UMAR-UCR
11. 603980689	MARIO VARELA	Scuba Caribe
12. 503960819	Julio Rodriguez R.	Scuba Caribe
13. 206870891	TATIANA VILLABO CUBERO	RECR
14. 503360055	Juan Carlos Fonseca Cubillo	Scuba Caribe
15. 11200810	Haurico Solano F.	GLZ
16. 109070690	DIEGO MEJIAS	FOTOGRAFIA-VIDEO
17.		
18.		
19.		
20.		
21.		
22.		



Figura 19. En el tendedero los corales permanecen bien sujetos y en poco menos de dos meses ya se observan pólipos extendiéndose y calcificando sobre la cuerda.