

CASOS DE ESTUDIO EN LA RESTAURACIÓN DE ARRECIFES DE CORAL DE PUERTO RICO

**Héctor J. Ruiz¹, Antonio L. OrtizProsper², Michael I. Nemeth¹,
Michelle T. Schärer¹ y Sean Griffin³**

**1 HJR Reefscaping P.O. Box 1126, Hormigueros Puerto Rico, 00660,
Correo electrónico: astreoides@gmail.com**

**2 UPR Recinto de Aguadilla,
P.O. Box 6150 Aguadilla, Puerto Rico 00604-6150**

**3 Earth Resources Technology, Inc. and NOAA Restoration Center, 260
Guard Rd. Aguadilla, PR 00605**

Introducción

Los arrecifes de coral nos proveen protección de costas, son centros de alta diversidad y proveen hábitat a una gran variedad de peces e invertebrados de importancia recreacional y comercial. En las últimas décadas los corales en el Caribe han disminuido a tal extremo que algunas de las especies han sido clasificadas como amenazadas y actualmente se están considerando como en peligro de extinción. En Puerto Rico muchos de los arrecifes han sido impactados por causas naturales (tormentas, enfermedades, blanqueamiento y depredación) (Figura 1) y por estresores relacionados a los humanos como encallamientos, desarrollo costero y degradación de aguas costeras (Figura 2) (Hughes et al. 2003).

Una porción grande de el declive registrado se debe a la dramática pérdida en los corales del género *Acropora*. Las poblaciones de estos Acroporidos en el Caribe ha disminuido en 80-90% desde el 1980 (Bruckner 2002). *Acropora cervicornis* (cuerno de ciervo) y *Acropora palmata* (cuerno de alce) fueron listadas como amenazadas de extinción en el 2006 y actualmente se están considerando incluir en la lista de especie en peligro de extinción. La disminución significativa de estas especies acompañado de otras muy importantes (*Montastraea annularis*, *Diploria strigosa*, *D. labyrinthiformis*, entre

otros corales masivos); ha cambiado los arrecifes de coral, de estructuras con espectacular tridimensionalidad a planicies marinas de poco relieve. La pérdida de estas especies ha resultado en una gran disminución de la función y estructura de los arrecifes de coral. En efecto se ha reducido significativamente la capacidad de los arrecifes para proveer los servicios ecológicos, económicos y sociales que nos habíamos acostumbrado recibir.

La restauración, el cultivo y propagación de corales ha surgido como una alternativa para contrarrestar este rápido cambio en el ecosistema marino. Recientemente diferentes técnicas de cultivo han sido probadas y se han convertido en importantes herramientas de restauración y conservación a nivel mundial. La metodología de cultivos de coral donde colonias de coral o fragmentos son crecidos bajo el agua y luego son trasplantados a arrecifes degradados ha sido aplicada con éxito a diferentes escalas (Rinkevich 2000, Shafir et al. 2006, Amar and Rinkevich 2007). Utilizando el proceso natural de reproducción asexual a través de fragmentación, los viveros proveen una fuente sostenible de corales Acroporidos utilizados para recuperar las poblaciones existentes. Otros métodos de restauración incluyen la creación de arrecifes artificiales, la fijación al substrato de colonias afectadas por causas naturales como tormentas o impactadas por intervención humana como los encallamientos.

El objetivo de este trabajo es analizar 4 casos de restauración de arrecifes de coral en Puerto Rico (Figura 3). Para una descripción de los arrecifes de coral de Puerto Rico véase Ballantine 2012. Cada caso incorpora diferentes metodologías y especies para demostrar los alcances, beneficios, costos y participación comunitaria en estos ejemplos.



Figura 1 Ejemplos de alguno de los impactos naturales a arrecifes de coral. a- Blanqueamiento, b. Depredación.



Figura 2 Ejemplos de los impactos humanos a arrecifes de coral. a- Encallamiento (M/T Margara), b. Degradación de aguas costeras.

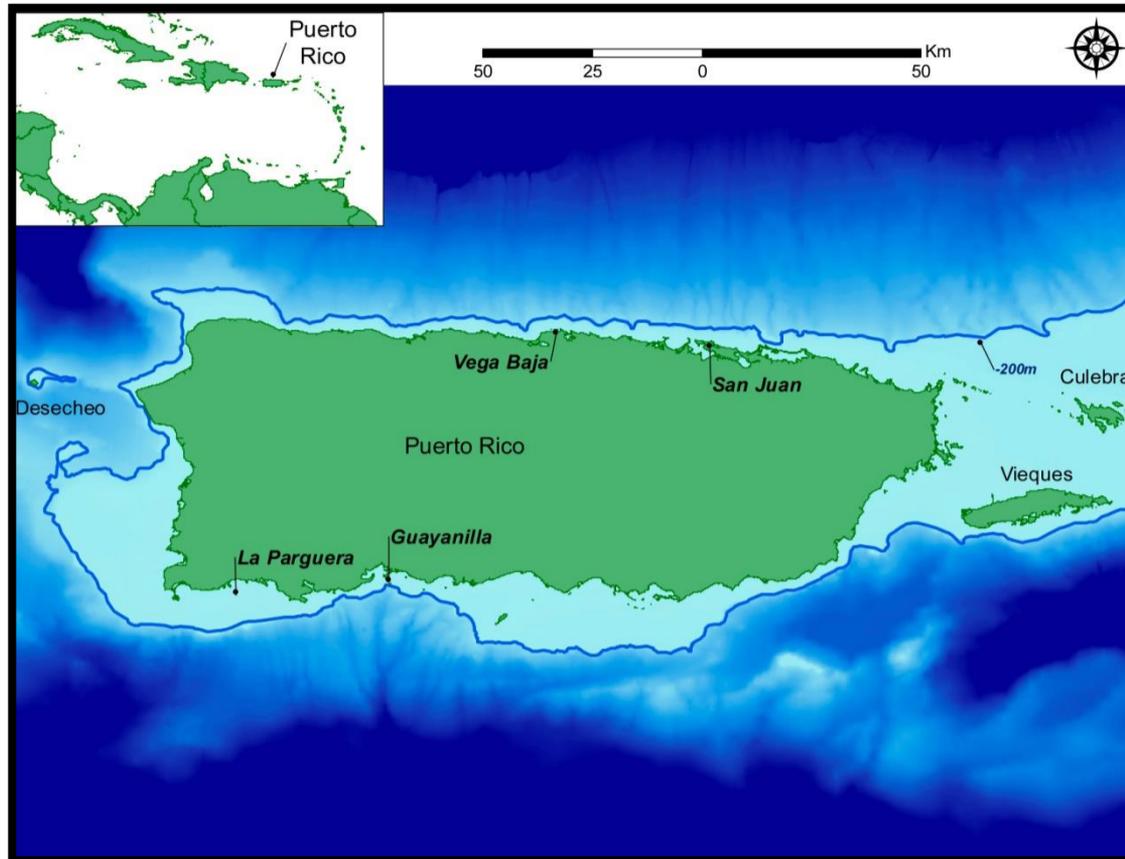


Figura 3 Mapa de Puerto Rico mostrando los lugares de los cuatro casos de estudio.

Metodología

Caso número 1: Estructuras artificiales (Taino Reef©) para restaurar arrecifes de coral.

En el 2006 se instaló un cable de fibra óptica en el fondo marino al norte de San Juan (Fig. 1). El cable impactó 3,160 metros cuadrados de hábitat marino en el cual se desestabilizaron 559 colonias de octocorales y 540 colonias de corales pétreos. La agencia reguladora requirió una mitigación por dichos daños a los hábitats esenciales para peces. Para esto se propuso la creación de estructuras de arrecife artificial en otra localidad cercana conocida como El Escambrón en San Juan. Las técnicas utilizadas para este proyecto incluyen la construcción de estructuras en forma de montículos de coral con cemento, arena y piedra conocidos como Taino Reef (Figura 4). Cada montículo pesa alrededor 340 kg con medidas de 1.6 m de largo por 1 m de ancho. A cada Taino Reef se le fijaron 3 colonias de coral pétreo y un octocoral de lugares cercanos. Se establecieron

200 Taino Reef para mitigar el área impactada por el cable. Se requirió además el monitoreo de las colonias fijadas y el mantenimiento de los Taino Reef durante 5 años. Gracias a este seguimiento se pudo cuantificar la sobrevivencia de corales y octocorales.



Figura 4 Estructura de Taino Reef con corales y octocorales fijados a esta en El Escambrón, San Juan.

Las estructuras fueron colonizadas por procesos naturales por un promedio de 4.6 reclutas (Figura 5) de coral por Taino Reef al año, además de las colonias trasplantadas. Más de 80% de las colonias trasplantadas han sobrevivido durante 3.5 años. Los Taino Reef proveen hábitat para peces dado que son estructuras complejas colocadas en un fondo plano (Figura 6) (Schärer et al. 2010). El Escambrón es un lugar muy frecuentado y por lo tanto las estructuras proveen para el buceo turístico y recreacional de la zona metropolitana.



Figura 5 Reclutamiento natural de corales a las estructuras Taino Reef. Esta fotografía muestra 19 colonias de coral creciendo luego de 3 años.



Figura 6 Utilización de estructuras de Taino Reef por peces de arrecife de importancia comercial y ecológica (pargo, peces loros y cirujanos).

El alcance ecológico de este proyecto está limitado al lugar donde se instalaron las estructuras artificiales ya que mover los Taino Reef es costoso. Sin embargo la alta visitación de estos por el público es una alternativa a los arrecifes naturales en el área y crea conciencia sobre los problemas que enfrentan los corales actualmente. El costo de instalar los 200 Taino Reef fue de US\$ 200,000.00 y el mantenimiento por año cuesta unos US\$ 20,000.00.

La participación comunitaria en este proyecto consta de los buzos que frecuentan el área para cursos y pesca de pez león. Una de las escuelas de buceo ha adoptado los Taino Reef dándole vigilancia y removiendo basura del arrecife. La lección aprendida más importante es que la localización de las estructuras debe ser estudiado con anticipación debido a que pueden ser cubiertos por sedimentos afectando así la sobrevivencia de corales y otros organismos.

Caso número 2: Respuesta de emergencia para arrecife de coral impactado por el encallamiento del buque M/T Margara.

En abril del 2006 el buque de 228 m con 13 millones de galones de combustible se encalló al sur del puerto de Guayanilla (Figura 2, 3). El buque impactó directamente el arrecife de surco y espuelón en 10.5 m de profundidad y se estimó un daño a 7,500 metros cuadrados de área. El encallamiento y la remoción posterior del buque pulverizó el fondo con el impacto, destruyó la estructura del arrecife, desprendió colonias de corales, octocorales, esponjas y dejó pintura anti-fouling (patente) la cual es tóxica sobre las superficies del arrecife. La demolición del arrecife generó sedimentos y pedazos de carbonato que enterraron otros organismos (Figura 7).



Figura 7 Impactos en el arrecife por encallamiento del M/T Margara, demostrando diferencias de área impactadas en comparación a áreas naturales.

La respuesta de emergencia luego de remover el buque consistió de aglomerar en grupos las colonias de corales sueltas y levantar el tejido vivo para minimizar el contacto con el fondo. Del coral amenazado de extinción, *Acropora cervicornis* se recuperaron 950 fragmentos de colonias y se aseguraron en estructuras de PVC temporera para mejorar las probabilidades de sobrevivencia inicial (Figura 8). Se diseñó un plan de recuperación tomando en consideración las áreas impactadas, y aquellas de mejor posibilidad de sobrevivencia para fijar las colonias aglomeradas. Se fijaron 4,247 colonias de coral masivo y 5,328 octocorales con cemento hidráulico (mezcla de cemento y arena) y varilla de hierro. Aproximadamente 90 por ciento de los corales y octocorales han sobrevivido. Las colonias de *A. cervicornis* se usaron para establecer viveros en forma de tendaderos o floating underwater coral array en inglés (FUCA) los cuales son ahora utilizados para trasplantar a áreas impactadas por el encallamiento (Figura 9). Actualmente se cultivan aproximadamente 2,000 colonias de este coral en los FUCA para continuar trasplantando (Johnson et al. 2001).

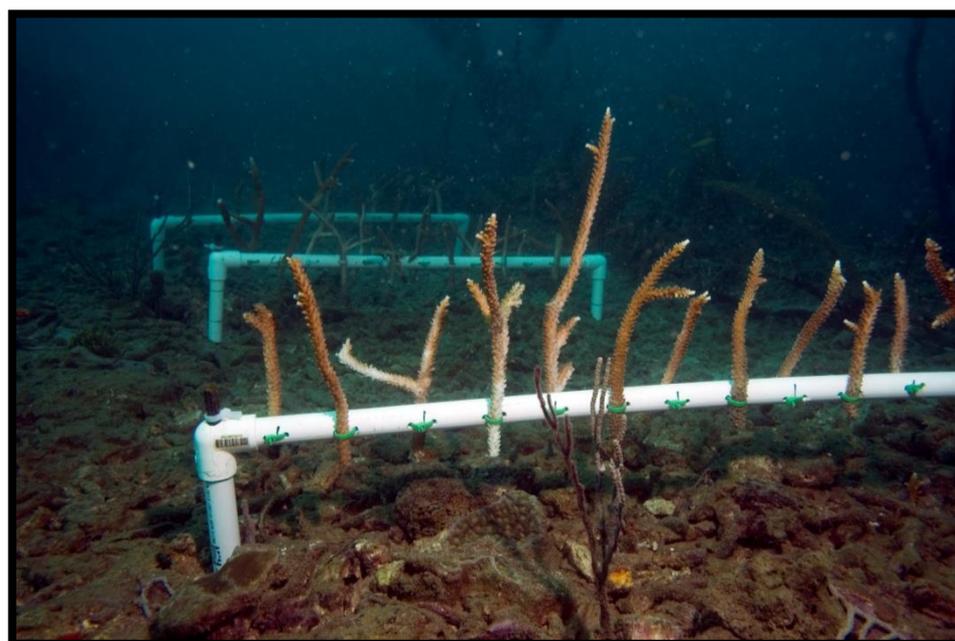


Figura 8 Método utilizado inicialmente para mantener fragmentos de *Acropora cervicornis* vivos antes de fijarlos permanentemente al arrecife.



Figura 9 Colonias de *Acropora cervicornis* trasplantadas al lugar de impacto luego de 3 años.

Dado a la rapidez del salvamento de las colonias de coral se logró restaurar aproximadamente 10 por ciento del área total que se estima fue impactado por el encallamiento. Esto equivale a 6 por ciento de las colonias que fue estimado se perdieron por el impacto. La restauración ocurrió porque ya existen los protocolos de respuesta de emergencia para encallamientos dentro de la ley de contaminación por hidrocarburos de los EUA (Oil Pollution Act, 1990). Esta ley incluye fondos para salvamento y restauración de emergencia en impactos ambientales.

Las lecciones aprendidas en este caso incluyen la importancia de escoger los lugares idóneos de dónde fijar los corales rescatados para maximizar su sobrevivencia. Se debe seleccionar un sustrato duro y consolidado para que el cemento forme una fijación sólida, así evitando áreas de gravilla donde puede ocurrir erosión. En las áreas del encallamiento donde existe carricoche, gravilla y sedimentos inestables no hay evidencia de reclutamiento o recuperación de corales a 7 años del encallamiento debido al movimiento continuo del sustrato, según demostrado por los estudios de monitoreo. Esto sugiere que en este caso

el impacto fue tan severo que algunas áreas impactadas no se recuperaran naturalmente.

El costo estimado de la restauración de emergencia aun no se ha calculado del todo pero se estima en varios millones de US\$. En este caso no hubo participación comunitaria ya que son consultorías las que llevan a cabo los trabajos de restauración y monitoreo.

Caso número 3: Experiencias estabilizando fragmentos de *Acropora palmata* generados por tormentas.

El coral cuerno de alce, *Acropora palmata*, ocurre en zonas someras las cuales están mas expuestas a la fuerza de las olas generadas por tormentas. Esta especie de coral tiene la estrategia reproductiva de reproducción asexual por medio de fragmentación lo cual le da una ventaja en la colonización de espacio en dichas zonas. Durante el año 2008 una marejada afectó las costas del norte de Puerto Rico y este embate de olas fragmentó un gran número de colonias de *A. palmata* y esparció los fragmentos (Figura 10). En las áreas costeras de Vega Baja (Figura 3) se llevó a cabo una restauración aprovechando los fragmentos de oportunidad (aquellos que de otra manera morirían) que estaban en el fondo marino. El objetivo de este proyecto de restauración era recuperar los fragmentos que estaban localizados en áreas con mínima probabilidad de sobrevivencia (Lirman 2000), incluyendo lugares con arena, yerba marina o sustrato inestable. Se colectaron 600 fragmentos y se estabilizaron fijándolos en grietas y huecos disponibles en los arrecifes donde la especie ya ocurre (Figura 11). No se utilizó ningún pegamento ni amarre para estabilizarlos. Cien fragmentos se marcaron para monitoreo de los cuales 80 fueron estabilizados y 20 se marcaron en donde cayeron para servir de control. Luego de un año se estimó un 96 por ciento de sobrevivencia de los fragmentos estabilizados.



Figura 10 Fragmentos de coral *A. palmata* generados por las olas de tormenta al norte de Puerto Rico en el 2008.

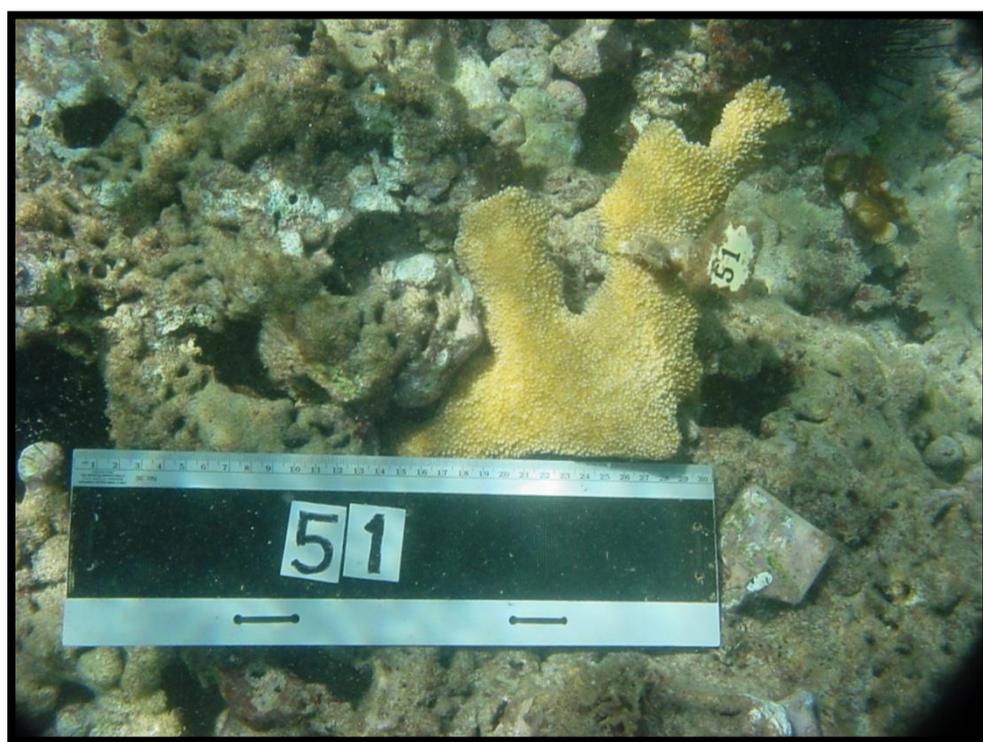


Figura 11 Fragmento de *A. palmata* fijado a una grieta en la estructura de arrecife de coral.



Figura 12 Colonia de *A. palmata* estabilizada en una grieta en el fondo marino. La secuencia muestra el estado de la misma colonia a los 3 meses, al año y a los dos años.

Esta técnica de estabilización es sencilla, no requiere equipos y se puede aplicar a un gran número de fragmentos con poca inversión. La participación de los grupos comunitarios es factible ya que son áreas costeras generalmente someras de fácil acceso. Actualmente un grupo comunitario V.I.D.A.S (Vegabajeños Impulsando Desarrollo Ambiental Sustentable) se ha dado a la tarea de continuar con este tipo de restauración (Laureano, R. com. per.). Es preciso definir los fragmentos de coral que deben ser estabilizados según el criterio basado en el riesgo de mortandad. Es importante entrenar a los participantes y planificar para estas actividades para maximizar el beneficio de la restauración.

El costo de este tipo proyectos depende mayormente del costo del personal disponible. Para este caso se utilizaron 4 personas durante 5 días para estabilizar los 600 fragmentos. El costo de la fase de respuesta de emergencia del proyecto para estabilizar los fragmentos de alto riesgo fue de US\$ 10,000.00.

Caso número 4: Viveros de corales amenazados de extinción en el suroeste de Puerto Rico.

Basado en trabajos previos de Austin Bowden-Kerby para desarrollar técnicas de bajo costo de propagación de *Acropora cervicornis* se diseñaron viveros en líneas flotantes en Jamaica (Andrew Ross). Esta técnica fue modificada por NOAA Restoration Center para incluir tubos de PVC y darle así mas rigidez y

estabilidad a las líneas con fragmentos de coral. El éxito de este diseño fue implementado en la restauración del Margara (Johnson et al. 2011). Mediante subvención del NOAA Restoration Center se inició un proyecto para instituir viveros de coral de *A. cervicornis* en La Parguera, Puerto Rico (Figura 3). Luego de establecer estos viveros se incorporaron grupos de buzos voluntarios con el auspicio de Gulf of Mexico Foundation. Actualmente hay 25 unidades de FUCA en dos localidades de Lajas, Cayo Margarita y Cayo San Cristóbal. En cada unidad de FUCA (Figura 13) hay aproximadamente 40 fragmentos de *A. cervicornis* creciendo lo que equivale a 1024 colonias. La sobrevivencia de *A. cervicornis* en las FUCA es de 99.8 por ciento. Para *Acropora palmata* se diseñó una estructura de cultivo de PVC que se coloca a lo largo del fondo marino fijados con varillas de hierro (Figura 14). En cada unidad de benthic underwater coral array (BUCA) se colocan 15 fragmentos de *A. palmata* que cada uno está fijado a una base hecha con cemento dentro de un molde cónico con alambre para sujetar el fragmento. Actualmente hay 20 unidades lo que equivale a 300 fragmentos de *A. palmata* con un promedio de sobrevivencia de 87 por ciento.

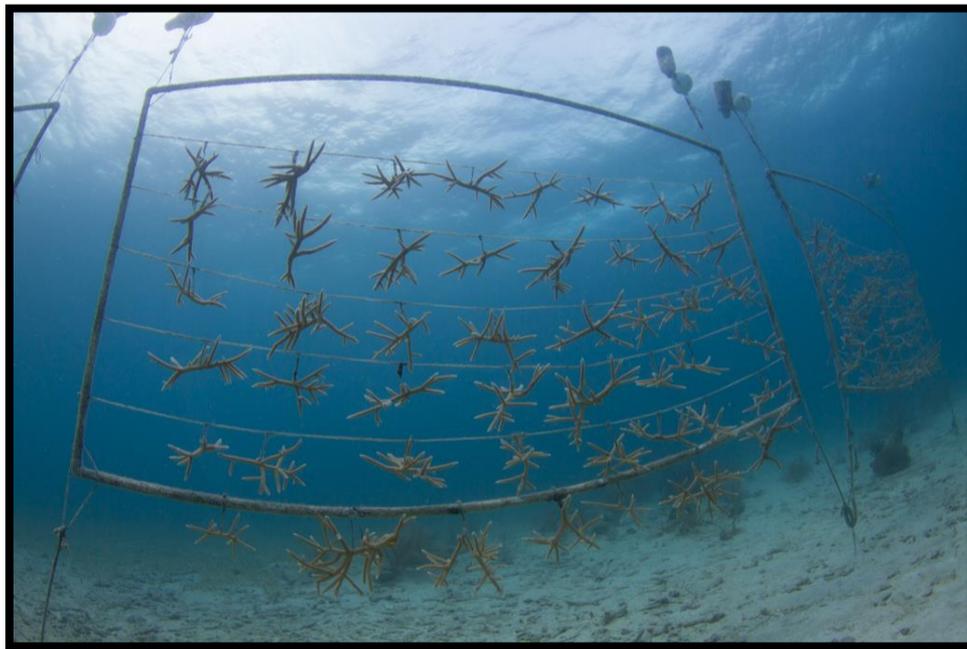


Figura 13 Unidad flotante de cultivo de coral *A. cervicornis* (FUCA).



Figura 14 Unidad de cultivo sobre el fondo de el coral *A. palmata* (BUCA).

El propósito de estos viveros es que los fragmentos crezcan a un tamaño de aproximadamente 50 cm (un año y dos meses) para ser trasplantados a los arrecifes de coral que se determine necesario. Hasta la fecha 379 colonias de *A. cervicornis* y 23 *A. palmata* han sido trasplantadas con un éxito de 95 por ciento de sobrevivencia. Se han transportado fragmentos del vivero hacia arrecifes de Isla de Mona a 50 millas náuticas de un punto a otro (Figura 15).



Figura 15 Colonias de *A. cervicornis* y *A. palmata* llevados a la Isla de Mona para restauración de el encallamiento del barco Yireh.

La participación de la comunidad es de suma importancia e incluye las tareas de instalación, mantenimientos, limpieza, cultivo, cosechar y trasplante a los arrecifes cercanos. Esta participación voluntaria se hace posible mediante la subvención de la embarcación, los costos de tanques de buceo y víveres. Para reclutar y motivar a los participantes de este proyecto se han producido videos de alta definición que están disponibles en el internet. Durante los entrenamientos de voluntarios se entregan materiales de referencia de identificación de corales comunes del Caribe.

El costo de este proyecto es aproximadamente US\$ 84,000.00 durante un año y medio. Para cada unidad se estima un costo aproximado de US\$ 1,200.00 por año, esto incluye materiales, instalación, mantenimiento mensual y trasplante anual lo que equivale aproximadamente a US\$ 30.00 por colonia.

Conclusiones

En este trabajo se demuestran cuatro ejemplos y metodologías de restauración de arrecifes de coral en Puerto Rico. Hay que establecer claramente cuáles son los objetivos para cada proyecto de restauración. ¿Son los arrecifes a restaurar de interés para conservación de la biodiversidad, el turismo, la pesca, la protección contra la erosión costera, o solamente para la investigación? Los objetivos del proyecto ayudaran a determinar los métodos a usar (Westmacott et al. 2000).

Es importante definir la escala del proyecto de restauración. Si el área degradada es grande, se debe considerar muy cuidadosamente a donde se quiere dirigir los esfuerzos de restauración en términos de los patrones actuales y exposición al efecto potencial negativo de las olas, a las fuentes de contaminación, y a la turbidez.

Una vez que los objetivos y la escala han sido considerados, el costo del proyecto necesita ser evaluado, tomando en cuenta el uso mas efectivo de los recursos disponibles. Hay que plantearse la tasa de éxito del método a escoger para la restauración y si este método producirá el costo-beneficio mas adecuado para el lugar. Es importante que el método seleccionado no cause un daño adicional al arrecife.

La viabilidad a largo plazo del programa de restauración es importante. A fin de asegurar alguna medida de éxito el proyecto debe continuar por un tiempo suficiente para que el progreso de la restauración sea monitoreado (Westmacott et al. 2000). Esto nos proveerá datos importantes para poder diseñar futuros proyectos y seleccionar la metodología de una forma mas eficiente.

Los daños y la degradación en los arrecifes de coral no pueden ser restaurados o rehabilitados, sin antes entender y atender los procesos básicos responsables de la degradación de estos ecosistemas (Edwards 2010).

Finalmente es de sumo interés el que la comunidad local y los usuarios del arrecife se involucren en el proyecto. La participación activa de aquellos cuyo sustento esta ligado a los arrecifes incrementará las posibilidades de éxito.

Referencias

- Amar KO, Rinkevich B. 2007. A floating mid-water coral nursery as larval dispersion hub: Testing an idea. *Marine Biology* 151:713–18.
- Ballantine DL, Appeldoorn RS, Yoshioka P. 2008. Biology and ecology of Puerto Rican coral reefs. In: Riegl BM, Dodge RE. *Coral Reefs of the USA*. Eds., chapter 9, pp. 375–406.
- Bruckner AW. 2002. Proceedings of the Caribbean Acropora Workshop: Potential application of the U.S. Endangered Species Act as a conservation strategy. Technical Memorandum NMFS-OPR-24, Silver Spring, MD.
- Edwards AJ. 2010. Reef Rehabilitation Manual. Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Program: St Lucia, Australia. ii + 166 pp.
- Hughes TP, Rodriguez MJ, Bellwood DR, Ceccarelli D, Hoegh-Guldberg O, McCook L, Moltschaniwskyj N, Pratchett MS, Steneck RS, Willis B. 2003. Phase shifts, herbivory, and the resilience of coral reefs to climate change. *Current Biology* 17:360-365.
- Johnson ME, Lustic C, Bartels E, Baums IB, Gilliam DS, Larson L, Lirman D, Miller MW, Nedimyer K, Schopmeyer S. 2011. Caribbean Acropora Restoration Guide: Best Practices for Propagation and Population Enhancement. The Nature Conservancy, Arlington, VA.
- Lirman D. 2000. Fragmentation in the branching *Acropora palmata* (Lamarck): growth, survivorship, and reproduction of colonies and fragments. *J Exp Mar Ecol* 251:41-57.
- Rinkevich B. 2000. Steps towards the evaluation of coral reef restoration by using small branch fragments. *Marine Biology* 136:807–12.

Shafir S, Rijn JV, Rinkevich B. 2006. Steps in the construction of underwater coral nursery: An essential component in reef restoration acts. *Marine Biology* 149:670–87.

Schärer M, Nemeth M, Ruiz H. 2010. Enhancing Condado Lagoon's essential fish habitat with an artificial 'Taino' reef trail. 63rd Gulf and Caribbean Fisheries Institute meeting San Juan, Puerto Rico. 1-5 November.

Westmacott S, Teleki K, Wells S, West JM. 2000. Manejo de arrecifes de coral blanqueados o severamente dañados. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. vii + 36 pp.