

Restauración a Gran Escala de los Arrecifes de Coral en la Reserva de Biosfera Seaflower - Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Caribe Colombiano

Large Scale Reef Restoration in the Seaflower Biosphere Reserve - San Andres, Providence and Santa Catalina Archipelago, Colombian Caribbean

Restauration de Récifs à Grande Échelle dans la Réserve de Biosphère Seaflower - Archipel de San Andres, Providence et Santa Catalina, Caraïbes Colombiennes

RUBEN AZCARATE^{1*}, ERICK CASTRO¹, ANTHONY ROJAS-ARCHBOLD²,
JUAN PABLO CALDAS³, MARIA CLAUDIA DIAZGRANADOS³, MARIA FERNANDA MAYA⁴,
MARIANA GNECCO⁴ y PHANOR H. MONTOYA-MAYA⁴

¹*Corporation for the Sustainable Development of the Archipelago of San Andrés, Providence and Santa Catalina (CORALINA), KM 26 via San Luis, San Andres 880001 Colombia. *ruben.azcaratem@gmail.com*

²*Secretary of Agriculture and Fisheries, Departmental Government of the Archipelago of San Andres, Providence and Santa Catalina, Avenida Francisco Newball No. 6-30, Edificio Coral Palace, San Andres 880001 Colombia.*

³*Conservation International Colombia, Carrera 13 # 71 – 41, Bogota 110231 Colombia.*

⁴*Corales de Paz, Calle 4 #35A-51, Cali Valle del Cauca 760032 Colombia.*

RESUMEN

En octubre de 2017 inició el proyecto de rehabilitación de corales más grande en Colombia, a través del concepto de jardinería de corales en dos pasos. El objetivo del proyecto es mejorar las acciones de restauración de los arrecifes de coral en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, acelerar la recuperación natural de arrecifes intervenidos, promover su adaptación al cambio climático, anticipar los efectos directos de origen antrópico y alcanzar un gran impacto social. En la primera fase se construyeron ocho viveros submarinos de cuerdas con capacidad para cultivar al menos 16000 fragmentos de especies arrecifales coralinas. El stock final es de 13468 fragmentos de cuatro especies de corales duros, tres corales blandos y dos esponjas. Seis meses después de la siembra, la supervivencia promedio de los fragmentos ($85.8\% \pm 4.22$ EE) y el promedio de incremento en volumen ecológico (VE) registrados supera el 300% desde su tamaño inicia, cifras que se encuentran dentro de los valores de referencia de proyectos de restauración arrecifal en el Caribe. Más de 50 personas representando a diferentes actores sociales relevantes llevaron a cabo la construcción, instalación, siembra y monitoreo de viveros y corales, con el objetivo de desarrollar la capacidad local en la jardinería de corales y el monitoreo de los arrecifes de coral en el archipiélago. En tres años esperamos ver la protección conjunta de los sitios seleccionados con la adición de aproximadamente 5.000 colonias de coral cultivadas en viveros por hectárea, permitiendo un 10% de incremento de cobertura de coral vivo, biomasa de peces, valor estético y complejidad estructural y, en general, la salud de los arrecifes de coral intervenidos dentro del AMP Seaflower.

PALABRAS CLAVE: Conservación de arrecifes coralinos, restauración de arrecifes, jardinería de coral, mejora de pesquerías, Colombia

INTRODUCCIÓN

Aunque las Áreas Marinas Protegidas (AMPs) son una estrategia efectiva, esta ha probado ser lenta ante el rápido deterioro de los arrecifes coralinos, por lo que estrategias complementarias más activas han sido implementadas en las últimas décadas (Rinkevich 2008). Entre estas estrategias, evidencia científica reciente soporta la jardinería de corales como complemento eficiente al manejo de AMPs con fines de rehabilitación de arrecifes coralinos a raíz de que contribuyen en gran medida a la recuperación de especies de arrecife (Montoya-Maya et al. 2016), ofrecen oportunidades de sustento alternativas para actores locales y son un espacio propicio para proyectos de educación e investigación científica (Lirman y Schopmeyer 2016).

A nivel nacional y desde el 2005 se vienen realizando en San Andrés y Providencia labores de restauración coralina como complemento a las acciones de protección establecidas por la autoridad ambiental local, con el objetivo de mitigar la pérdida de cobertura coralina reportada en las últimas décadas - promedio de 16% de cobertura de coral vivo (ECOTEAM 2016). En Octubre de 2017, CORALINA, la Secretaría de Agricultura y Pesca de la Gobernación Departamental de San Andrés, Conservación Internacional Colombia y la organización Corales de Paz dieron origen a un programa piloto de restauración comunitario de arrecifes coralinos a gran escala en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina con el objetivo de ampliar las acciones de restauración de arrecifes coralinos en esta región del Caribe a una escala que acelere la recuperación natural, promueva la adaptación al cambio climático, anticipe los efectos directos antrópicos, y tenga un gran impacto social.

El “Programa Piloto de Restauración Coralina a Gran Escala en la Reserva de Biosfera Seaflower” busca trasplantar 5000 fragmentos de organismos coralinos (corales duros, corales blandos y esponjas) cultivados en viveros *in situ* por cada hectárea de arrecife intervenido, y con la activa participación de líderes comunitarios de la comunidad raizal quienes puedan realizar la rehabilitación de arrecifes degradados en el archipiélago.

La técnica empleada para el cultivo masivo fue desarrollada y probada (Research and Development) en Seychelles, proyecto Reef Rescuers, a partir de los diseños propuestos por Levy et al. (2010) y Frias-Torres et al. (2018). La técnica esta dirigida al cultivo masivo de corales con los cuales se pueda incrementar rápidamente la cobertura de coral vivo y la complejidad estructural de los arrecifes intervenidos; aspectos claves para la recuperación natural del arrecife. Los efectos positivos de esta técnica en el reclutamiento coralino han sido descritos en Montoya-Maya et al. (2016). El monitoreo post-

trasplante en Seychelles evidencia que los efectos positivos (i.e. altas tasas de reclutamiento de corales y de peces) continúan aun después de la muerte de las colonias sembradas, muy probablemente debido a que la complejidad estructural se mantiene (com. pers. Montoya-Maya, PH). Los resultados que se muestran a continuación son una muestra del avance alcanzado en el primer año del proyecto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Construcción e Instalación de Viveros

En noviembre de 2018, se han construido e instalado en el archipiélago ocho (8) viveros flotantes de cuerdas (3 m * 20 m), con capacidad para cultivar al menos 16 000 individuos de especies arrecifales coralinas (Figura 1). El diseño de los viveros empleados corresponde a viveros flotantes de cuerdas (Levy et al. 2010; Frias-Torres et al. 2018). Este diseño de bajo costo permite el cultivo masivo de fragmentos y ajustes en su profundidad, en respuesta a diferentes condiciones oceanográficas (e. g. alta temperatura del agua o fuerte oleaje) que puedan poner en riesgo el cultivo (Figura 2). Cuatro viveros fueron instalados en el costado suroeste de la isla de San Andrés, en el sector conocido como West Point ($12^{\circ}29'40.40''$ N $81^{\circ}44'09.36''$ W) y se encuentran ancladas a 15 m de profundidad en un fondo de arena. Otros cuatro viveros fueron instalados en el costado sureste de la isla de Providencia, en el sector conocido como Loggerhead Bluff ($13^{\circ}20'04.66''$ N, $81^{\circ}21'26.6$ W), en un fondo de arena a 9 m de profundidad y cerca de un arrecife natural.

Alimentación de Viveros

El material sembrado (Figura 2) proviene de los viveros que CORALINA tenía en el archipiélago desde el 2005 (60%), fragmentos de oportunidad (30%) y colonias adultas donantes (10%). Nueve especies de organismos coralinos, representando cuatro especies de corales duros (*Acropora cervicornis*, *A. palmata*, *Porites furcata*, *Undaria tenuifolia*), tres especies de coral blando (*Briareum asbestinum*, *Antillogorgia bipinnata*, *Eunice sp.*), y dos especies de esponja (*Aplysinia fistularis*, *Niphates sp.*) han sido sembrados.

Monitoreo y Seguimiento

Para todo el procedimiento, se siguieron los lineamientos establecidos por Frias-Torres et al. (2015). El monitoreo de supervivencia se ha realizado periódicamente con una frecuencia determinada por las condiciones climatológicas de la zona. Se realizan rápidamente anotaciones sobre el estado de salud de cada colonia en una de cuatro categorías: 100% tejido vivo, > 50% tejido vivo, < 50% tejido vivo, y 100% tejido muerto. Para el monitoreo de crecimiento, se asignaron cinco cuerdas de cada vivero y se seleccionaron al azar cinco individuos de cada cuerda. Para coral seleccionado se estimó el volumen ecológico de acuerdo a Shafir et al. (2006).

Trasplante

Una vez los fragmentos han alcanzado una talla lineal > 20 cm, en sitios (hasta la fecha) priorizados y seleccionados durante proyectos de restauración coralina previos al actual

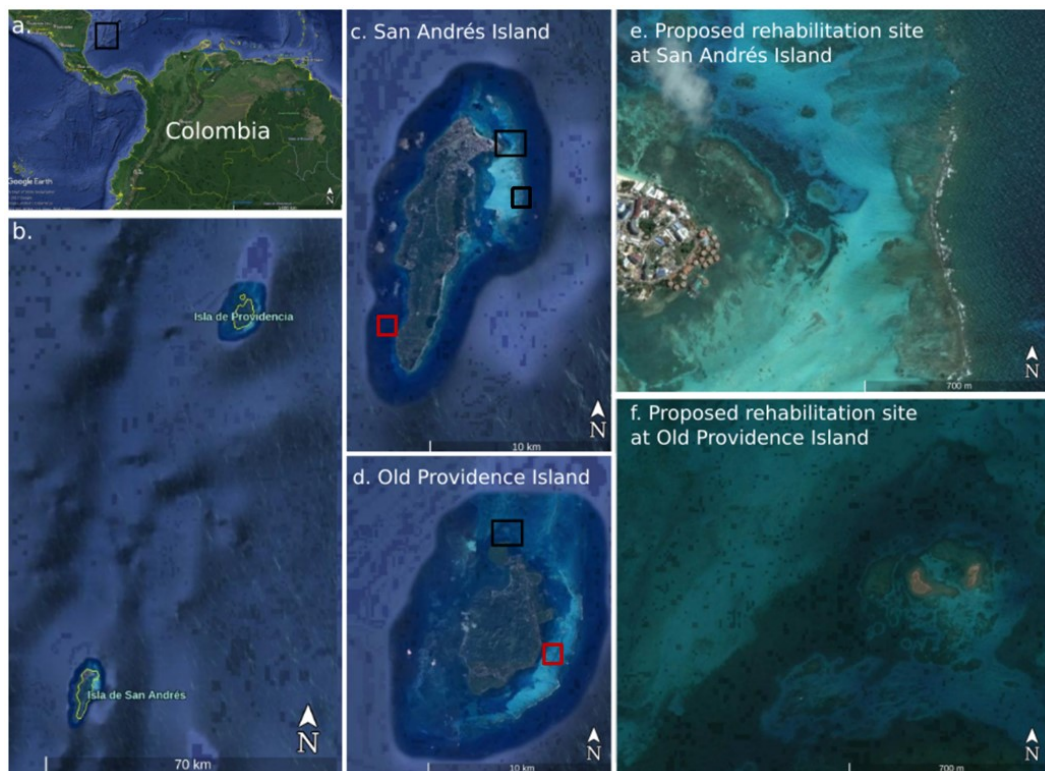


Figura 1. Ubicación de las guarderías de coral en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Caribe Colombiano.



Figura 2. Diseño de los viveros flotantes de cuerdas empleados para el cultivo de especies arrecifales coralinas.

por las entidades ambientales del archipiélago. Mediante cementación sobre arrecife previamente cepillado, los fragmentos seleccionados son posicionados y posteriormente monitoreados para verificar su adecuación al arrecife y efectos colaterales del cambio de condiciones de cultivo.

Impacto Social

Mediante el enfoque participativo, las actividades de campo han sido llevadas a cabo por representantes de diferentes grupos de interés local. En el marco del proyecto se está pilotando el primer plan de pagos por servicios ambientales marino en Colombia, mediante el cual se compensarán a los pescadores artesanales raizales que se comprometan voluntariamente a ayudar a preservar los arrecifes de coral, ayudando con las actividades de jardinería de coral derivadas del proyecto en sus fases de instalación, maricultura, monitoreo y trasplante. Un atractivo turístico ha sido creado para la industria local de buceo con la instalación en el sitio de buceo Nirvana (12° 30'07" N, 81°43'58" W) de cuatro pequeños viveros demostrativos los cuales serán mantenidos por el Núcleo de Buceo de San Andrés.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Previo a la ejecución de este proyecto diferentes actores en Colombia han implementado proyectos piloto (< 2000 fragmentos) de restauración activa de arrecifes de coral utilizando el concepto de jardinería de coral; ninguno superando los 2000 fragmentos sembrados (Franke-Ante et al. 2014). Desde su primera fase, el proyecto ha incrementado substancialmente la escala de las acciones de restauración coralina en Colombia. Hoy hay construidos ocho viveros submarinos (cuatro en San Andrés y cuatro en Providencia) con capacidad para albergar al menos 16 000 individuos de los arrecifes de coral someros. Los viveros han sido abastecidos y hasta noviembre de 2018 se han sembrado 13468 fragmentos de nueve especies arrecifales diferentes (5418 en San Andrés y 8050 en Providencia). El stock más grande pertenece al coral cuerno de ciervo *A. cervicornis* y *A. palmata*, ambas en peligro crítico de extinción.

Doce meses después del cultivo de los fragmentos de *A. cervicornis*, la supervivencia promedio es del $>85.8\% \pm 4.22$ EE y el incremento promedio en volumen ecológico (VE) supera el $> 300\%$ de su tamaño inicial (Figura 3). Para Colombia, Franke-Ante et al. (2014) reportan una alta sobrevivencia de los fragmentos de coral en las etapas de guardería ($> 90\%$) y de trasplante ($> 86\%$), mientras que los valores de referencia para el Caribe son 80% de sobrevivencia en guarderías y 70% en trasplante (Schopmeyer et al. 2017). En consecuencia, los resultados obtenidos evidencian una respuesta positiva al cultivo masivo de esta especie. Es importante resaltar que la mortalidad reportada incluye la pérdida física de fragmentos por el desprendimiento de los mismos debido al fuerte oleaje de algunos meses, principalmente en diciembre. Por su parte, pese al más reciente brote de síndrome blanco en julio-agosto de 2018, el cual fue manejado oportunamente separando los fragmentos afectados de los saludables, los monitoreos no han evidenciado enfermedades severas ni blanqueamiento masivo.

El cultivo piloto de otros organismos coralinos no escleractíneos, sugiere que el coral blando *B. asbestinum* y la esponja *Niphates* sp. responden positivamente al cultivo masivo y pueden ser incluidas en las tareas de jardinería de coral con miras a incrementar la diversidad de especies trasplantadas. Parte de los retos encontrados incluyen la rápida colonización y crecimiento de macroalgas y cianobacterias en las estructuras, la presencia de predadores de corales como gusanos de fuego y fenómenos oceanoatmosféricos que pueden impedir el acceso a los viveros flotantes para su mantenimiento e inclusive el desgaste de las estructuras que los conforman. Como en cualquier cultivo masivo, existen preocupaciones por la reducción en la diversidad genética. En corales esto es más acentuado debido a la propagación asexual de los individuos. Para contrarrestar este limitante, se colectan y propagan colonias de diferentes localidades dentro de cada isla y de diferentes colonias dentro de cada localidad. Proceso que se repetirá en la fase de trasplante. Esto se acompañará con análisis de diversidad genotípica de las

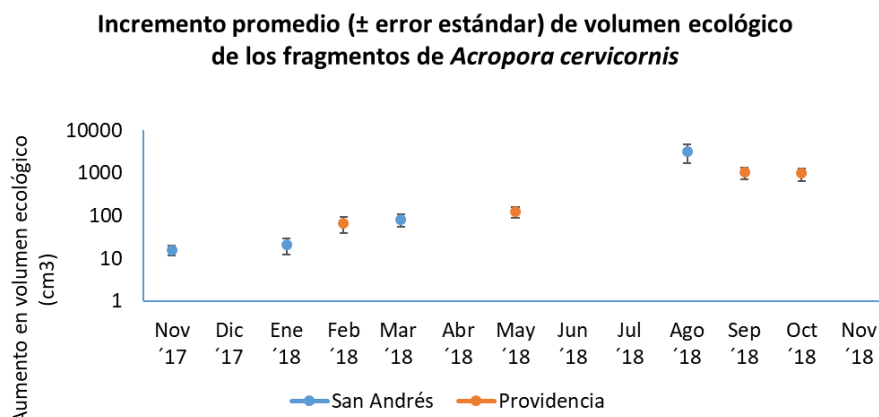


Figura 3. Incremento promedio de VE de los fragmentos de *A. cervicornis* cultivados en viveros sumergidos de San Andrés y Providencia.

guarderías. Finalmente, en las siguientes etapas del proyecto se contempla explorar la propagación sexual de corales con fines de favorecer la diversidad genética del cultivo y trasplantes.

El programa piloto fue planteado desde su inicio como un proyecto participativo, cooperativo e incluyente. Es por esto que en adición a jardinería coralina a gran escala, se pretende sensibilizar y ofrecer alternativas de vida a la comunidad local. Con el esquema de pagos por servicios ambientales BanCO2® en las islas pretende realizar compensaciones mensuales o bimensuales a 28 pescadores artesanales a cambio de asumir compromisos ambientales. Estos incluyen tener y fomentar buenas prácticas de pesca y apoyar en las actividades de jardinería de coral (construcción, alimentación, mantenimiento y monitoreo de guarderías coralinas masivas). Posterior a esto se pretende realizar con los pescadores y otros actores sociales relevantes un trabajo conjunto para identificar las zonas a trasplantar e implementar acuerdos voluntarios de conservación. De tal forma, el proyecto espera alcanzar un alto impacto ambiental y social, incrementan la efectividad de las acciones de restauración implementadas. En el 2019, se iniciará con el trasplante de las colonias cultivadas y el seguimiento de los sitios intervenidos para evaluar el efecto de la adición masiva de corales en los arrecifes.

El proyecto iniciado no esta enfocado directamente a recuperar una especie de coral en particular. Se busca emplear un "ingeniero" natural (i.e. *Acropora cervicornis*), una especie de rápido crecimiento y alta tridimensionalidad, que incremente rápidamente la complejidad estructural del arrecife (por su crecimiento ramificado), cree nuevo hábitat, remplace espacio cubierto por algas, y genere señales químicas y físicas para el reclutamiento de peces, corales y otros invertebrados. Esto, sumado a un control efectivo de impactos (e. g. daño físico, pesca de herbívoros, etc.) y la re-introducción de especies favorecerá la recuperación natural de los arrecifes coralinos de San Andrés y Providencia.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo del personal de la Secretaria de Agricultura y Pesca de la Gobernación del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina; el personal técnico de CORALINA y el equipo técnico de Corales de Paz. Los autores agradecen particularmente a los pescadores del programa BanCO2 por su apoyo con las tareas de construcción, mantenimiento y monitoreo. A Daniele Florio, Carolina Vanegas, Raul Castillo, Alexandra Pineda, Angela Alegria, Andrea Caicedo, Nicasio Howard, Casimiro Newball, Alex Perez, y Mike Steele por su ayuda durante diferentes periodos del proyecto. El proyecto es un programa de la Secretaria de Agricultura y Pesca de la Gobernación del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina; CORALINA, Conservación Internacional Colombia y Corales de Paz.

LITERATURA CITADA

- ECOTEAM. 2016. *Programa de Monitoreo de Ecosistemas Marinos y Costeros en la Isla de San Andrés: Informe Arrecifes Coralinos (Rep.)*. San Andrés Island: Ecological Analysis and Environmental Management Projects.
- Franke-Ante, R., E. Zarza, M. Cano-Correa, J.A. Wong-Lubo y E. Hernández. 2014. Aportes a la consolidación de un proceso regional para la conservación de arrecifes coralinos: ensayos para la estandarización de metodologías para el repoblamiento de especies amenazadas del género *Acropora* en tres Parques Nacionales Naturales del Caribe. *Biota Colombia* 15:114 - 131
- Frias-Torres, S., P. Montoya-Maya, y N. Shah (Eds.). 2018. *Coral Reef Restoration Toolkit: A Field-Oriented Guide Developed in the Seychelles Islands*. Mahe, Republic of Seychelles: Nature Seychelles.
- Levy, G., L. Shaish, A. Haim y B. Rinkevich. 2010. Mid-water rope nursery-Testing design and performance of a novel reef restoration instrument. *Ecological Engineering* 36(4):560 - 569. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.003>
- Lirman, D. y S. Schopmeyer. 2016. Ecological solutions to reef degradation: optimizing coral reef restoration in the Caribbean and Western Atlantic. *PeerJ* 4, e2597. <https://doi.org/10.7717/peerj.2597>
- Montoya-Maya, P.H., K.P. Smit, A.J. Burt y S. Frias-Torres. 2016. Large-scale coral reef restoration could assist natural recovery in Seychelles, Indian Ocean. *Nature Conservation* 16:1.
- Rinkevich, B. 2008. Management of coral reefs: We have gone wrong when neglecting active reef restoration. *Marine Pollution Bulletin* 56 (11):1821 - 1824. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.08.014>
- Shafir, S., J. Van Rijn y B. Rinkevich. 2006. Steps in the construction of underwater coral nursery, an essential component in reef restoration acts. *Marine Biology* 149(3):679 - 687. <https://doi.org/10.1007/s00227-005-0236-6>
- Schopmeyer, S.A., D. Lirman, E. Bartels, D.S. Gilliam, E.E. Goergen, S.P. Griffin, et al. 2017. Regional restoration benchmarks for *Acropora cervicornis*. *Coral Reefs* 36(4):1047 - 1057. <https://doi.org/10.1007/s00338-017-1596-3>