

Importancia de los viveros de coral y su impacto socioeconómico

Importance of coral nurseries and their socioeconomic impact

Ricardo Rodríguez Salcié

Viceministerio de Recursos Costeros y Marinos, República Dominicana
ricardo.rodriguez@ambiente.gob.do / <https://orcid.org/0000-0001-8548-7791>

Andrea Valcárcel Abud

Thompson Rivers University
andrea.valcarcel@ambiente.gob.do / <https://orcid.org/0000-0002-3518-4626>

Yan Piero Bello De Lillo

Ministerio de Medio Ambiente, República Dominicana
Yan.Bello@ambiente.gob.do / <https://orcid.org/0000-0001-9018-2431>

Dorka Yasmín Evangelista Pérez¹, Dannerys Beatríz Báez Taveras², Javier Matos Mercedes³
 Universidad Autónoma de Santo Domingo

¹Dorka.Evangelista@ambiente.gob.do / <https://orcid.org/0000-0002-8125-519X>

²Dannerys.Baez@ambiente.gob.do / <https://orcid.org/0000-0002-6266-916X>

³Javier.Matos@ambiente.gob.do / <https://orcid.org/0000-0003-2876-7695>

Fecha de recepción: 29 de octubre de 2021

Fecha de aceptación: 5 de noviembre 2021

Fecha de publicación: 1 de enero de 2022

Favor citar de la siguiente forma:

Rodríguez, R., Báez Taveras, D.B., Valcárcel Abud, A., Evangelista Pérez, D.Y., Bello De Lillo, Y.P., y Matos Mercedes, J. (2022). Importancia de los viveros de coral y su impacto socioeconómico.

AULA Revista de Humanidades y Ciencias Sociales, 68 (1), 78-91

<http://doi.org/10.33413/aulahcs.2022.68i1.199>

RESUMEN

El ecosistema arrecifal es uno de los pilares que les brinda equilibrio a los ecosistemas marinos, sin embargo, a pesar de contener una diversidad excepcional, es uno de los más vulnerables ante catástrofes naturales y actividades antropogénicas. El deterioro de los ecosistemas arrecifales ha llevado a la búsqueda de soluciones innovadoras, impulsando así el desarrollo de viveros de corales *in situ* y *ex situ*. Desde el 2004, en la República Dominicana se ha impulsado la restauración de ecosistemas marinos mediante este método y se ha llegado a ver cómo estas acciones han afectado positivamente a las comunidades costeras tanto social como económicamente. En este artículo se discutirá el rol ecológico de los corales y las amenazas que enfrentan los ecosistemas arrecifales; para luego pasar a detallar el proceso, mantenimiento y evaluación de los viveros de corales; y culminar con un análisis del impacto socioeconómico de las plantaciones de corales, sobre la población.

Palabras clave: arrecifes, cambio climático, concientización ambiental, ecosistemas marinos, plantación *in situ*, plantación *ex situ*, sostenibilidad costera, viveros de coral.

ABSTRACT

Coral reef ecosystems are one of the pillars that provide balance to marine ecosystems, however, despite containing an exceptional diversity, it is one of the most vulnerable to natural disasters and anthropogenic activities. The deterioration of reef ecosystems has led to the search for innovative solutions, thus promoting the development of *in situ* and *ex situ* coral nurseries. Since 2004, the Dominican Republic has been promoting the restoration of marine ecosystems through this method and has come to see how these actions have positively affected coastal communities both socially and economically. This article will discuss the ecological role of corals and the threats facing reef ecosystems; followed by a detailed review of the process, maintenance and evaluation of coral nurseries; and concluding with an analysis of the socioeconomic contributions that coral plantations grant to a population.

Keywords: climate change, coastal sustainability, coral nurseries, coral reefs, environmental awareness, *ex situ* planting, *in situ* planting, marine ecosystems.

Definición de ecosistema arrecifal y corales

Los arrecifes son estructuras submarinas construidas por corales. Los corales son animales marinos que viven en simbiosis con las algas (zooxantelas) y construyen su propio esqueleto de carbonato de calcio. Es un hábitat donde abundan multitud de especies animales y vegetales.

El arrecife coralino es uno de los ecosistemas más diversos del planeta y a la vez es uno de los más amenazados (Mumby y Steneck, 2008). De acuerdo a Hoegh-Guldberg et al. (2007), las especies de coral son tan diversas que abarcan el 25% de las especies marinas, y cubren el 1% del fondo marino.

Los corales son animales marinos pertenecientes al filo de los cnidarios, que constituyen el elemento más importante dentro del ecosistema arrecifal y son los principales constructores del sistema. Estos animales diblásticos, dentro de ellos las medusas, corales, anémonas e hidras, abarcan alrededor de 11 000 especies diferentes (Collins, 2009).

La presencia de los cnidarios comienza hace 580 millones de años. Los primeros arrecifes coralinos datan de hace 500 millones de años. Los corales modernos formadores de arrecifes, los escleractinios, aparecieron en la Era Secundaria hace 250 millones de años. La extensión de los arrecifes coralinos varía a lo largo del tiempo geológico dependiendo de la paleogeografía, las corrientes marinas, las variaciones climáticas y el nivel del mar.

Los corales se pueden clasificar en dos grandes grupos: los octocorales, también denominados corales blandos o ahermatípicos (latín) y los corales pétreos o hermatípicos (latín) (Sheppard et al., 2010).

Los corales forman colonias que, independientemente de su tamaño o especie, están conformadas por unidades individuales funcionales denominados pólipos, caracterizadas por tener diferenciación de tejidos, pero no órganos definidos (Veron, 2011).

Las mas numerosas y diversas poblaciones de corales están distribuidos en las zonas tropicales y subtropicales del mundo, evolucionando bajo condiciones

ambientales relativamente estables, contando con transparencia y temperaturas ideales para su crecimiento.

Tipos de arrecifes

Existen diferentes tipos de arrecifes, como son: el arrecife costero, el cual es estrecho y bordea la costa, como los que se aprecian en las Antillas; las barreras de coral, separadas de la costa por una laguna que puede alcanzar varias decenas de kilómetros de ancho, como las que se aprecian en Australia y Nueva Caledonia; el atolón, que es un arrecife anular de alta mar que rodea una laguna central, como los que se aprecian en el Océano Índico; y, finalmente, los bancos de arrecifes, que son edificios de coral construido en mar abierto sobre bancos de arena.

Desde hace 1.8 millones de años hasta la actualidad, las formaciones coralinas han evolucionado conforme a variaciones en el nivel del mar durante la alternancia de períodos glaciares e interglaciares. El aumento del nivel del mar provoca un crecimiento esencialmente vertical para compensar el aumento del nivel del mar para luego dar paso al crecimiento horizontal de los arrecifes (Montaggioni, 2007).

El declive mundial de los corales coincide con el actual periodo que vive la tierra, el antropoceno, inducido por las actividades humanas principalmente debido a la eutrofización, pérdida de calidad de las aguas costeras y el desarrollo mal concebido de la zona litoral.

Importancia y papel ecológico

El ecosistema arrecifal tienen un alto valor biológico por la biodiversidad que alberga, pero además, provee de diversos servicios ambientales al hombre. Por un lado, sostiene directamente pesquerías de tipo artesanal, y de manera indirecta el exceso de energía que exporta hacia la zona oceánica contribuye a actividades pesqueras de gran altura como es la pesca pelágica. Además, en el mundo se generan millones de dólares por las diferentes actividades turísticas recreativas debido al atractivo escénico que poseen, contribuyendo

de manera activa al sustento de las personas que habitan las zonas costeras (Alquezar y Boyd, 2007). Millones de personas en todo el mundo dependen de los arrecifes para su alimentación, protección y trabajo. Estas cifras son aún más impresionantes dado que los arrecifes cubren menos del 1% del océano (Hoegh-Guldberg et al., 2007).

Los arrecifes coralinos absorben la energía de las olas y ayudan a reducir la erosión de los bordes costeros. Reducen los daños causados por tormentas, huracanes y otros ciclones, así como, en cierto modo, la energía de los tsunamis. De este modo, protegen tanto los ecosistemas ubicados entre los arrecifes y las costas, como las lagunas que albergan praderas de pastos marinos, por ejemplo, y los asentamientos humanos ubicados junto al mar.

Según una estimación, el beneficio neto anual total de los arrecifes coralinos en todo el mundo es de 29,800 millones de dólares (“L’importance des récifs coralliens”, s.f.). Las actividades turísticas y de ocio representan 9,600 millones de dólares, la protección costera 9,000 millones, la pesca 5,700 millones y los servicios que protegen la biodiversidad 5,500 millones de dólares (Cesar et al., 2003). Los arrecifes son a menudo un elemento esencial en la economía de las regiones tropicales que los albergan.

Los arrecifes coralinos atraen a buceadores, pescadores recreativos y amantes de las playas de arena blanca. Más de 100 países se benefician del turismo de arrecifes y aportan más del 30% de los ingresos de exportación a más de 20 países (“L’importance des récifs coralliens”, s.f.).

El turismo de arrecifes, si se gestiona de manera sostenible y respetuosa, al limitar la destrucción y contaminación provocada por este mismo turismo, puede proporcionar recursos alternativos o ingresos adicionales para las comunidades costeras en países en desarrollo.

Se estima que más de 330 millones de personas viven a menos de 10 kilómetros de la costa y a menos de 30 kilómetros de arrecifes. Esto es, una octava parte de la población

mundial, o alrededor de mil millones de personas, vive a menos de 100 kilómetros de los arrecifes y es probable que se beneficie de los servicios de los ecosistemas que brindan los arrecifes (Manfrino, s.f.).

Una gran proporción de estas poblaciones humanas vive en países en desarrollo y naciones insulares y, por lo tanto, depende en gran medida de los alimentos que se obtienen directamente de las aguas de los arrecifes y de los medios de subsistencia directa e indirecta que pueden obtener.

Presiones ejercidas sobre los arrecifes coralinos

Tres fenómenos ejercen fuertes presiones sobre los ecosistemas de arrecifes coralinos: blanqueamiento de los corales, disminución de la tasa de herbivorismo y las actividades antropogénicas que llevan a la contaminación, sedimentación y a la aportación de nutrientes en exceso con el consiguiente aumento de la biomasa de algas que sofocan los corales.

El blanqueamiento de coral vinculado al cambio climático es el mayor problema al que se enfrentan los arrecifes coralinos a escala mundial. Este se produce como resultado de la expulsión del simbionte dinoflagelado *Symbiodinium* spp. (zooxantela) que proporciona más del 95% de los requerimientos metabólicos del coral (Hoegh-Guldberg, 1999).

En los años 1998, 2010 y 2015-16, ocurrieron tres eventos de blanqueamiento masivo pantropicales (Heron et al., 2016), lo que resultó en una alta mortalidad de los corales (Eakin et al., 2016). En 2016, el efecto de El Niño, el más fuerte registrado hasta ahora, generó el evento de blanqueamiento más grande y destructivo conocido hasta ese momento.

El desbalance del equilibrio de los arrecifes coralinos, debido principalmente al crecimiento desproporcionado de algas como consecuencia de la pesca no controlada de los peces herbívoros (como los loros y barberos) y la enfermedad epizoótica que afectó al erizo negro *Diadema antillarum* en el Caribe. Estas especies son esenciales para el equilibrio del

ecosistema arrecifal, ya que facilitan el reclutamiento de corales y el mantenimiento de la cubierta coralina, al reducir la competencia alga-coral (Mumby y Steneck, 2008).

La contaminación, la sedimentación y el aporte de nutrientes producto de las actividades antropogénicas, conducen a una degradación de la calidad del agua y al aumento de la biomasa de algas (Bellwood et al., 2004).

Jardinería de corales en República Dominicana

En vista del declive del estado de los arrecifes a nivel nacional y mundial, la comunidad científica y conservacionista se dispuso a llevar a cabo acciones para la conservación y restauración de estos ecosistemas. Esta necesidad ha generado el desarrollo de varias medidas de restauración activa como opciones de gestión suplementarias a las operaciones tradicionales de conservación, como eran la concientización y el monitoreo sin intervención. Rinkevich (1995) sugirió la estrategia de jardinería de arrecifes coralinos, un protocolo de dos pasos en el que el concepto central es la maricultura de fragmentos de coral en viveros para ser “sembrados” en sitios donde la acción mecánica ha destruido los constructores arrecifales.

El primer paso de la jardinería de coral consiste en cultivar fragmentos de coral en guarderías o viveros, que pueden ser *in situ* o *ex situ*. Los viveros *in situ* se instalan en zonas protegidas, donde los fragmentos de coral se cultivan hasta alcanzar un tamaño adecuado. En el segundo paso, las colonias de coral cultivadas en viveros se trasplantan a sitios de arrecifes que han sido degradados por acciones antropogénicas.

En República Dominicana, al igual que en el resto del Caribe, el esfuerzo de restauración se ha centrado en el género de coral *Acropora*, particularmente las especies *Acropora cervicornis* y *Acropora palmata* (Cortes-Useche et al., 2019).

Los primeros proyectos que utilizaron viveros de coral tuvieron lugar en el Indo-Pacífico durante la década de 1990 (Rinkevich, 1995; Epstein et al., 2001). No obstante, en

los últimos años, la implementación de estos métodos a lo largo del Gran Caribe se ha incrementado sustancialmente con más de 150 proyectos en 2016 gracias a la proliferación de financiación internacional para estos fines, y de negocios turísticos locales que aprovechan estos viveros para entretener a visitantes (Romon, 2018).

En República Dominicana, la restauración coralina tuvo sus inicios en el año 2004, cuando se instalaron dos viveros en el país, uno en Sosúa y otro en Punta Cana, bajo la “Iniciativa Caribeña de Jardinería de Coral” de la ONG Counterpart International, la cual incluyó también a Jamaica y Honduras.

En el año 2005, la Fundación Grupo Punta Cana (FGPC) lideró los esfuerzos en el país para la propagación y restauración de corales cuerno de alce *Acropora cervicornis*. En el año 2009, la FGPC firmó un acuerdo con la Universidad de Miami y Counterpart International para extender la jardinería de corales (“¿Quiénes somos?”, s.f.). A partir de esta iniciativa, se extendió rápidamente a otras partes del territorio nacional con la instalación de varios viveros bajo los esfuerzos de varias instituciones públicas y privadas locales.

Actualmente, en la República Dominicana existen varios proyectos de viveros de corales. En la provincia de La Altagracia, se encuentran los viveros en Bayahibe, manejados por la Fundación Dominicana de Estudios Marinos (FUNDEMAR); en Punta Cana, manejados por la Fundación Grupo Punta Cana y la Fundación Cap Cana; y en Bávaro, manejados por la Asociación de Acuáticas del Este e Hispaniola Aquatic Adventure. En la provincia de Santo Domingo, se encuentran viveros en La Caleta, manejados por Reef Check R.D., y en Boca Chica, manejados por la Fundación Verde Profundo. En la provincia de Puerto Plata, se encuentran viveros manejados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, a través del Viceministerio de Recursos Costeros y Marinos, y la Fundación Maguá. En la provincia de Samaná, se encuentran viveros en Las Galeras y en La Bahía, maneja-

dos por CEBSE, y en Las Terrenas, manejados por Corales Las Terrenas Foundation. En la provincia de Montecristi, se encuentran viveros manejados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, a través del Proyecto Biodiversidad Costera y Turismo. Finalmente, en la provincia de Azua, se encuentran viveros en Palmar de Ocoa, manejados por Rebecca García y Reef Check RD.

El 15 de febrero 2017 surgió el Consorcio Dominicano de Restauración Costera (CDRC) como un acuerdo de colaboración entre tres instituciones locales: la Fundación Grupo Punta Cana, Counterpart International, y la Fundación Dominicana de Estudios Marinos (FUNDEMAR). El CDRC se creó con el fin de promover una mejor gestión de todos los viveros del país, a través de una estructura de manejo con los mejores estándares posibles, rendimientos medibles y bien documentados, y evaluaciones de rendimiento basada en parámetros científicos. Mediante esta iniciativa se realizaron las primeras evaluaciones de viveros recién implementados en el país, con menos de 3 años de antigüedad, y pertenecientes al CDRC.

Los fondos para la creación del CDRC fueron provistos por Counterpart International. Sus esfuerzos continúan gracias al apoyo del proyecto “Biodiversidad y Negocios en Centroamérica y República Dominicana” de la GIZ, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, a través del Viceministerio de Recursos Costeros y Marinos, y la Red Arrecifal Dominicana.

La República Dominicana ha sido reconocida por los avances realizados en la jardinería de coral, por tal razón, en agosto de 2019, el país fue sede del “Intercambio de experiencias en jardinería de corales y drones submarinos”, realizado en Bayahibe y organizado en el marco del proyecto “Desarrollo de un mecanismo financiero innovador para la conservación de arrecifes coralinos en República Dominicana”, financiado por la Cooperación Alemana (GIZ). En este intercambio de experiencias participaron representantes de Gobierno, ONG, y los sectores académico

y privado de la República Dominicana, Costa Rica y Honduras.

Uno de los objetivos de este artículo es ayudar a promover el conocimiento acerca de los viveros de corales y de los parámetros físicos, biológicos, sociales y económicos clave que deben considerarse para el éxito óptimo de cada proyecto, y hacer un balance de las experiencias de la jardinería de corales en el país.

Parámetros económicos para trasplante y vivero *in situ*

Como ocurre con cualquier proyecto, desde el principio es fundamental evaluar adecuadamente los costes, pero desafortunadamente se publican pocos datos. No obstante, Edwards et al. (2010) han identificado varios parámetros económicos importantes.

Uno de los mayores costos de la jardinería de corales por medio de reproducción asexual *in situ* es el del trasplante de corales del vivero al arrecife (50% de los costos). La unión de los fragmentos recolectados a la estructura del vivero representa la segunda actividad más importante (26% de los costos). Por lo tanto, optimizar el rendimiento de estas dos actividades reduce significativamente el costo de la jardinería (Edwards et al., 2010).

Para seleccionar la distancia entre los sitios del vivero, el trasplante y el centro turístico, se debe hacer una evaluación de entre la sostenibilidad económica y la relevancia ecológica en la restauración de los arrecifes que necesita restaurarse. El material necesario para la construcción del vivero *in situ* representa solo el 5% de los costos anuales. Por lo tanto, se recomienda construir instalaciones robustas, para evitar daños intencionales o causados por tormentas.

Para asegurar la sostenibilidad financiera y el éxito de los viveros de corales es de suma importancia la participación activa de actores involucrados claves del sector hotelero, operadores turísticos y centros de buceo. En particular, se debe señalar que el interés de la industria hotelera ante estas iniciativas se ramifica de los beneficios ecológicos y económicos que las mismas proveen. La plan-

taciones de corales sirven para conservar las playas de los hoteles y funcionan como atracciones turísticas para sus huéspedes.

Previo a la restauración del arrecife coralino, los involucrados en la calidad ambiental del lugar deben facilitar el restablecimiento del proceso de retroalimentación ecológica positiva incluyendo la reducción de contaminantes y el aumento de la herbivoría para controlar el crecimiento algal. De esa manera se revierte el proceso de retroalimentación ecológica negativa inducido por la depredación, las enfermedades y la competencia (Ladd et al., 2018). Para minimizar los riesgos ambientales negativos antes mencionados (depredación, enfermedades, contaminación, suministro de nutrientes, blanqueamiento, rotura por tormentas, etc.), es conveniente establecer varios viveros y sitios de trasplante en diferentes ambientes, para de esta forma, no perder todos los fragmentos (Johnson et al., 2011).

Vivero *ex situ*

La cría de fragmentos de coral a partir de la reproducción asexual en viveros *ex situ* tiene poco interés debido a que los altos costos superan los beneficios en comparación con la cría *in situ* (Edwards et al., 2010). Los beneficios de los viveros *ex-situ* incluyen la cría de larvas de coral en acuarios y laboratorios y la disponibilidad de una reserva genética en caso de muerte por asfixia u otros fenómenos ambientales.

En algunos casos, una combinación de restauraciones pasivas, como es la gestión de la pesca, y restauraciones activas, como son la eliminación de algas y el trasplante de coral, son necesarias para una implantación viable.

La Fundación Dominicana de Estudios Marinos (FUNDEMAR) es la única institución en el país en utilizar los procedimientos que propicia el Laboratorio de Reproducción Asistida de Corales, ubicado en Bayahibe, aplicada a la restauración de arrecifes coralinos. Esta institución ha logrado reproducir con éxito especies como *Acropora palmata*, *Acropora cervicornis* y *Dendrogyra cylin-*

drus y ha encontrado con bastante exactitud las fechas y horas del desove de gametos de otras especies como *Colpophyllia natans*, *Orbicella annularis* y *Orbicella faveolata* (FUNDEMAR, s.f.).

El Viceministerio de Recursos Costeros y Marinos ha participado en estas actividades brindando asistencia a FUNDEMAR. Dos técnicos del viceministerio habían sido capacitados previamente para implementar estas técnicas en el taller “Restoring Reefs: Advanced Training in Coral Larval Propagation”, desarrollado por SECORE International, que se celebró en junio de 2018 en la ciudad de Willemstad, Curazao. En una segunda etapa el taller se realizó en Puerto Morelos, México. Aunque estas técnicas en la actualidad no forman parte del cuerpo técnico del Viceministerio de Recursos Costeros y Marinos, ambas participan en instituciones privadas relacionadas al tema, aplicando sus conocimientos en el país.

Fertilización *ex situ* de gametos de corales emisores

El procedimiento consiste en la recolección de gametos *ex situ*, para luego transferir los grupos de gametos recolectados a una pileta o pecera de agua de mar y ajustar todo a un volumen conocido, para así poder facilitar la fertilización. Los parámetros importantes a tener en cuenta son la calidad del agua, la temperatura y la duración de la fertilización. Para garantizar una calidad óptima del agua, debe tomarse el agua de mar de la cuenca inicial y filtrarse, y el exceso de esperma debe ser eliminado. De hecho, los riesgos de polispermia y la disminución de la calidad del agua debido a la degradación de los espermatozoides supernumerarios pueden provocar una alta mortalidad embrionaria (Edwards et al., 2010).

La fase de trasplante

Los reclutas de coral generalmente se mantienen en sustratos artificiales en viveros *ex-situ* o *in-situ* durante varios meses, o incluso años antes de su trasplante, porque los viveros *ex-situ* ofrecen una mejor protección

contra la depredación y competencia de los peces, las algas y la sedimentación (Guest et al., 2014; Nakamura et al., 2011). Sin embargo, dos enfoques se oponen a la vida útil de los reclutas en el vivero: el primero aboga por un crecimiento prolongado en el vivero antes del trasplante puesto que la mortalidad de los reclutas trasplantados disminuye con su tamaño (Vermeij y Sandin, 2008); mientras que el segundo apunta a un trasplante rápido después de la metamorfosis, lo que permite la selección natural de genotipos capaces de hacer frente a las condiciones estresantes del lugar del trasplante. Este segundo enfoque permite una mejor sostenibilidad de los proyectos de restauración, al ser menores los costes (Van Oppen et al., 2015).

Parámetros socioeconómicos para trasplante y vivero *ex situ*

Se deben considerar los mismos parámetros que para los viveros *in situ* y el trasplante. Sin embargo, el vivero *ex situ* requiere un permiso de construcción. Esto aumenta aún más la lentitud burocrática. Además, el vivero *ex situ* es particularmente favorable a la diversificación de los ingresos locales y a la sensibilización sobre las amenazas al arrecife, gracias al ecoturismo accesible al público en general, a través de visitas guiadas terrestres. Sin embargo, conlleva riesgos adicionales como la contaminación de las cuencas y el desarrollo de enfermedades, a través del manejo de corales por parte de visitantes o empleados / voluntarios. Por lo tanto, es necesario un estricto control de la calidad del agua por parte de personal calificado (Edwards et al., 2010).

La cría mediante reproducción sexual *ex situ* requiere una mayor experiencia y equipo especializado. Al igual que con la cría asexual *ex situ*, la mano de obra representa aprox. 50% de los costos anuales. Sin embargo, a diferencia del método anterior, el material ahora es de aprox. 30% de los costos anuales totales (Edwards et al., 2010).

Objetivos de tener viveros de coral

En el contexto de un ecosistema en el que fac-

tores bióticos y abióticos afectan el bienestar de los arrecifes naturales, uno de los objetivos de la plantación de los viveros de corales es la restauración de ecosistemas de arrecifes coralinos luego de estos verse afectados por diversos factores.

Una parte fundamental al momento de instalar un vivero de coral es la selección de las especies más apropiadas para la restauración de los arrecifes afectados. En el caso de República Dominicana, se utilizan especies del género *Acropora* por la rapidez de su crecimiento, la complejidad estructural que proveen al ecosistema y sus servicios ecosistémicos, aunque es cada vez más común encontrar especies de crecimiento más lento en los viveros para una restauración más integral (Lirman y Schopmeyer, 2016).

Otro objetivo de vital importancia de los viveros es la educación ambiental, en donde los viveros son utilizados para educar a estudiantes y ciudadanos sobre la importancia de la conservación de estos ecosistemas y las amenazas que los afectan (Lirman y Schopmeyer, 2016). Al concientizar a las comunidades sobre la importancia de los arrecifes coralinos y darle las herramientas necesarias para entender cómo conservar su estado, tanto en plantaciones como en formaciones naturales, se impulsa la sostenibilidad de estos proyectos de viveros.

Metodologías para la evaluación de viveros de coral y restauración de arrecifes

Uno de los aportes más recientes de la restauración de arrecifes coralinos en la República Dominicana, ha sido la puesta en circulación de un manual elaborado por el CDRC en el 2020 que propone un método de evaluación y estandarización de los indicadores de beneficios y funcionamiento de los viveros presentes en el país, además de orientar a la expansión de otros viveros en la isla y la Región del Caribe, teniendo en cuenta los estándares de calidad. El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la República Dominicana, como entidad rectora, es la encargada de realizar las evaluaciones de los viveros de coral a nivel nacional.

Dichas evaluaciones se realizan anualmente por el Viceministerio de Recursos Costeros y Marinos.

Se tienen en cuenta cuatro factores para la evaluación de viveros coralinos: 1) factores generales del vivero, 2) productividad del vivero, 3) el bienestar social que aporta el vivero y 4) estado del vivero; cada uno teniendo en cuenta requisitos obligatorios detallados (Consortio Dominicano De Restauración Costera, 2020).. Los factores generales del vivero abarcan los genotipos debidamente identificados, cantidad de especies, sostenibilidad del programa y monitoreo arrecifal. La productividad del vivero describe la cantidad de tejido vivo y su porcentaje, cantidad de fragmentos trasplantados en el año y cantidad de trasplantes realizados. El bienestar social busca confirmar que se realicen eventos educativos, se creen fuentes de trabajo y que haya una partición comunitaria activa. En cuanto al estado del vivero, se evalúa la cobertura de algas, depredación y enfermedades (Consortio Dominicano De Restauración Costera, 2020).

Se utiliza una ficha técnica para entrevistar al operador sobre informaciones generales del vivero, su manejo y constitución. En esta ficha se incluye el nombre del vivero, ubicación geográfica, fecha de establecimiento inicial, fundadores, responsables actuales, cantidad de especies del vivero, origen de fragmentos colectados con coordenadas, número de fragmentos colectados, si posee permiso legal, fecha de última evaluación, si realiza eventos educativos, si integran a la comunidad, entre otras informaciones específicas descritas en el Manual para la Evaluación de Viveros de Coral por el Consortio Dominicano De Restauración Costera (2020).

Luego de entrevistar al operador, se deben validar los datos que se provean a través de la solicitud de pruebas de origen oficial para comprobar que cumplan con los requisitos mandatorios que son: contar con el origen de fragmentos y su georreferenciación, crecimiento y tamaño de los fragmentos, lugares de colecta de fragmentos, colonias donantes,

adecuada ubicación del vivero para su desarrollo, mantenimiento constante y permiso ambiental.

Posteriormente se procede a hacer una evaluación *in situ* del estado y productividad del vivero. Para esto, se utiliza una ficha técnica que contiene la cantidad de tejido vivo por fragmento que tiene el vivero clasificado en cm: 1-5, 6-10, 11-15, 16-20; 21-25; 26-50; 51-100; 101-200; > 200. Se miden cada una de las ramas del fragmento, se suman y se anotan en la ficha técnica según el resultado obtenido. En el caso de que no haya ramas, se considera el diámetro máximo del fragmento como una rama.

La ficha de evaluación de viveros *in situ* también evalúa el porcentaje de tejido vivo, el porcentaje de cobertura de algas, el porcentaje de depredación y el porcentaje de enfermedades visualizadas al realizar la evaluación.

Los 4 factores evaluados se pasan a diferentes hojas de Excel para luego obtener la calificación total. Se suman los resultados de cada uno de los indicadores de cada factor, obteniendo 4 calificaciones, luego estas se multiplican por el ponderado que se le indicó a cada categoría:

- Requisitos mandatorios
- Factores generales * 0,1
- Productividad *0,4
- Bienestar social *0,1
- Estado * 0,4

De esta forma se obtiene un valor ponderado de cada factor y se procede a sumar los 4 valores resultantes para luego multiplicarlo por el valor de requisitos mandatorios, en el que si el vivero cumple la puntuación será 1 y si no cumple será 0 (Consortio Dominicano De Restauración Costera, 2020).

Importancia socioeconómica para los sectores involucrados

Los arrecifes coralinos son ecosistemas que brindan un sinnúmero de beneficios económicos y sociales por lo que su continuo declive se traduce en el detrimento de aspectos de la vida humana de las comunidades que habitan en las zonas costeras. Con la implementación

de estrategias de conservación como la creación de viveros de coral se logra amortiguar la pérdida de algunos de estos beneficios que brindan los arrecifes a las comunidades; entre estos, restauran la complejidad estructural para la formación de refugios de especies de peces de interés comercial, ofrecen un espectáculo visual de interés para el ecoturismo y generan empleos debido a la necesidad de darles mantenimiento periódico.

El empleo de las comunidades pesqueras para llevar a cabo las actividades de mantenimiento de los viveros de coral sirve también de solución para eliminar el estrés generado por la pesca artesanal a los arrecifes, así también los pescadores no tendrán la necesidad de arriesgar sus vidas para buscar el sustento de sus familias.

Las comunidades locales también se ven beneficiadas por el espacio educativo que puede generar la presencia de un vivero de coral, involucrando así a los jóvenes en actividades conmemorativas y educacionales en relación al cuidado y preservación de nuestros recursos marinos, logrando así mantener el interés de preservar nuestras costas a través de las generaciones siguientes.

Es de gran importancia involucrar desde un principio a los sectores locales relacionados con el turismo, especialmente los establecimientos hoteleros de la zona, y particularmente los centros de buceos que operan en ellos; al mismo tiempo es fundamental el involucramiento de otros sectores, particularmente pescadores artesanales y asociaciones de pescadores, y la población en general, incluidas escuelas y colegios, que puedan convertirse en efectivos agentes multiplicadores de los beneficios que deriva la comunidad con esta actividad.

Edwards et al., (2010), Mumby et al., (2014), y Sorice et al., (2007), postulan recomendaciones ambientales, sociales y económicas para garantizar un mayor éxito de los viveros *in situ* y el trasplante de coral. Estas referencias deben ser consideradas al momento de proponer una localización para la plantación de viveros de corales.

Algunas de estas recomendaciones inclu-

yen la participación en la gestión regulada de la pesca de herbívoros para sensibilizar a la población local sobre el papel positivo de los peces loro en la salud de los corales y para impulsar la reducción del uso de trampas (nasas) para peces, ya que los loros suelen ser capturas accidentales. También se debe buscar como objetivo diversificar presas, e incluso incentivar la pesca de especies invasoras objetivo como el pez león (*Pterois volitans*).

Por igual, se debe tener una gestión sostenible y adecuada hacia el turismo de masas. Se debe estar pendiente de las zonas turísticas para elegir sitios para el vivero *in situ* y para el trasplante que estén lo suficientemente lejos del centro turístico. Así mismo, en el caso de tener excursiones provenientes de dichos centros turísticos, se debe capacitar un guía para supervisar a los buzos turistas y educarlos sobre los riesgos para los corales. Por este mismo medio, se debe ofrecer ecoturismo accesible al público local y para así también concientizar a la comunidad.

Finalmente, pero no menos importante, al momento de idear la instalación de un vivero de corales, se deben obtener los permisos necesarios del Ministerio de Medio Ambiente, vía el Viceministerio de Recursos Costeros y Marinos. Desde la fase inicial del proyecto, se debe planificar y explicar claramente las limitaciones de tiempo asociadas con la obtención de estos permisos y se debe mantener una relación de cooperación con las autoridades, antes y durante el proyecto.

Si ya se tiene el permiso y se va a instalar el vivero, se recomienda encontrar patrocinadores entre los clubes de buceo locales para facilitar la disponibilidad de tanques, bote, y capitán, así llegan a un compromiso entre la sostenibilidad económica y la relevancia ecológica. Por igual, se debe fomentar la participación de voluntarios y operadores turísticos locales a cambio de visitas a viveros y sitios de trasplante a sus clientes; y se debe considerar desarrollar un sistema de pasantías pagadas para que los turistas o estudiantes adquieran técnicas de jardinería de coral si esto está dentro de las posibilidades.

Conclusiones

En todo el mundo, los arrecifes coralinos están amenazados por la sobrepesca o la pesca destructiva, el desarrollo costero, contaminación costera y marina, daños causados por embarcaciones y calentamiento global. Ante esta alarmante observación, gobiernos y organizaciones no-gubernamentales desarrollan medidas de seguimiento, conservación y mediación. Programas de restauración, por lo tanto, han surgido programas de restauración de arrecifes, incluida la jardinería de coral.

Finalmente, es importante enfatizar que la jardinería de coral no puede restaurar especies o ecosistemas completamente agotados, especialmente cuando el medio ambiente y los desafíos climáticos persisten. Además, para ser relevante, la jardinería de coral debe ser combinada con otras herramientas de gestión local como la gestión costera, las prácticas de pesca en áreas protegidas sostenibles y marinas, para promover la resiliencia de los arrecifes.

Muchos avances aún están por realizarse y quedan muchas preguntas en cuanto a los métodos que favorecen el proceso de retroalimentación ecológica positiva o métodos que inhiben los procesos de retroalimentación ecológica negativa. Además, persisten muchas preocupaciones, como la introducción de patógenos y la pérdida de aptitud de las poblaciones silvestres a través de la reducción de la variación genética a través de la introducción de trasplantes, y se requieren más datos científicos.

La mayoría de los viveros de coral de nuestro país han surgido como resultado del financiamiento de organismos internacionales como Counterpart International, la GIZ y The Nature Conservancy.

Hasta el momento no disponemos de información ni de estudios económicos que cuantifiquen los beneficios económicos versus costos de operación y mantenimiento de los proyectos de jardinería de coral. Hasta el momento, no se ha logrado la auto-sustentación de un vivero solo por los ingresos generados por el mismo. Sobre todo, carecemos de información que nos indique cuál ha sido

el resultado de los proyectos que los hayan incluido como atractivo para el buceo contemplativo o científico.

Los corales son organismos con poca capacidad para adaptarse a las condiciones cambiantes del entorno en el que viven. Sin embargo, los datos geológicos muestran que, a lo largo del tiempo, han experimentado grandes variaciones climáticas. Se adaptaron porque estos cambios se realizaron sin problemas. También pueden sobrevivir a muchas variaciones repentinas si las condiciones entre estas variaciones siguen siendo viables. Desafortunadamente, todo se está acelerando con el calentamiento global y es esto, junto con los problemas locales de sobrepesca, pesca destructiva y contaminación, lo que pone en peligro los arrecifes.

Para contrarrestar los efectos que están sufriendo los ecosistemas de arrecifes con este cambio repentino, hay dos opciones: adaptación y mitigación. La adaptación implica esfuerzos de investigación y conservación a nivel local para fortalecer la resiliencia de los ecosistemas a través de actividades como restauración de arrecifes, identificación de especies más resistentes, reducción de la sobrepesca y creación de áreas marinas protegidas (Hughes et al., 2003).

Las áreas marinas protegidas son consideradas como la mejor herramienta de manejo para la conservación de arrecifes coralinos y otros ambientes marinos, porque, al estar cerradas a la pesca no regularizada, brindan un hábitat seguro para que las especies marinas se desarrollen, se reproduzcan libremente y restauren el ambiente marino vecino. Corregir las deficiencias en el monitoreo de las áreas marinas protegidas es clave para el éxito de los proyectos de restauración coralina.

Por igual es importante reconocer que la adaptación por sí sola no es suficiente. Se necesita una acción global para mitigar los efectos del cambio climático reduciendo las emisiones, mejorando la eficiencia energética, limitando la deforestación y aumentando los sumideros de carbono. En este punto, se supone que las medidas de mitigación solo detendrán el calentamiento, ya que el impac-

to del cambio climático parece ser irreversible (Lowe et al., 2009).

El pronóstico

Los científicos de arrecifes coralinos de todo el mundo están de acuerdo en que el medio marino en general y los arrecifes coralinos en particular están sintiendo los efectos del cambio climático. La mayoría de ellos cree que el ritmo del cambio climático podría destruir su capacidad para adaptarse y regenerarse (Hoegh-Guldberg, 2012).

La situación en el Caribe es más preocupante que en la región del Pacífico-Asia. Los estudios sugieren que las poblaciones de erizos de mar inferiores permiten que las algas proliferen en detrimento de los corales. Una posible solución es mantener una población de peces loro saludable para controlar el crecimiento de algas. A pesar de los estudios, no se ha establecido la capacidad de los corales para adaptarse a aguas más cálidas para muchas especies. Sin embargo, los científicos han notado que, en algunas áreas, especialmente aquellas partes del Pacífico donde los arrecifes están alejados de la actividad humana, estos han demostrado su capacidad para resistir el aumento de la temperatura del agua de mar en la superficie y el blanqueamiento.

En la República Dominicana, mediante

el Decreto 418-21, se establece una veda de dos años para varias especies, incluyendo los peces loro (familia Scaridae), peces doctores (familia Acanthuridae) y los peces ángeles (familia Pomacanthidae). A través de estas acciones se busca conservar el equilibrio poblacional de estas especies para así llegar a un equilibrio dentro del ecosistema arrecifal.

Dada la evidencia que apunta a la casi inevitable desaparición de los arrecifes coralinos existe una necesidad urgente de que los científicos marinos tomen la iniciativa para controlar la situación y movilizar al público y a las comunidades amenazadas sobre la realidad de la amenaza. Este compromiso es esencial si queremos cambiar verdaderamente las actitudes y los comportamientos. El conocimiento científico debe conducir a soluciones prácticas que obtengan el apoyo del público. A mayor escala, se necesita la colaboración entre los gobiernos y las comunidades afectadas para formular e implementar políticas orientadas a la sostenibilidad a largo plazo.

¿Estamos librando una batalla perdida? Es muy posible que el cambio climático haya pasado por un punto sin retorno. Lo cierto es que cualquier solución al problema del cambio climático es también una solución a la regeneración de los arrecifes coralinos.

Referencias

- Alquezar, R., y Boyd, W. (2007). Development of rapid, cost effective coral survey techniques: tools for management and conservation planning. *Journal of Coastal Conservation*, 11(2), 105-119. doi: 10.1007/s11852-008-0011-1
- Bellwood, D., Hughes, T., Folke, C., y Nystrom, M. (2004). Confronting the coral reef crisis. *Nature*, 429(6994), 827-833. doi: 10.1038/nature02691
- Cesar, H., Burke, L., y Pet-Soede, L. (2003). *The economics of worldwide coral reef degradation*. (Technical Report). Cesar Environmental Economics Consulting.
- Collins, A. G. (2009). Recent insights into cnidarian phylogeny. *Smithsonian contributions to the marine sciences*, 38, 139-143.
- Consorcio Dominicano de Restauración Costera (2020). Manual para la Evaluación de Viveros de Coral, 14-27. https://www.redarrecifaldominicana.org/wp-content/uploads/2020/09/Manual_CDRC_compress_FINAL-1.pdf
- FUNDEMAR (s.f.). Conservación de Arrecifes. <https://www.fundemardr.org/copy-of-mamiferos-marinos>
- Cortés-Useche, C., Muñoz-Castillo, A., Calle-Triviño, J., Yathiraj, R., y Arias-González, J. (2019). Reef condition and pro-

- tection of coral diversity and evolutionary history in the marine protected areas of Southeastern Dominican Republic. *Regional Studies In Marine Science*, 32, 100893. doi: 10.1016/j.rsma.2019.100893
- Eakin, C., Sweatman, H., y Brainard, R. (2019). The 2014–2017 global-scale coral bleaching event: insights and impacts. *Coral Reefs*, 38(4), 539-545. doi: 10.1007/s00338-019-01844-2
- Edwards, A. J. (2010). *Reef rehabilitation manual*. https://eprints.ncl.ac.uk/file_store/production/162691/3D-B9907B-DE8C-4FB0-979C-3D8B-9C4EA719.pdf
- Epstein, N., Bak, R., y Rinkevich, B. (2001). Strategies for Gardening Denuded Coral Reef Areas: The Applicability of Using Different Types of Coral Material for Reef Restoration. *Restoration Ecology*, 9(4), 432-442. doi: 10.1046/j.1526-100x.2001.94012.x
- Guest, J., Baria, M., Gomez, E., Heyward, A., y Edwards, A. (2013). Closing the circle: is it feasible to rehabilitate reefs with sexually propagated corals? *Coral Reefs*, 33(1), 45-55. doi: 10.1007/s00338-013-1114-1
- Heron, S., Maynard, J., Van Hoodonk, R., y Eakin, C. (2016). Warming Trends and Bleaching Stress of the World's Coral Reefs 1985–2012. *Scientific Reports*, 6(1). doi: 10.1038/srep38402
- Hoegh-Guldberg, O. (1999). Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and Freshwater Research*. doi: 10.1071/mf99078
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P., Hooten, A., Steneck, R., Greenfield, P., y Gomez, E. et al. (2007). Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. *Science*, 318(5857), 1737-1742. doi: 10.1126/science.1152509
- Hoegh-Guldberg, O. (9-13 July 2012). Coral Reefs and Global Change: Where do the solutions lie? International Coral Reef Symposium. <https://www.icrs2012.com/>
- Hughes, T., Baird, A., Bellwood, D., Card, M., Connolly, S., y Folke, C. et al. (2003). Climate Change, Human Impacts, and the Resilience of Coral Reefs. *Science*, 301(5635), 929-933. doi: 10.1126/science.1085046
- Johnson, M. E., Lustic, C., Bartels, E., Baums, I. B., Gilliam, D. S., Larson, E. A. y Schopmeyer, S. (2011). *Caribbean Acropora restoration guide: best practices for propagation and population enhancement*. https://nsuworks.nova.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1076&context=occ_facreports
- Ladd, M., Miller, M., Hunt, J., Sharp, W., y Burkepile, D. (2018). Harnessing ecological processes to facilitate coral restoration. *Frontiers In Ecology and the Environment*, 16(4), 239-247. doi: 10.1002/fee.1792
- Lirman, D., y Schopmeyer, S. (2016). Ecological solutions to reef degradation: optimizing coral reef restoration in the Caribbean and Western Atlantic. *Peer J*, 4, e2597. doi: 10.7717/peerj.2597
- Lowe, J., Huntingford, C., Raper, S., Jones, C., Liddicoat, S., y Gohar, L. (2009). How difficult is it to recover from dangerous levels of global warming? *E Letters*, 4(1), 014012. doi: 10.1088/1748-9326/4/1/014012
- Manfrino, C. (s.f). *Podemos salvar los arrecifes de coral?* Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/chronicle/article/podemos-salvar-los-arrecifes-de-coral>.
- Montaggioni, L. (2007). *Coraux & récifs*. Société géologique de France.
- Mumby, P. J., y Steneck, R. S. (2008). "Coral Reef Management and Conservation in Light of Rapidly Evolving Ecological Paradigms". *Trends in Ecology and Evolution*, 23(10), pp. 555-563.
- Mumby, P., Wolff, N., Bozec, Y., Chollett, I., y Halloran, P. (2014). Operationalizing the resilience of coral reefs in an era of climate change. *Conservation Letters*, 7(3), 176-187. doi: 10.1111/conl.12047
- Nakamura, M., Ohki, S., Suzuki, A., y Sakai, K. (2011). Coral Larvae under Ocean Acidification: Survival, Metabolism, and Metamorphosis. *Plos One*, 6(1), e14521.

- doi: 10.1371/journal.pone.0014521
- Reyna-Fabián, M., Espinoza, A., Seingier, G., Ortiz-Lozano, L., y Espejel, I. (2018). De la evaluación ecológica a la socio-ecológica: la vulnerabilidad de los arrecifes de coral ante los factores de estrés asociados al cambio climático. *Sociedad y ambiente*, (17), 59-92.
- Rinkevich, B. (1995). Restoration Strategies for Coral Reefs Damaged by Recreational Activities: The Use of Sexual and Asexual Recruits. *Restoration Ecology*, 3(4), 241-251. doi: 10.1111/j.1526-100x.1995.tb00091.x
- Romon, A. (2018). *Jardinería de Coral como Herramienta de Restauración de Arrecifes: Elementos para optimizar y revisar experiencias en el Caribe* (Tesis no publicada). Departamento de Biología, Facultad de Ciencia, Universidad de Sherbrooke.
- Sheppard, C., Al-Husiani, M., Al-Jamali, F., Al-Yamani, F., Baldwin, R., y Bishop, J. et al. (2010). The Gulf: A young sea in decline. *Marine Pollution Bulletin*, 60(1), 13-38. doi: 10.1016/j.marpolbul.2009.10.017
- Sorice, M., Oh, C., y Ditton, R. (2007). Managing Scuba Divers to Meet Ecological Goals for Coral Reef Conservation. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36(4), 316-322. doi: 10.1579/0044-7447(2007)36[316:msdtme]2.0.co;2
- Van Oppen, M., Oliver, J., Putnam, H., y Gates, R. (2015). Building coral reef resilience through assisted evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(8), 2307-2313. doi: 10.1073/pnas.1422301112
- Vermeij, M., Smith, J., Smith, C., Vega Thurber, R., y Sandin, S. (2008). Survival and settlement success of coral planulae: independent and synergistic effects of macroalgae and microbes. *Oecologia*, 159(2), 325-336. doi: 10.1007/s00442-008-1223-7
- Veron, J. (2010). Coral Taxonomy and Evolution. *Coral Reefs: An Ecosystem In Transition*, 37-45. doi: 10.1007/978-94-007-0114-4_4



Ricardo Rodríguez

Encargado del Departamento de Conservación de Ecosistemas Costeros y Marinos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, República Dominicana.



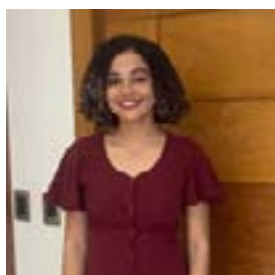
Andrea Valcárcel Abud

Técnico de la Dirección de Recursos Marinos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Bióloga Animal, con Licenciatura en Ciencia, graduada de Thompson Rivers University. Actualmente cursando la Maestría en Ciencia en Ecología y Medio Ambiente en la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU).



Dorka Yasmín Evangelista Pérez

Técnico de la Dirección de Recursos Marinos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Estudiante de tesis en Enfermedades de Corales Pétreos de la carrera de Licenciatura en Biología de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD).



Dannerys Beatriz Báez Taveras

Técnico de la Dirección de Recursos Marinos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Estudiante de término de la Licenciatura en Biología en la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD).



Yan Piero Bello De Lillo

Técnico del Departamento de Ordenamiento de Recursos Marinos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Estudiante de término de la Licenciatura en Biología en la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD).



Javier Matos Mercedes

Técnico de la Dirección de Recursos Costeros del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Estudiante de término de la Licenciatura en Biología en la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD).