Conectividad entre arrecifes coralinos
para su conservación en Centroamérica

¿Podemos medir la eficacia y necesidad de un corredor biológico marino regional?

Héctor M. Guzmán

Panamá, julio 2000
PROARCA/CAPAS

Acerca de esta publicación

Esta publicación y el trabajo descrito en ella fueron financiados por la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) a través de PROARCA/CAPAS, como apoyo a la agenda de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), en el contexto de CONCAUSA, la declaración Conjunta entre Centroamérica y Estados Unidos (Miami, octubre de 1994) sobre la conservación del ambiente en Centroamérica.

Las opiniones e ideas presentadas aquí no son necesariamente respaldadas por USAID, PROARCA/CAPAS, o CCAD, ni representan sus políticas oficiales.

About this publication

This publication and the work described in it were funded by the U.S. Agency for International Development (USAID) through PROARCA/CAPAS, as support to the agenda of the Central American Commission on Environment and Development (CCAD), in the context of CONCAUSA, the Joint Central America – USA declaration (Miami, October 1994) on conservation of the environment in Central America.

The views and ideas presented here are not necessarily endorsed by USAID, PROARCA/CAPAS, or CCAD, nor do they represent USAID's official policies.

Conectividad entre arrecifes coralinos para su conservación en Centroamérica ¿Podemos medir la eficacia y necesidad de un corredor biológico marino regional?

Panamá, julio 2000

Héctor M. Guzmán
Teléfono: (507) 212-8733
guzmanh@naos.si.edu

Presentación

En la zona costera del Caribe centroamericano se encuentran incalculables arrecifes coralinos que al igual que en el resto de los países tropicales se están degradando gradualmente por causas naturales y antrópicas. La degradación de estos ecosistemas y los recursos asociados que están siendo explotados desordenadamente, tienen consecuencias económicas y sociales severas a mediano plazo en nuestros países.

Para revertir estas tendencias se necesita actuar de forma integral y a nivel regional, ya que las fronteras políticas entre nuestros países no son barreras físicas que evitan el intercambio natural y continuo entre las poblaciones de los recursos que explotamos y deseamos conservar. Toda esta problemática ha llamado recientemente la atención de científicos, sociedad civil y autoridades competentes. Una respuesta parcial para abordar esta situación se ha encontrado unánimemente en muchos foros regionales, donde se ha solicitado mayor investigación y monitoreo de estos ecosistemas.

El presente trabajo investiga procesos biológicos básicos como la dispersión larval de organismos marinos a larga distancia, y el intercambio genético entre sus poblaciones. En particular, desconocemos la procedencia de larvas de corales del Caribe sur-occidental o centroamericano. Esta dispersión larval permite la regeneración y recuperación natural de los arrecifes en Centroamérica. El objetivo general de esta investigación fue evaluar inicialmente la conectividad biológica entre arrecifes coralinos de Nicaragua, Costa Rica y Panamá, como una condición para la conservación y manejo integral de su diversidad.

Para cumplir con este objetivo, se colectaron muestras de tejidos de colonias (individuos) de la especie de coral *Siderastrea siderea* en 32 poblaciones distribuidas a lo largo de la costa Caribe de estos países. Las muestras se analizaron a nivel enzimático empleando la técnica de electroforesis. Esto permite identificar la variación genética de las poblaciones y obtener así una estimación de la distancia genética entre estas.

Las poblaciones estudiadas demostraron claramente un alto nivel de conectividad en toda la sub-región, por medio de una distancia genética mínima, y un agrupamiento muy mezclado y no por proximidad geográfica en la mayor parte de las poblaciones. En algunos casos se agruparon contiguamente poblaciones separadas casi 1,000 kilómetros entre si. Algo no previsto fue la poca variación genética observada en algunas poblaciones. Los resultados aquí obtenidos donde se confirma la conectividad, permitirá un nuevo ordenamiento regional basado en prioridades de conservación.

El autor recomienda se inicien las consultas necesarias que ayuden a definir la idea de un corredor marino o red de áreas protegidas. Recomiendo que antes de diseñar este corredor, se describan los arrecifes de Nicaragua y de San Blas (Panamá), de forma que se conozca los centros de mayor diversidad y el estado de conservación de los arrecifes de la región. Esto permitiría la creación de un corredor marino funcional.

Héctor M. Guzmán, es biólogo marino e investigador a tiempo completo del Smithsonian Tropical Research Institute en Panamá. Estudia los arrecifes coralinos del Caribe y Pacífico oriental. En particular, la ecología y genética de poblaciones de diversas especies de corales y otros organismos asociados al arrecife, el desarrollo de cronologías de 100 años de disturbios naturales y antrópicos por medio del estudio de metales e isótopos, y en general, los impactos humanos en la zona costera. Trabajo en la evaluación a largo plazo de disturbios como derrames de petróleo y El Niño. Estos trabajos han permitido a las autoridades mejorar el manejo y conservación de recursos costeros y crear áreas protegidas.

El informe completo sobre esta investigación, está a disposición de los interesados dirigiéndose a la dirección del autor.

Sinopsis de los arrecifes coralinos de Centroamérica

Los arrecifes coralinos son las áreas de mayor productividad y diversidad de especies de la zona costera. Estos ecosistemas proporcionan múltiples servicios en general y en particular, a los habitantes de la zona costera. Además de servir como barrera natural protectora de la zona costera, lo cual evita la erosión de playas y la destrucción de algunas ciudades y poblados costeros, los arrecifes tienen un gran valor y potencial económico, recreativo y medicinal, por mencionar algunos. Estos servicios no han sido valorados adecuadamente hasta el momento. Sin embargo, estamos presenciando un deterioro gradual de estos ecosistemas a nivel mundial, el cual está afectando su funcionamiento y reduciendo su diversidad de una forma no controlada en la mayoría de los países tropicales.

En Centroamérica, las áreas arrecifales están siendo degradadas por una combinación de factores que incluyen causas naturales (i.e., calentamiento, enfermedades) o principalmente antrópicas (i.e., sedimentación, sobrepesca, contaminación, turismo). La falta de protección generalizada de los ecosistemas costero-marinos y el manejo desordenado de los recursos asociados a los arrecifes en particular, agudizan actualmente la situación de deterioro, lo cual esta teniendo consecuencias sociales y económicas indeseables en estos países.

A lo largo de la región Caribe de Centroamérica (Nicaragua-Costa Rica-Panamá) se encuentran numerosas áreas arrecifales con distintos estados de conservación y algunas completamente desconocidas para la ciencia. Estos hábitats son el refugio de muchas especies de recursos marinos (juveniles y adultos) que se comercializan intensivamente en la región.

La langosta, por mencionar un ejemplo, es un recurso de gran importancia económica que se encuentra en estado critico y con sus poblaciones ya sobrepescadas en todos los países, desde Nicaragua hasta Panamá.

Costa Rica tiene los arrecifes más deteriorados en la región

Pocos arrecifes de la región han sido descritos adecuadamente en su estructura, composición de especies y estado de conservación (ver Cortés 1997). Por un lado, los arrecifes de Nicaragua no han sido descritos prácticamente y solamente se conocen por información sucinta y cualitativa (Ryan 1992, Jameson 1999). Esto a pesar de presentar la mayor plataforma carbonatada y bancos someros con parches arrecifales del Caribe (Robert & Murray 1983, Hine et al. 1988). Por otro lado, se conoce bastante de los arrecifes de Costa Rica (Cortés & Guzmán 1985, Cortés & Risk 1985, Cortés 1992, 1994) y Panamá (Guzmán et al. 1991, Shulman & Robertson 1996, Guzmán & Guevara 1998, 1999). Brevemente, los arrecifes de Nicaragua están sujetos a una alta sedimentación y efectos de aguas negras en las Islas del Maíz, mientras que en los Cayos Miskitos, se dice que están en buen estado pero sujetos a sobrepesca.

En Costa Rica, los arrecifes han sido totalmente descritos y podrían ser considerados como los menos diversos y desarrollados, además de ser los más degradados de la región, tanto por causas naturales (i.e., terremotos, calentamiento) como por la alta sedimentación. Para Panamá se han descrito los arrecifes del sector occidental (Bocas del Toro) los cuales presentan buen estado de conservación, alta diversidad y están amenazados por el turismo y desarrollo; los arrecifes del sector central (Colón-Portobelo) están degradados y sujetos a una alta contaminación y sedimentación asociadas a refinería, puertos y agricultura; y por último, los arrecifes del sector oriental (San Blas), sin lugar a dudas los más desarrollados, diversos, y posiblemente conservados de la región, solo conocemos un 10% de estos y se informa que se encuentran degradados por las actividades propias de los indígenas locales y por causas naturales.

¿Hacia donde llevan las corrientes marinas a las larvas?

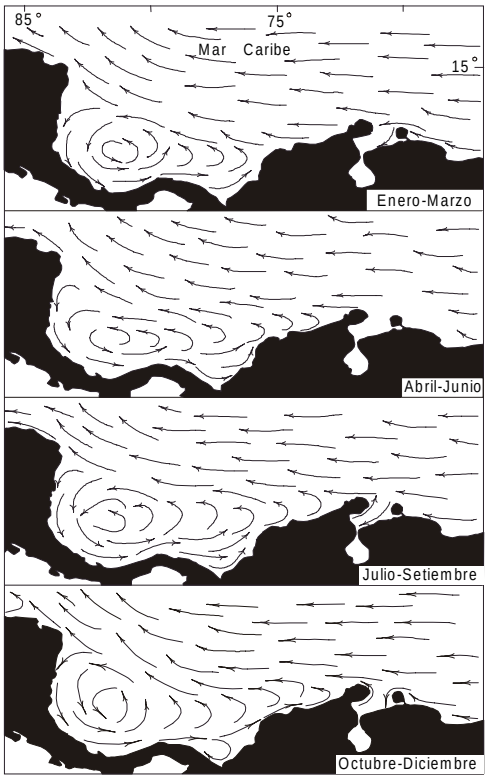
La mayoría de las poblaciones de organismos marinos invertebrados y peces viven en un ambiente abierto y sin barreras físicas, donde existe un flujo continuo de larvas y material genético. En muchos casos es importante conocer los patrones de circulación de las corrientes oceánicas y costeras que permitirían este transporte larval constante dentro y hacia afuera de la región.

Roberts (1997), sugirió las posibles rutas de dispersión larval por medio de corrientes entre muchos arrecifes del Caribe. Encontró la existencia de una gran variabilidad entre los sitios que pueden servir como “fuentes” y “receptores” de larvas, sugiriendo que los arrecifes localizados “corriente abajo” tenderían a perder menos especies ante disturbios y sobrepesca.

Esto sería debido a la mayor capacidad de repoblarse y obtener un reclutamiento continuo de nuevos individuos en sus poblaciones. Pero esto dependería en gran medida de la capacidad de manejo de los recursos en los arrecifes localizados “corriente arriba”, que a su vez serían más vulnerables a disturbios. Sin embargo, el modelo propuesto considera el transporte pasivo de larvas, algo que pareciera no ser del todo realista y que no puede ser generalizado a todos los peces.

Se ha encontrado un alto grado de retención larval y reclutamiento de peces en varios arrecifes insulares, sugiriendo que existe poco intercambio entre poblaciones distantes (Jones et al. 1999, Swearer et al. 1999).

El comportamiento larval es importante para entender estos procesos, pero no se posee mucha información para corales de arrecifes. La mayoría de las especies de corales del Caribe presentan una reproducción sexual anual donde los gametos son producidos por colonias con sexos separados o hermafroditas. Estos gametos son expulsados al agua donde son fertilizados.



Este proceso ocurre por lo general en un período corto de tiempo, desde minutos a pocas horas. Durante este lapso y mientras ocurre el desarrollo de la larva, tanto huevos recién fertilizados como larvas en primeros estadios son transportados pasivamente por muchos kilómetros de su lugar de origen, dependiendo de las corrientes y vientos predominantes en ese momento.

La larva ya desarrollada por lo general necesita de un hábitat o substrato duro para su fijación, donde metamorfosea formando un nuevo recluta de coral y comenzando su vida sésil. Es posible que algunas larvas sobrevivan en el plancton por más de 100 días, dependiendo de la especie (Richmond 1987).

Otras especies presentan una reproducción sexual donde la fertilización es interna y la larva es expulsada al agua ya desarrollada. Se puede resumir, que el reclutamiento efectivo de nuevos individuos es muy variable en tiempo y espacio, ya que esta sujeto al transporte larval por medio de las corrientes que operen en ese momento y en el comportamiento de la larva y su habilidad de nadar verticalmente para encontrar el substrato adecuado.

Figura 1. Patrón estacional general de corrientes marinas del Caribe sur-oeste (modificado de Hernández-Avila 1979). Observese el giro ciclónico (circulación contraria a las manecillas del reloj) que se forma permanentemente al frente de las costas de Nicaragua, Costa Rica, Panamá y Colombia, el cual es conocido como Giro Panamá-Colombia (Leaman & Wilson 1999).

La costa desde Nicaragua hasta Colombia esta influenciada por una contracorriente costera que se forma en dirección opuesta a la corriente principal del Caribe sur (Kinder 1983).

Esta contracorriente de Centroamérica se forma a partir de dos grandes giros ciclónicos que se desarrollan a pocos cientos de kilómetros de la costa (ver Figura 1). La influencia de este Giro Panamá-Colombia es objeto actual de estudio y se ha demostrado que permanece todo el año con variaciones temporales y espaciales en su intensidad, lo que permite un intercambio ocasional con otras áreas al norte (Leaman & Wilson 1999). Creemos que esta contracorriente juega un papel importante en el intercambio entre poblaciones de esta sub-región, siendo esta la razón para estudiar la conectividad en este sector del Caribe.

Se espera que un mayor conocimiento del grado de conectividad entre estos ecosistemas ayudaría a mejorar el manejo y la conservación de estos recursos y sus hábitats de forma integral y sostenida a largo plazo. Sin embargo, muy poca información científica se encuentra disponible para la región que ayude a entender procesos biológicos tan dinámicos y elementales como la dispersión larval y la regeneración natural de hábitats y sus poblaciones.

¿ Cómo podemos evaluar la conectividad?

En el presente trabajo se evalúo la variación genética de varias poblaciones del coral *Siderastrea siderea* empleando la técnica de electroforesis de proteínas. Este es un método muy sencillo que permite la separación de los alelos en una misma enzimas cuando se le aplica un campo eléctrico. De allí surge el termino de aloenzimas. La diversidad y frecuencia de los alelos identificados para cada enzima a través de la electroforesis nos permite estimar la estructura genética de cada población para así poder evaluar si dos o más poblaciones son similares o no. La "distancia genética" es la base del presente trabajo.

En pocas palabras, si no existen diferencias entra las poblaciones la distancia debe ser cercana a cero, mientras que si no hay alelos en común en ningún locus, la diferencia es mayor y la distancia debe de ser cercana a su valor máximo, a 1. El autor esta en disposición de aportar información técnica complementaria sobre el trabajo, dirigiéndose a guzmanh@naos.si.edu.

Consideré mi objetivo general el estudiar la conectividad genética entre arrecifes coralinos de la región como una condición para la conservación y manejo integral de su diversidad, y una herramienta inicial que promueva la formación de una red de áreas protegidas en Centroamérica. Esto lo lograría estimando las distancias genéticas entre las poblaciones del coral *Siderastrea siderea* en arrecifes de Nicaragua, Costa Rica y Panamá, una especie tolerante a disturbios y de amplia distribución geográfica en el Caribe y común en arrecifes de la región. Una vez encontrada la conectividad entre arrecifes, la meta sería diseñar una red de áreas protegidas sub-regional enmarcado dentro de un corredor biológico.

Entre los indicadores de logro de este proyecto, el principal fue demostrar la conectividad existente entre los arrecifes estudiados en los tres países. Los otros indicadores son a mediano y largo plazo y dependerían principalmente de las autoridades locales y organizaciones no gubernamentales dedicadas al manejo y protección de recursos de cada país. Sin embargo, para que esto ocurra los tres países deberían de unir esfuerzos de forma tal, que los recursos se manejen de forma integral (regional) y a nivel de ecosistema.

Estos indicadores no mutuamente excluyentes serían:

1. la creación de nuevas áreas protegidas y la ampliación y/o modificación de las actualmente existentes;

2. la creación de un corredor biológico funcional respaldado por una red de áreas protegidas; y

3. implementar una legislación adecuada para áreas criticas de conservación que considere el potencial de estos sitios de proveer de larvas y mantener las poblaciones de los recursos marinos de estos países y otros de centroamérica y el Caribe.

La distancia genética es mínima, sí hay conectividad!

Se amplió el nivel de muestreo al doble de las poblaciones originalmente propuestas, de forma que se obtuviese una cobertura más representativa de los arrecifes de la sub-región. Se colectaron muestras de tejidos de 20 colonias (individuos) de la especie de coral *Siderastrea siderea* en 32 poblaciones distribuidas a lo largo de la costa Caribe de estos tres países (Figura 2). El número reducido de poblaciones en Nicaragua responde a factores logísticos y financieros, mientras que para Costa Rica representan las únicas áreas arrecifales del país.

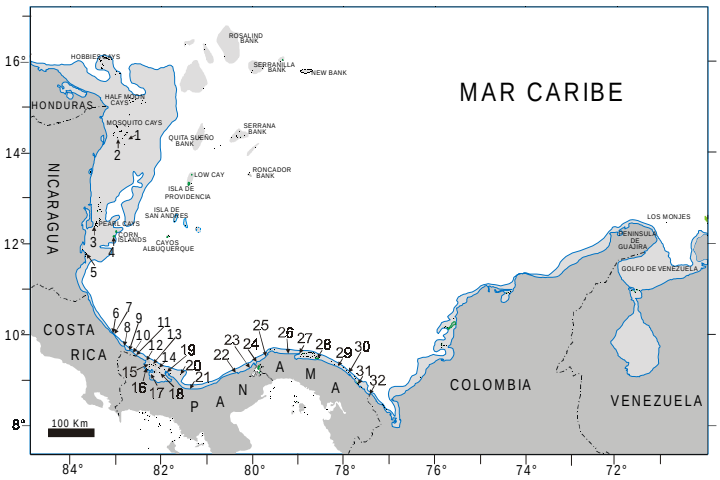


Figura 2. Localización aproximada de las 32 poblaciones del coral *Siderastrea siderea* estudiadas a lo largo de la costa Caribe de Nicaragua (5 sitios), Costa Rica (6) y Panamá (21), Centroamérica. Los números representan los arrecifes coralinos donde se colectaron fragmentos de coral. El área sombreada en gris claro representa la zona batimétrica costera inferior a 30 metros de profundidad.

Se encontró actividad en 10 enzimas para este estudio. De estas, siete resultaron ser loci polimórficos. Las poblaciones estudiadas demostraron claramente un alto nivel de conectividad en toda la sub-región. La distancia genética de Nei obtenida no fue mayor de 0.07, encontrándose inferior a 0.03 en la mayor parte de los casos (Figura 3).

El dendrograma muestra un agrupamiento muy mezclado y no por proximidad geográfica en la mayor parte de las poblaciones. Este agrupamiento lo hace en dos grandes grupos o arboles, pero con distancias genéticas muy sutiles entre poblaciones y grupos. En algunos casos si existe un agrupamiento más claro. Por ejemplo, el 80% de las poblaciones de Nicaragua quedaron agrupadas en el árbol inferior, conjuntamente con el 50% de las de Costa Rica y un 29% de las de Panamá. En el árbol superior, se observa un agrupamiento inmediato para dos poblaciones de Panamá que están separadas casi 1000 kilómetros entre si (Puerto Obaldia en la frontera con Colombia y Boca del Drago en Bocas del Toro).

En algunos casos sí existe un agrupamiento más claro. Resultados similares han sido encontrados para la almeja gigante *Tridacna gigas* a lo largo de la Gran Barrera de Australia, y para la estrella *Linckia laevigata* entre los océanos Indico y Pacífico occidental. En ambos casos los muestreos también han tenido separaciones superiores a los 1,000 kilómetros (Benzie & Williams 1992, Williams & Benzie 1996).

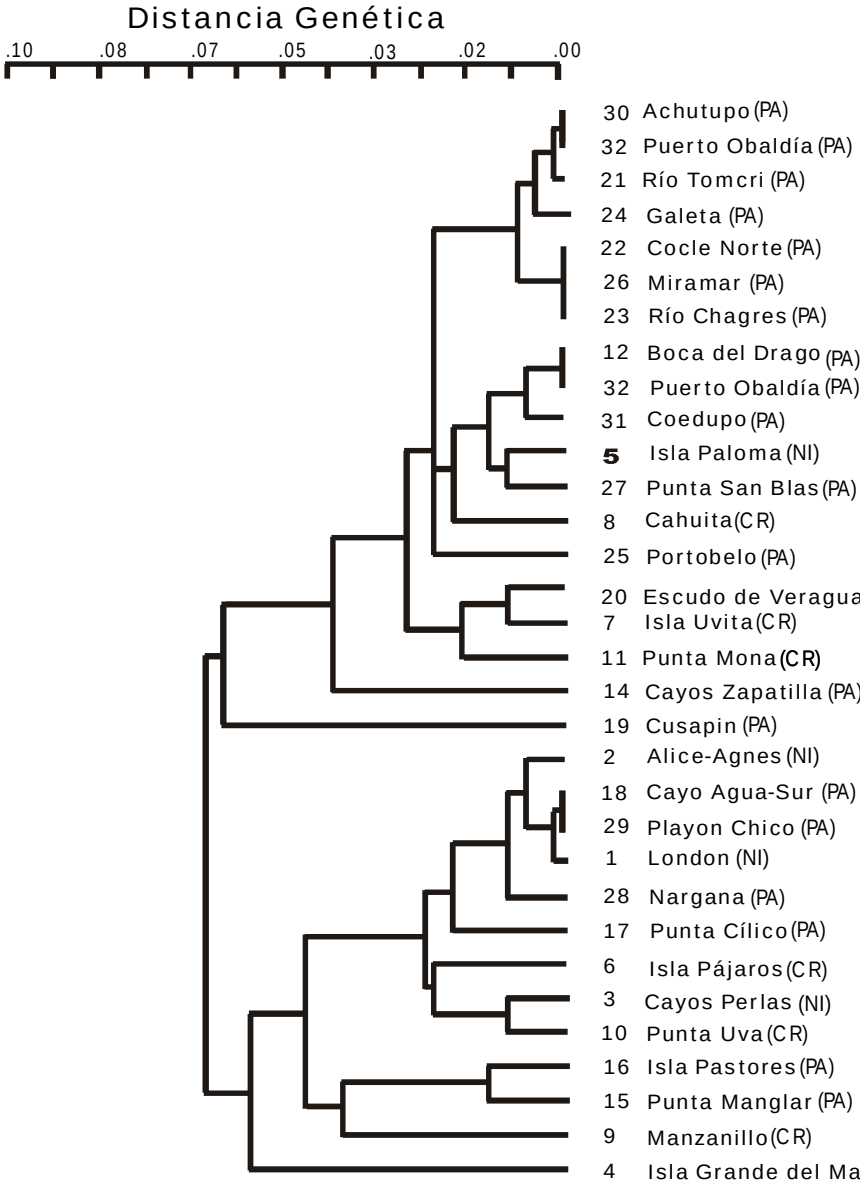


Figura 3. Dendrograma mostrando la relación genética de las 32 poblaciones del coral *Siderastrea siderea* estudiadas para Centroamérica. La agrupación de la distancia genética (Nei 1978) se obtuvo usando UPGMA. Los números corresponden a los sitios señalados en el mapa de la Figura 2. Cada localidad es seguida por la letra inicial de cada país.

Algo no previsto fue la poca variación genética observada en algunas poblaciones. El promedio de heterocigosis encontrado fue relativamente bajo, de 17.5% y con ámbito de 11% a 25%. Muchas poblaciones mostraron deficiencias heterocigoticas y un alejamiento del equilibrio de Hardy-Weinberg. Esta baja variación genética puede ser interpretada preliminarmente como producto de sub-poblaciones en proceso de formación o entrecruzamiento entre poblaciones relativas. Es decir, las poblaciones estudiadas podrían ser una gran población, pero subdividida. Un análisis más detallado de las frecuencias alelicas ayudaría a aclarar esto mejor.

Se ha comprobado que existe un gran flujo genético en todo el Caribe desde tiempos evolutivos. Esto ha permitido un intercambio constante entre especies de peces con un diverso comportamiento larval y sin ninguna restricción impuesta por los patrones de corrientes actuales (Shulman & Bermingham 1995). Claramente, las vías de flujo genético no están definidas exclusivamente por las corrientes superficiales principales que operan en el Caribe, y podría esperarse que corrientes costeras tengan una influencia local o sub-regional más marcada. En el presente estudio, el encontrar esta alta conectividad esta plenamente justificada por la contracorriente costera de centroamérica (Figura 1).

Actividades realizadas

El presente trabajo se realizó principalmente en dos etapas. Se procedió a la colecta de especímenes en los distintos países de la región. Los tejidos de estos especímenes, colectados con permiso del CITES, fueron fijados *in situ* con un buffer y congelados inmediatamente en nitrógeno liquido a -178°C para ser transportados a Panamá. Posteriormente, las muestras fueron procesadas en el laboratorio de electroforesis del Instituto Smithsonian en Panamá.

Costo del proyecto

Inicialmente el proyecto fue estimado en $26,000. El Programa Ambiental Regional de Centroamérica, en su componente Central America Protected Areas System, de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (PROARCA/CAPAS/AID) otorgó el financiamiento por $10,000, mientras que el Smithsonian Tropical Research Institute (STRI) aportó la contrapartida de diferencia. Durante el proyecto se logró una ayuda adicional de $4,000 del CIMAR en la Universidad de Costa Rica. Este aporte permitió incrementar el número de poblaciones a investigar, de 12 poblaciones originales a 32 en total. Otra partida adicional ha sido aprobada por STRI para realizar la colecta de muestras en Colombia.

Conclusiones

Primero, se encontró evidencia de que los arrecifes de esta subregión de Centroamérica están conectados. Por lo tanto, se esperaría un flujo larval relativamente constante dentro del área y en beneficio de varios países. Esto es un logro claro del indicador principal propuesto. Es importante señalar que este flujo no se circunscribe exclusivamente a este sector, sino que se espera que también ocurran intercambios ocasionales con poblaciones al norte del Caribe (Cuba, Jamaica, etc.). Esto se ha demostrado en los últimos dos años con un estudio intenso de corrientes basado en boyas a la deriva en todo el Caribe (Leaman & Wilson 1999).

Segundo, sin lugar a dudas que se necesita ampliar el muestreo a los arrecifes de Colombia, ya que es en este país donde ocurre el cambio orográfico más importante e imponente de la zona costera. Al frente de estas costas se da una variación del rumbo de la contracorriente centroamericana, donde se bifurca de nuevo tomando una dirección noroeste. Se sospecha que estos giros ciclónicos (Fig. 1) afectan la parte de San Andrés y aparentemente se separan a la altura de Providencia con rumbo norte. La importancia de completar este estudio radica en la posibilidad de crear un "corredor marino" que beneficie a este país, el cual claramente sirve de donante o receptor de larvas de y hacia la subregión centroamericana.

¿Podemos medir la eficacia y necesidad de un corredor biológico marino regional?

Esta fue la pregunta principal de este proyecto. Los resultados aquí obtenidos sugieren que el haber podido confirmar el posible flujo larval dentro de la región o su conectividad, nos permitirá llevar a cabo un nuevo ordenamiento regional basado en prioridades de conservación reales. Esto posiblemente obligaría a diseñar con cierta urgencia nuevas áreas protegidas (*sensu* Lockwood et al. 1997).

De aquí que quisiera proponer el que se inicien las diligencias convenientes a nivel político en cada país del área estudiada, que permita evaluar las posibilidades de crear un **corredor marino** que incluya como mínimo los tres países mencionados en este informe. Sería conveniente considerar a Colombia dentro de este modelo de corredor. Ya existe la idea de un corredor marino mesoamericano, la cual aparentemente por razones políticas y no funcionales a nivel de ecosistema, dejo excluidos a estos países.

Los arrecifes ya han sido evaluados al menos parcialmente para Costa Rica y parte de Panamá, pero se necesita más información actualizada de su estado de conservación para poder unificarlos en una entidad regional protectora. No todos los arrecifes dentro de áreas protegidas están en buen estado y su funcionamiento no esta bien definido dentro del contexto local o regional. Lo anterior es de importancia capital para Nicaragua, cuyos arrecifes ya comienzan a degradarse. Un reconocimiento completo donde se describan la estructura, distribución y diversidad de especies de los arrecifes de Nicaragua y de San Blas en Panamá, es de vital importancia para poder identificar *a priori* las áreas más necesitadas de conservación y las áreas vulnerables a disturbios (sensu Guzmán & Guevara 1999).

Un ejemplo reciente de esta necesidad de información podría aplicarse a Panamá, donde se encontró que el Parque Nacional Marino Isla Bastimentos con más de diez años de existencia, no incluye los arrecifes más diversos y en mejor estado de conservación de toda la provincia (Guzmán & Guevara 1998). El diseño e implementación legal de un "corredor marino" en esta sub-región no debe de contemplarse al menos que se tenga la información ecológica necesaria y obviamente, la aceptación de las partes involucradas.

Estudios similares se han realizados en Australia para lograr un manejo adecuado de recursos específicos y en peligro, como la almeja gigante (Benzie & Williams 1992). La alta conectividad o falta de diferenciación espacial entre poblaciones sugiere que ningún arrecife o población en particular constituye el único recurso genético disponible, lo cual en principio no demandaría de medidas especiales de manejo. Es decir, cualquier población en la región podría ayudar en la regeneración de las ya degradadas, siempre y cuando se les permita hacerlo reduciendoles el nivel de disturbio.

Además, una ventaja sería el que disturbios muy localizados no afectarían a toda la región y podrían amortiguarse dentro de un corredor marino, lo contrario sería, si el disturbio presenta características regionales.

Continuidad y sinergia del proyecto

Un proyecto de esta naturaleza sirve para demostrar la necesidad de planificar la conservación y el desarrollo de áreas protegidas basados en fundamentos científicos. De este trabajo, el cual consideró únicamente una especie de coral constructora de arrecifes, se podría extrapolar los resultados a otras especies de importancia comercial o a especies de corales actualmente amenazadas. Sin embargo, es importante tener cautela y no generalizar, ya que el comportamiento larval de muchas especies no se conoce a ciencia cierta.

Para esto, el proyecto debe de complementarse con estudios detallados sobre circulación de masas de agua. Estos estudios ya están avanzados y pronto ayudaran a mejorar el modelo existente de conectividad regional. La idea de conectividad en el Caribe entró en vigencia hace tan solo tres años y esta por ser comprobada (Roberts 1998). Además, con este proyecto se espera impulsar una mayor investigación a una escala espacial que incorpore a todo el gran Caribe, y que incluya un variado número de especies y su comportamiento larval.

Instituciones regionales como el Instituto Smithsonian, The Nature Conservancy y definitivamente PROARCA se beneficiaran directamente de los resultados de esta investigación, ya que les permitiría implementar nuevos conceptos en la conservación de la biodiversidad y la creación de áreas protegidas en Centroamérica. De igual forma, las entidades gubernamentales locales serán beneficiadas al recomendarseles áreas de conservación de acuerdo a su conectividad dentro de la región.

En particular, Panamá podría beneficiarse ya que tiene planes para un corredor biológico del Atlántico y con la presente información se hace más relevante incluir un componente marino. Es posible que los arrecifes de Panamá suplan de larvas a la región y debido a su buen estado de conservación, es importante ayudar a Panamá en la creación de políticas de manejo y protección de los arrecifes locales que beneficien también a otros países.

Las conclusiones de este trabajo aplican directamente dentro de varias ideas de instituciones locales y regionales, a saber:

1. corredores biológicos y restauración de ecosistemas en el sistema centroamericano de áreas protegidas;

2. promoción de actividades de coordinación entre países para la conservación de ecosistemas; y

3. influencia en políticas dirigidas a la conservación y mejoramiento de ecosistemas. Como se mencionase anteriormente, los límites geográficos y políticos de los países estudiados no son barreras físicas efectivas que impidan el desplazamiento e intercambio de larvas entre estos. Esto ya está demostrado aquí. Además, la degradación de arrecifes no tiene fronteras políticas y el manejo de estos debe de llevarse a cabo en forma integral o regional.

   Esto podría garantizar la regeneración de estos ecosistemas y la conservación de la biodiversidad a corto plazo. De continuar creando áreas protegidas sin conocer previamente los procesos biológicos y físicos que afectan los ecosistemas en cuestión, se tendría como resultado una mala coordinación de esfuerzos financieros, posiblemente afectados por razones políticas, y una falsa sensación de conservación y manejo de la biodiversidad.

   Sin embargo, los resultados de este proyecto ofrecen una escala y perspectiva distinta de observación que podría impulsar la revisión de criterios de conservación ya existentes. Es por esto que sugiero, sin lugar a dudas, que trabajemos en la creación de un corredor biológico marino, el cual nos beneficiará enormemente y sobretodo, nos integrará dentro de una unidad de conservación subregional práctica y funcional.